

В. З. Набродов

Допуски, посадки та технічні вимірювання

ПІДРУЧНИК

Рекомендовано

Міністерством освіти і науки України

Літера ЛТД
2019

УДК 62-11
Н14

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 30.10.2017 № 1429)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено.

Рецензенти:

Канава В. А., директор Коледжу інформаційних технологій та землевпорядкування
Національного авіаційного університету;

Задорожний А. І., заступник Генерального директора, директор з якості та нової
техніки ДП «ЗАВОД 410 ЦА»;

Безверхий В. О., директор ПАТ «Київський дослідний ремонтно-механічний завод»

Набродов В. З.

Н14 Допуски, посадки та технічні вимірювання : підруч. для
здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти /
В. З. Набродов. — Київ : Літера ЛТД, 2019. — 224 с.

ISBN 978-966-178-867-0

У підручнику висвітлено основні принципи точності, взаємозамінності,
допусків, посадок, технічних вимірювань, похибок виготовлення та вимірю-
вання. Розглянуто інструменти контролю допусків і посадок — засоби техніч-
них вимірювань, їх конструкцію, принцип дії, сферу та способи застосування,
метрологічні характеристики і точність вимірювань.

Підручник призначений для здобувачів професійної (професійно-техніч-
ної) освіти виробничого напрямку, також може бути корисний студентам за-
кладів вищої освіти та інженерно-технічним працівникам промислових під-
приємств.

УДК 62-11

Навчальне видання

Володимир Захарович НАБРОДОВ

ДОПУСКИ, ПОСАДКИ
ТА ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ
Підручник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено.

Відповідальна за видання О. О. Бородіна

Підп. до друку 07.11.2019. Формат 70x100/16. Папір офсетний. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 18,20. Обл.-вид. арк. 23,66. Наклад 31 115 пр. Зам.

Видавництво «Літера ЛТД». Україна, 03057, м. Київ, вул. Нестерова, 3, оф. 508.

Тел. для довідок: (044) 456-40-21.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи № 6901 від 10.09.2019.

Віддруковано у ТОВ «КОНВІ ПРИНТ».

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 6115, від 29.03.2018.

03680, м. Київ, вул. Антона Цедіка, 12, тел. +38 044 332-84-73.

ISBN 978-966-178-867-0

© Набродов В. З., 2019

© «Літера ЛТД», 2019

*Автор висловлює глибоку подяку
своїм наставникам і вчителям
Віталію Дмитровичу Хижку і
Валерію Вікторовичу Лубяному
за неоціненний внесок у написання
цієї книги.*

Вступ

Якість і ефективність дії машин, приладів та механізмів перебувають у прямій залежності від вимог точності та контролю їх виготовлення, які значною мірою визначені стандартами, допусками та посадками. Допуски та посадки є головною передумовою найважливішої властивості сукупності виробів – взаємозамінності, яка суттєво визначає техніко-економічний ефект від виробництва та експлуатації сучасних технічних приладів.

Допуски та посадки забезпечують системи стандартів «Єдина система допусків і посадок» (ЄСДП) та «Основні норми взаємозамінності» (ОНВ). Положення стандартів цих систем стосуються з'єднаних елементів виробів, поверхні яких взаємодіють у контакті між собою. З'єднання цих поверхонь називають спряженнями. Спряження виконують певні робочі функції (опорні поверхні, поверхні ковзання). Характер цих спряжень (рухомі, нерухомі) визначають посадки. Допуски на розміри деталей спряжень створюють допуск посадки. Він повинен перебувати у певних межах, виходячи з умов як безпідганяльного збирання з'єднання без додаткової механічної обробки, так і забезпечення виконання з'єднанням робочих функцій. Стандарти ОНВ передбачають і певні властивості поверхонь спряжених деталей, які створюють оптимальні умови їх взаємодії в контакті між собою і визначають якість поверхні. Ці властивості визначаються станом мікро- та макрогеометрії (шорсткість, хвилястість, відхилення від форми та взаємного розташування), твердістю та ін. Необхідну точність допусків, посадок, стану поверхонь контролюють засобами технічних вимірювань, застосування яких забезпечувало б необхідну точність вимірювань та об'єктивність результатів контролю.

Сучасна організація і технічне оснащення виробничих процесів вимагають від контролерів ВТК, робітників, наладчиків верстатів беззаперечних знань методів та засобів контролю точності, орієнтування у питаннях допусків і посадок, якості поверхні спряжених деталей.

Тому комплекс глибоких знань і певних навичок у галузі допусків та посадок, взаємозамінності й технічних вимірювань є необхідною складовою професійної підготовки спеціалістів металообробних професій.

1.1. ДОПУСКИ І ПОСАДКИ ЯК СКЛАДОВІ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ

Єдина система допусків і посадок є складовою системи стандартів «Основні норми взаємозамінності». Під *взаємозамінністю* розуміють властивість деталей та вузлів, виготовлених із заданою точністю, яка забезпечує можливість їх складання (або заміни їх під час ремонту) в машини і механізми без додаткової обробки чи припасування і гарантує виконання необхідних технічних умов та заданих показників якості. Якщо деталі та вузли взаємозамінні, процес складання йде безвідмовно, тобто підшипник (вальниця) монтується на вал і в корпусну деталь, легко замінюється електродвигун, гвинт відповідного розміру вільно загвинчується у нарізний отвір того ж розміру тощо.

Сучасне машинобудування неможливе без застосування принципів взаємозамінності, що дає змогу використовувати незалежно виготовлені із заданою точністю деталі та вузли у разі заміни чи ремонту з'єднань або механізмів. Виконання всіх вимог взаємозамінності забезпечує можливість незалежного виготовлення деталей у різних цехах підприємства і навіть на різних заводах.

Вимог взаємозамінності необхідно дотримуватися на всіх життєвих циклах машин: під час конструювання, виготовлення та експлуатації деталей, вузлів і механізмів.

Без застосування взаємозамінності неможливі механізація складання та виробництво і складання деталей на конвеєрі, заміна під час ремонту величезної кількості запасних частин (без виконання припасовувальних робіт – шліфування чи притирання вала до наявного отвору, припасовування шпонок до шпонкових пазів та ін.). На жаль, необхідність виконання припасовувальних робіт не зникла і дотепер. Але їх слід уникати, бо це економічно дуже невигідно: припасовувальні роботи майже завжди виконують висококваліфіковані робітники, час виконання таких робіт більший, ніж звичайно, вартість їхня також висока, час виготовлення чи ремонту всього механізму довший, тому що потрібно виготовляти деталі послідовно, а не паралельно.

Взаємозамінними можуть бути безліч деталей, механізмів машин і приладів, що мають загальне призначення, а саме: підшипники кочення, електрообладнання, нормалізовані та стандартизовані кріпильні деталі тощо.

Взаємозамінність може бути повна і неповна.

За *повної* взаємозамінності складання всіх деталей механізму або його вузлів провадять без додаткової обробки, сортування чи припасовування, тобто всі деталі є взаємозамінними.

За *неповної* взаємозамінності деталі виготовляють з меншою точністю, ніж за повної, тому під час складання необхідно застосовувати рухомі або нерухомі компенсатори, додатково обробляти спеціальні деталі зі збільшеними припусками чи добирати деталі із сортуванням на певну кількість груп. Обробку деталей провадять після визначення у складеному вузлі потрібного розміру деталі-компенсатора. У цих випадках виготовлення деталей дешевше, хоча контроль під час складання та сам процес складання – дорожчі.

У випадку, коли дуже важко досягти високої точності розмірів, наприклад, у виробництві точних підшипників кочення, або коли виготовлення точних деталей дуже дорого коштує, без використання принципу неповної взаємозамінності обійтись буде взагалі неможливо.

Найчастіше принцип неповної взаємозамінності застосовують в індивідуальному виробництві, де обробку деталей ведуть за паспортом сполученої деталі або обробляють деталі сумісно.

Під час ремонту механізмів, коли необхідна обробка компенсаторів, яку не завжди можна виконати якісно в умовах ремонтних майстерень чи заводів, неповна взаємозамінність спричинює труднощі.

Рішення про вибір принципів повної або неповної взаємозамінності залежить від кількості витрат у разі застосування кожного з них, а також від видатків у процесі їх експлуатації.

Розрізняють також *внутрішню* та *зовнішню* взаємозамінність.

Внутрішня взаємозамінність забезпечується тільки за повної взаємозамінності, коли всі деталі механізму, вузла чи складальної одиниці взаємозамінні.

Зовнішня взаємозамінність забезпечується за неповної взаємозамінності, коли окремі деталі можуть бути невзаємозамінні, але весь механізм, вузол чи складальна одиниця – взаємозамінні за своїми зовнішніми приєднувальними розмірами (діаметр вала електродвигуна, розміри та розташування його кріпильних отворів, зовнішній та внутрішній діаметри підшипника кочення тощо). Наприклад, під час виготовлення підшипників кочення використовують принцип зовнішньої взаємозамінності. Крім того, всі стандартизовані вироби (електродвигуни, редуктори, насоси, двигуни тощо) також завжди повинні мати зовнішню взаємозамінність, хоча водночас можлива і внутрішня взаємозамінність.

Крім геометричних параметрів виробів, нормують відхилення хімічного складу матеріалів, їхні фізико-механічні властивості та багато інших параметрів. Така взаємозамінність називається *функціональною*. Проведені дослідження та досвід промисловості показують, що виготовлення деталей і складальних одиниць із точно встановленими геометричними, механічними, електричними та іншими функціональними параметрами за оптимальної їх точності та оптимальної якості поверхні, створення гарантованого запасу працездатності машин і приладів дає змогу забезпечити взаємозамінність усіх однотипних виробів, які випускає завод, за їх експлуатаційними показниками, тобто за показниками якості функціонування (продуктивності, точності та ін.). Забезпечення взаємозамінності машин та інших виробів за оптимальними експлуатаційними показниками (ЕКП) – основний принцип взаємозамінності у машинобудуванні. Взаємозамінність, за якої забезпечена працездатність виробів з оптимальними і стабільними (у заданих межах) у часі ЕКП або з оптимальними показниками якості функціонування для складальних одиниць, і взаємозамінність їх за цими показниками, називають *функціональною*.

Переважна більшість деталей, що входять до складу виробу, з'єднані між собою. З'єднувальні поверхні деталей можуть бути взаємно нерухомі та рухомі для виконання певних робочих функцій і утворювати рухомі (із зазором) чи нерухомі (з натягом) посадки. Величина необхідних зазорів (натягів) визначає їх робочі функції і повинна лежати у певних межах, визначених допусками розмірів на виготовлення деталей. У цьому випадку *функціональними* є характеристики допусків і посадок, що впливають на експлуатаційні показники машин та інших виробів або на 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 ЕКП виробів. Зв'язок їх з експлуатаційними показниками може бути як функціональний, так і випадковий.

За умови досягнення функціональної взаємозамінності є можливість не тільки складати або замінювати однакові деталі та вузли без їхнього припасування, а й отримувати оптимальні показники роботи машин (потужність, довговічність, продуктивність, точність та ін.).

У промисловості існує глибокий зв'язок між взаємозамінністю і стандартизацією. Наявність взаємозамінності неможлива без стандартизації і навпаки.

Стандартизація – це державна система, яка встановлює в плановому порядку обов'язкові правила, норми і вимоги, що забезпечують економічно оптимальну якість продукції, підвищення продуктивності суспільної праці та ефективність використання матеріальних ресурсів за умов дотримання техніки безпеки. Майже всі технічні вимоги взаємозамінності зафіксовані в певних стандартах.

У промисловості існують такі нормативні документи: міждержавні (колишнє найменування – державні стандарти СРСР) і галузеві стандарти колишнього СРСР – ГОСТ та ОСТ, державні стандарти України – ДСТУ (до 1991 року – РСТ УРСР), технічні умови – ТУ, республіканські стандарти – РСТ і стандарти підприємств – СТП.

Застосування міжнародних стандартів, стандартів України та методик Єдиної системи державного управління *якістю продукції* забезпечує можливість підвищення показників *якості виробів* в усіх галузях промисловості. Це забезпечується за рахунок того, що в стандартах зафіксовані не тільки числові значення певних показників, а й методика їх перевірки та контролю і випереджальні показники для атестованої продукції.

У стандартах зафіксовані єдині норми та вимоги, яким повинні відповідати властивості сировини, напівфабрикатів, матеріалів, якість і характеристики продукції та багато інших даних. Вимоги стандартів мають силу законів, тому виконання їх у виробництві є обов'язковим.

Застосування та виконання норм і вимог цих стандартів під час конструювання механізмів або їх деталей, визначення точності їх виготовлення та у процесі самого виготовлення забезпечує взаємозамінність продукції.

Стандартизація гарантує уніфікацію, завдяки якій з'являється можливість для зниження вартості виробів, збільшення масштабів виробництва, а також для спеціалізації виготовлення стандартизованих і нормалізованих виробів, деталей та їх елементів.

Спеціалізація – це спосіб виробництва однакових або однотипних деталей, вузлів чи виробів на окремих спеціалізованих дільницях, у цехах чи на заводах.

Спеціалізація неможлива без кооперації і навпаки.

Кооперація – це спосіб організації виробництва, за якого окремі деталі певного механізму виготовляють на різних спеціалізованих дільницях, у цехах чи на заводах, а потім складання провадять на одному заводі.

Кооперація і спеціалізація неможливі без застосування взаємозамінності. Кооперація і спеціалізація можуть бути впроваджені не тільки на окремих дільницях та заводах, а й навіть на підприємствах різних країн, тобто можуть мати міжнародне

значення. *Дільнична чи цехова спеціалізація* передбачає виготовлення на окремих дільницях або в цехах деталей типу втулок, валів, шестерень, нормалізованих крипильних деталей (болтів, гайок, шпильок, шайб та ін.).

Заводська спеціалізація передбачає виготовлення на спеціалізованих заводах електродвигунів, електрообладнання, насосів, двигунів внутрішнього згоряння, підшипників кочення, металорізальних інструментів та контрольно-вимірювальних приладів, різноманітних запасних і комплектувальних деталей для сільськогосподарських машин тощо. Складні взаємозамінні деталі та вузли можна виготовляти на автоматизованому обладнанні у більшій кількості, якісніше, з вищою продуктивністю праці і значно дешевше. Інші заводи з кооперації отримують їх і провадять складання у верстати, автомашини, трактори, комбайни тощо.

Таким чином, взаємозамінність забезпечує раціональні якісні та експлуатаційні показники різноманітних машин: стабільність, продуктивність, раціональну експлуатацію, довговічність і надійність роботи, зменшення витрат під час виготовлення.

1.2. ЄДИНА СИСТЕМА ДОПУСКІВ І ПОСАДОК

Єдина система допусків і посадок (ЄСДП) – це основоположна складова в системі стандартів «Основні норми взаємозамінності». Стандарти ЄСДП застосовують для забезпечення взаємозамінності гладких циліндричних та плоских елементів технічних виробів. Положення стандартів ЄСДП є основними для стандартів, що визначають взаємозамінність інших типових з'єднань. До ЄСДП входять такі стандарти:

- ДСТУ 2500–94 ОНВ. Єдина система допусків і посадок (ЄСДП);
- ГОСТ 25346–89. ЄСДП. Загальні положення, ряди допусків і основних відхилень;
- ГОСТ 25347–82. ЄСДП. Поля допусків і рекомендовані посадки;
- ГОСТ 25348–82. ЄСДП. Ряди допусків основних відхилень і поля допусків для розмірів понад 3150 мм;
- ГОСТ 25670–83. Основні норми взаємозамінності. Гранічні відхилення розмірів з неказаними допусками;
- ГОСТ 25349–88. ЄСДП. Поля допусків деталей з пластмас;
- ГОСТ 26179–84. Основні норми взаємозамінності. Допуски розмірів понад 10 000–40 000.

Єдина система допусків і посадок охоплює діапазон розмірів деталей 0–40 000 мм і стосується гладких елементів деталей (циліндричних і обмежених паралельними площинами).

Увесь комплекс стандартів, що визначають взаємозамінність інших типових з'єднань з 1978 року, має підзаголовок «Основні норми взаємозамінності» (ОНВ).

У підручнику стисло висвітлено найнеобхідніші дані положень цієї системи (ГОСТ 25346–89, ГОСТ 25347–82).

У машинах та механізмах деталі не відокремлені одна від одної. Вони зібрані у певні складальні одиниці або вузли. Поверхні деталей, що контактують одна з одною, називаються пов'язаними. Непов'язані поверхні називаються вільними.

Деталі, що сполучаються, мають один і той же (загальний) номінальний розмір (рис. 1.1). Для отворів його умовно позначають D , а для валів – d .

Деталі виготовляють за креслениками, на яких проставлені номінальні розміри з граничними відхиленнями або з умовними позначеннями полів допусків. ГОСТ 25346–89 передбачає три варіанти вказівки допуску, номінального розміру, які

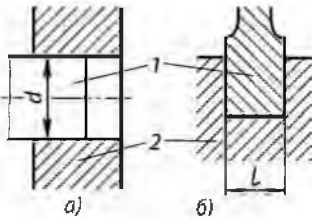


Рис. 1.1. З'єднання двох деталей:

a – гладке циліндричне; *б* – плоске; *1* – охоплювана деталь (вал); *2* – охоплююча деталь (отвір); *d, l* – номінальні розміри

проставляють правіше (рис. 1.2, *a–в*): у вигляді граничних відхилень із їх знаками (наприклад, вал $\varnothing 40_{-0,089}^{+0,050}$ або отвір $\varnothing 40_{+0,025}^{+0,025}$), у вигляді позначення тільки поля допуску (наприклад, вал $\varnothing 40e8$ або отвір $\varnothing 40H7$), у вигляді сумісного позначення поля допуску, а правіше за нього в дужках – у вигляді граничних відхилень з їхніми знаками (наприклад, вал $\varnothing 40e8(-0,050_{-0,089})$ або отвір $\varnothing 40H7(+0,025)$). Розмір деталі, вказаний на кресленнику, наприклад, 40 мм, називається *номінальним*.

Для скорочення кількості типорозмірів заготовок і деталей, різального і вимірювального обладнання, а також для типізації технологічних процесів значення номінальних розмірів повинні бути округлені (як правило, в бік більшого значення, відповідно до значень нормальних лінійних розмірів). Ряди рекомендованих лінійних розмірів наведено в ГОСТі 6636–69.

У стандарті представлені чотири ряди лінійних розмірів: Ra5, Ra10, Ra20, Ra40. Слід віддавати перевагу значенням ряду Ra5 перед значеннями Ra10, ряду Ra10 – перед значеннями ряду Ra20, ряду Ra20 – перед значеннями ряду Ra40.

У разі графічного зображення допуску номінальний розмір визначає положення нульової лінії і слугує початком відліку відхилень. Для наочності поле допуску (полем допуску називається зона, обмежена граничними відхиленнями розміру) прийнято зображати графічно у вигляді прямокутника, розташованого в заданому положенні щодо номінального розміру або нульової лінії (рис. 1.2, *г* і *д*). Одне з граничних відхилень називається *верхнім*, а друге граничне відхилення – *нижнім*. Верхнє відхилення вала позначається латинськими буквами *es* (отвори *ES*), а нижнє відхилення вала – *ei* (отвори *EI*). Наприклад, верхнє і нижнє відхилення вала $\varnothing 40$ мм відповідно:

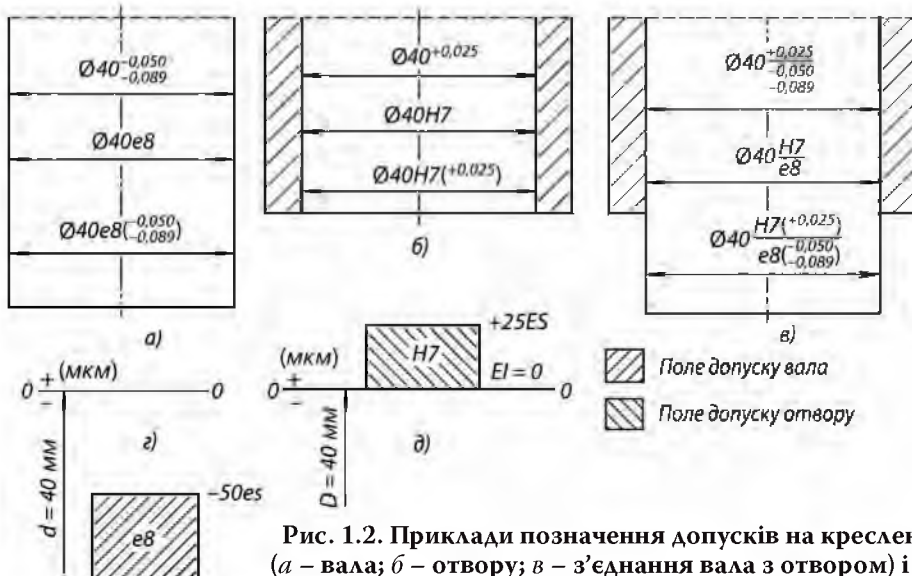


Рис. 1.2. Приклади позначення допусків на кресленниках (*a* – вала; *б* – отвору; *в* – з'єднання вала з отвором) і схеми розташування полів допусків (*г* – вала; *д* – отвору)

$es = -0,05$ мм або -50 мкм; $ei = -0,089$ мм або -89 мкм. Ці ж відхилення для отвору $\varnothing 40$ мм: $ES = +0,025$ мм або $+25$ мкм; $EI = 0$.

Верхні і нижні відхилення можуть бути зі знаком «+», тобто розташовані вище нульової лінії; зі знаком «-», коли вони розташовані нижче нульової лінії, і рівні нулю, тобто збігаються з нульовою лінією. Відхилення, рівні нулю, на кресленнику (після номінального розміру) не вказують, а мають на увазі, наприклад, отвір із нижнім відхиленням $EI = 0$ записують на кресленні $\varnothing 40^{+0,025}$.

Поле допуску, обмежене верхнім і нижнім відхиленнями, характеризує *допуск* (позначається IT або просто T). Чим менший допуск, тим важче обробляти деталь.

Для визначення придатності виміряної деталі, що була виготовлена з допуском, про- ставленим на кресленнику, необхідно знати найменший та найбільший граничні розміри, які обчислюють за формулами (табл. 1.1). Деталь працездатна, якщо її дійсний розмір, тобто розмір, одержаний у результаті вимірювання з допустимою похибкою, є більший від найменшого граничного розміру і менший від найбільшого граничного розміру.

У позначеннях на кресленниках полів допусків валів і отворів, наприклад, $\varnothing 40H7$ або $\varnothing 40e8$, латинські букви – основні відхилення, а цифри – квалітети.

Малі латинські букви означають основні відхилення валів, а великі букви – основні відхилення отворів. *Основним відхиленням* називають найближче відхилення до нульової лінії. Основне відхилення збігається з верхнім або нижнім відхиленнями вала чи отвору.

ГОСТ 25346–89 встановлює 28 основних відхилень валів, які позначають латинськими буквами від a до zc , і 28 основних відхилень отворів – від A до ZC . Схеми розташування основних відхилень валів і отворів щодо нульової лінії наведені на рис. 1.3.

Квалітетом називається сукупність допусків, відповідних однаковому ступеню точності для всіх номінальних розмірів. Установлено 20 квалітетів, позначених порядковим номером 01; 0; 1; ... 16 і 18. Допуски квалітетів для номінальних розмірів 1–500 мм наведені у табл. 1.2. Розміри 1–500 мм розбиті на інтервали розмірів. У межах кожного з указаних інтервалів розмірів встановлені однакові допуски. У таблицях 1.3 і 1.4 наведені числові значення основних відхилень валів та отворів.

Посадкою називають характер з'єднання деталей, який визначає величина одержаних у ньому зазорів S чи натягів N . Технічно грамотно запроєктована посадка має гарантувати потрібний характер взаємодії і положення не тільки під час складання, а й упродовж певного часу експлуатації вузла, машини або механізму до їхнього ремонту.

Посадки здійснюються в системі отвору (СА) або в системі вала (СВ). У системі отвору основні отвори з'єднують із неосновними валами, а в системі вала основні вали з'єднують із неосновними отворами.

Таблиця 1.1. Формули для визначення граничних розмірів деталей

Граничний розмір	Формула	Визначення
Найбільший граничний розмір отвору	$D_{\max} = D + ES$ (1)	Алгебрична сума номінального розміру D і верхнього відхилення ES отвору
Найменший граничний розмір отвору	$D_{\min} = D + EI$ (2)	Алгебрична сума номінального розміру D і нижнього відхилення EI отвору
Найбільший граничний розмір вала	$d_{\max} = d + es$ (3)	Алгебрична сума номінального розміру d і верхнього відхилення es вала
Найменший граничний розмір вала	$d_{\min} = d + ei$ (4)	Алгебрична сума номінального розміру d і нижнього відхилення ei вала

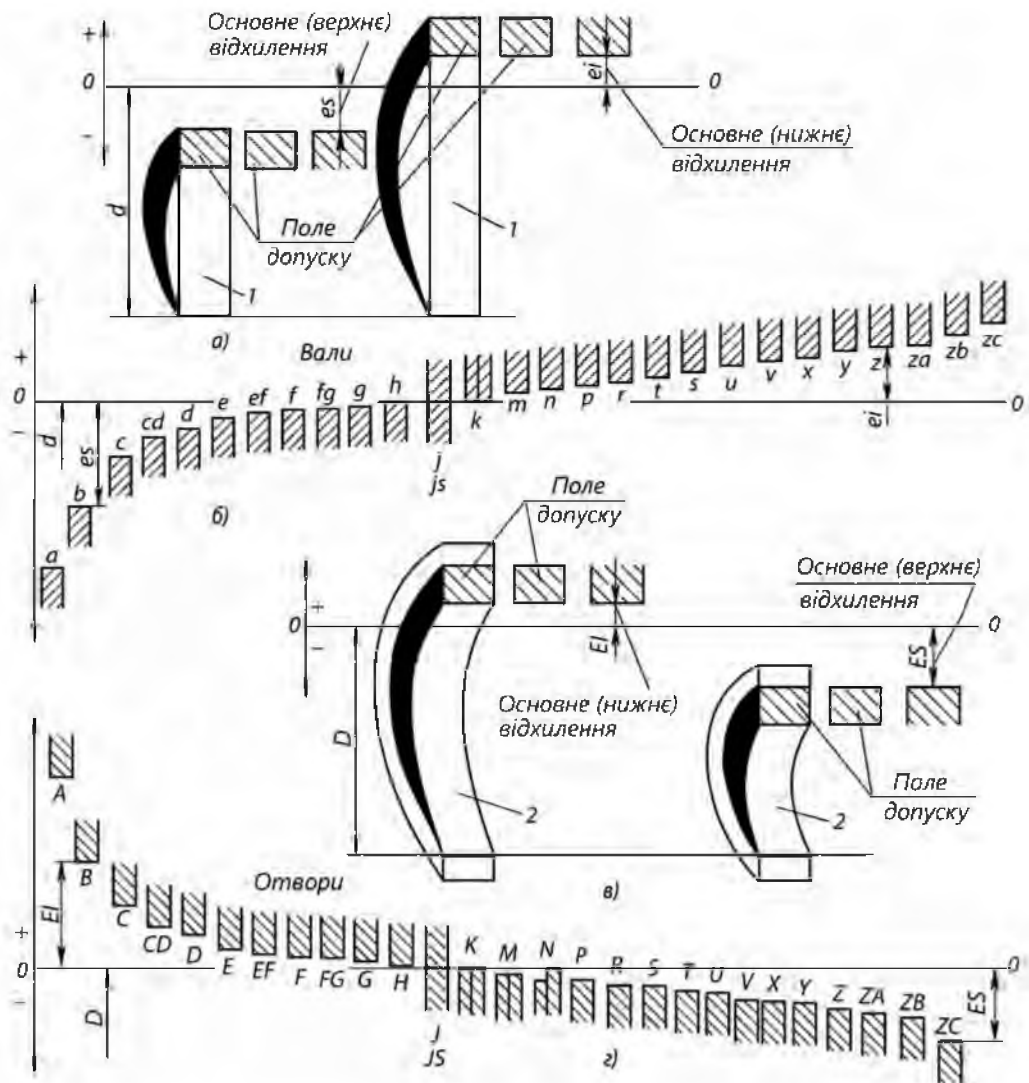


Рис. 1.3. Основні відхилення:

a і *б* – валів; *в* і *г* – отворів; *d* (*D*) – номінальний діаметр вала (отвору); *1* – вал; *2* – отвір

Основний вал *h* (рис. 1.4, *б*) і основний отвір *H* (рис. 1.4, *а*), у яких основні відхилення дорівнюють нулю.

Для основного отвору *H* найменший граничний розмір D_{\min} завжди дорівнює номінальному розмірові, нижнє відхилення EI дорівнює нулю, а верхнє ES – завжди додатне. Таким чином, поле допуску *H* завжди розміщене над нульовою лінією і прилягає до неї (рис. 1.4, *а*).

Для основного вала *h* найбільший граничний розмір d_{\max} завжди дорівнює номінальному розмірові, верхнє відхилення es дорівнює нулю, а нижнє відхилення ei завжди від'ємне. Поле допуску основного вала *h* завжди розміщене під нульовою лінією і прилягає до неї (рис. 1.4, *б*).

Таблиця 1.2. Значення допусків (мкм) за квалітетами для номінальних розмірів 1–500 мм (ГОСТ 25346–89)

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

В обох системах граничні розміри основних деталей (отворів чи валів) залишаються постійні лише за двох обов'язкових умов: для однакових номінальних розмірів деталей, а також для однакової точності (квалітету) всіх деталей, що входять у відповідне з'єднання.

Вибір системи отвору або вала визначають конструктивні, технологічні і техніко-економічні міркування.

Таблиця 1.3. Числові значення основних відхилень валів, мкм (ГОСТ 25346–89)

Інтервал розмірів, мм		Основні відхилення																
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	для квалітетів				
		для всіх квалітетів												5 і 6	7	8	від 4 до 7	до 3 та більше 7
Більше	До	Верхнє відхилення es												Нижнє відхилення ei				
–	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0	
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-	+1	0	
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-	+1	0	
10	14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0	-3	-6	-	+1	0	
14	18												-4	-8	-	+2	0	
18	24	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-5	-10	-	+2	0	
24	30												-7	-12	-	+2	0	
30	40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	25	-	-9	0	-9	-15	-	+3	0	
40	50	-320	-180	-130	-	-90	-60	-	30	-	-10	0	-11	-18	-	+3	0	
50	65	-340	-190	-140	-	-100	-70	-	36	-	-12	0	-13	-21	-	+4	0	
65	80	-360	-200	-150	-	-110	-80	-	42	-	-14	0	-16	-26	-	+4	0	
80	100	-380	-220	-170	-	-120	-90	-	48	-	-16	0	-18	-28	-	+4	0	
100	120	-410	-240	-180	-	-130	-100	-	54	-	-18	0	-20	-32	-	+5	0	
120	140	-460	-260	-200	-	-145	-85	-	63	-	-20	0						
140	160	-520	-280	-210	-	-160	-95	-	72	-	-22	0						
160	180	-580	-310	-230	-	-170	-100	-	81	-	-24	0						
180	200	-660	-340	-240	-	-180	-110	-	90	-	-26	0						
200	225	-740	-380	-260	-	-190	-110	-	100	-	-28	0						
225	250	-820	-420	-280	-	-200	-120	-	110	-	-30	0						
250	280	-920	-480	-300	-	-210	-125	-	120	-	-32	0						
280	315	-1050	-540	-330	-	-220	-130	-	130	-	-34	0						
315	355	-1200	-600	-360	-	-230	-135	-	140	-	-36	0						
355	400	-1350	-680	-400	-	-240	-140	-	150	-	-38	0						
400	450	-1500	-760	-440	-	-250	-145	-	160	-	-40	0						
450	500	-1650	-840	-480	-	-260	-150	-	170	-	-42	0						

Інтервал розмірів, мм		Основні відхилення													
		<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>za</i>	<i>zb</i>	<i>zc</i>
		для всіх квалітетів													
Більше	До	Нижнє відхилення <i>e_i</i>													
-	3	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60
3	6	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80
6	10	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97
10	14	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130
14	18								+39	+45	-	+60	+77	+108	+150
18	24	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30						+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50						+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80				+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120				+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160				+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180	+17	+31	+50	+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200				+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225	+20	+34	+56	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250				+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280	+21	+37	+62	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315				+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	+23	+40	+68	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400				+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500				+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

Таблиця 1.4. Числові значення основних відхилень отворів, мкм (ГОСТ 25346–89)

Інтервал розмірів, мм		Основні відхилення										
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>CD</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>EF</i>	<i>F</i>	<i>FG</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
		для всіх квалітетів										
Більше	До	Нижнє відхилення <i>E_i</i>										
-	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0
10	14	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0
14	18											
18	24	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0
24	30											
30	40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0
40	50	+320	+180	+130								
50	65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0
65	80	+360	+200	+150								
80	100	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0
100	120	+410	+240	+180								
120	140	+460	+260	+200	-	+145	+85	-	+43	-	+14	0
140	160	+520	+280	+210								
160	180	+580	+310	+230	-	+170	+100	-	+50	-	+15	0
180	200	+660	+340	+240								
200	225	+740	+380	+260	-	+190	+110	-	+56	-	+17	0
225	250	+820	+420	+280								
250	280	+920	+480	+300	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0
280	315	+1050	+540	+330								
315	355	+1200	+600	+360	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0
355	400	+1350	+680	+400								
400	450	+1500	+760	+440	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0
450	500	+1650	+840	+480								

Інтервал розмірів, мм		Основні відхилення										Р до ЗС		Р		Р	
		J		K		M		N		P до ЗС							
		для квалітетів															
6	7	8	до 8	більше 8	до 8	більше 8	до 8	більше 8	до 7								
Більше	До	Верхнє відхилення ES										Відхилення як для квалітетів більше 7-го, збільшені на Δ					
-	3	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4	-6			-10			
3	6	+5	+6	+10	-1+Δ	-	-4+Δ	-4	-8+Δ	0	-12			-15			
6	10	+5	+8	+12	-1+Δ	-	-6+Δ	-6	-10+Δ	0	-15			-19			
10	14	+6	+10	+15	-1+Δ	-	-7+Δ	-7	-12+Δ	0	-18			-23			
14	18																
18	24	+8	+12	+20	-2+Δ	-	-8+Δ	-8	-15+Δ	0	-22			-28			
24	30																
30	40	+10	+14	+24	-2+Δ	-	-9+Δ	-9	-17+Δ	0	-26			-34			
40	50																
50	65	+13	+18	+28	-2+Δ	-	-11+Δ	-11	-20+Δ	0	-32			-41			
65	80																
80	100	+16	+22	+34	-3+Δ	-	-13+Δ	-13	-23+Δ	0	-37			-51			
100	120																
120	140	+18	+26	+41	-3+Δ	-	-15+Δ	-15	-27+Δ	0	-43			-63			
140	160																
160	180																
180	200																
200	225	+22	+30	+47	-4+Δ	-	-17+Δ	-17	-31+Δ	0	-50			-80			
225	250																
250	280	+25	+36	+55	-4+Δ	-	-20+Δ	-20	-34+Δ	0	-56	-94					
280	315																
315	355	+29	+39	+60	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	-37+Δ	0	-62	-108					
355	400																
400	450	+33	+43	+66	-5+Δ	-	-23+Δ	-23	-40+Δ	0	-68	-126					
450	500																

Інтервал розмірів, мм		Основні відхилення										Δ									
		S		T		U		V		X		Y		Z		ZA		ZB		ZC	
		для квалітетів більше 7										для квалітетів									
Більше	До	Верхнє відхилення ES										3	4	5	6	7	8				
-	3	-14																			
3	6	-19																			
6	10	-23																			
10	14	-28																			
14	18																				
18	24	-35																			
24	30																				
30	40	-43																			
40	50																				
50	65	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16				
65	80	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	3	5	6	11	16				
80	100	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19				
100	120	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690	2	4	5	7	13	19				
120	140	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23				
140	160	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23				
160	180	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000	3	4	6	7	15	23				
180	200	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	7	15	23				
200	225	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	17	26				
225	250	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350	3	4	6	9	17	26				
250	280	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29				
280	315	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700	4	4	7	9	20	29				
315	355	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32				
355	400	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100	4	5	7	11	21	32				
400	450	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34				
450	500	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	13	23	34				

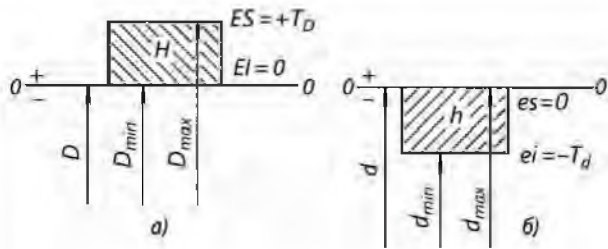


Рис. 1.4. Схема розміщення полів допусків основного отвору (а) та основного вала (б) у системі ЄСДП

Найбільшого поширення набули посадки в системі отвору тому, що трудомісткість обробки точного отвору вища від трудомісткості обробки точного вала, а також тому, що в цій системі для обробки отворів потрібний менший асортимент дорогих різальних інструментів. Тому посадки в системі отвору застосовувати економічно доцільніше. Завдяки тому, що у цьому випадку граничні розміри отворів (для заданого номінального діаметра і відповідної точності обробки) залишають однакові навіть за різних посадок, обробляти їх можна одним інструментом.

Усі типи з'єднань (нерухомі нерознімні, нерухомі рознімні, рухомі) отримують за допомогою трьох груп посадок: посадок з натягом N , перехідних посадок і посадок із зазором S .

Схематичне зображення посадок із зазором, перехідних посадок і посадок із натягом у системах отвору (СА) і вала (СВ) наведено на рис. 1.5 та рис. 1.6.

На наведених рис. 1.5 та рис. 1.6 схеми посадок із натягом позначено JT' , перехідних посадок – JT'' , посадок із зазором – JT''' ; допуск основного вала h (T_d); основні відхилення неосновних валів: $p - zc$, $j_s - n$, $a - h$ згідно з рис. 1.5; основні відхилення неосновних отворів $P - ZC$, $J_S - N$, $A - H$ згідно з рис. 1.6.

Допуск посадки з натягом (допуск натягу T_N) визначають як різницю між найбільшим і найменшим натягами, яка дорівнює сумі допусків отвору і вала:

$$T_N = N_{\max} - N_{\min} = JT_D + JT_d.$$

Допуск посадки із зазором (допуск зазору T_S) – різниця між найбільшим і найменшим зазорами, яка також дорівнює сумі допусків отвору і вала:

$$T_S = S_{\max} - S_{\min} = JT_D + JT_d.$$

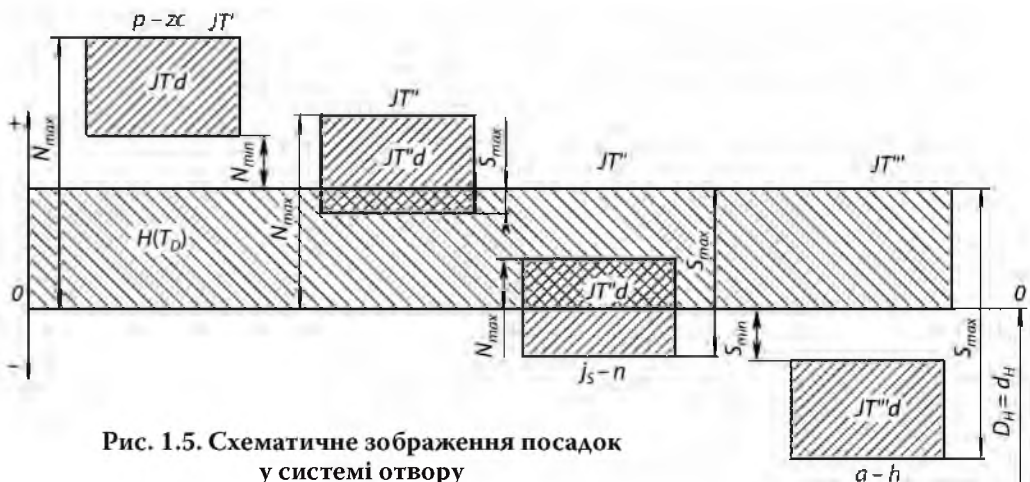


Рис. 1.5. Схематичне зображення посадок у системі отвору

1.3. ВИБІР ПОСАДОК

Під час вибору рухомих і нерухомих посадок у першу чергу знайомляться з подібними з'єднаннями деталей в інших механізмах та машинах, що працюють в аналогічних умовах. Інакше доводиться робити розрахунок зазорів і натягів з подальшою перевіркою спряжених деталей у роботі.

Вибір рухомої посадки. У виборі рухомої посадки, тобто посадки з гарантованим зазором, основне завдання – забезпечити найменше тертя між спряженими поверхнями вала та втулки, а отже, і найменше їх зношування.

Розрізняють такі види тертя: сухе, рідинне і проміжне (напівсухе та напіврідинне). За рідинного тертя шар мастила між поверхнями вала та втулки (підшипника) повинен бути такої товщини, щоб практично відбувалося ковзання не поверхні вала по поверхні втулки, а ковзання шарів мастила.

Якщо поверхні деталей не змащені, то виникає сухе тертя, за якого механічна енергія обертання деталей перетворюється на теплову, деталі сильно нагріваються і машина втрачає працездатність. Проміжне – напівсухе або напіврідинне – тертя відбувається, коли поверхні тертя розділені шаром мастила не повністю.

Найкращі умови для ковзання з'являються за рідинного тертя, коли поверхні вала та отвору підшипника будуть повністю розділені мастильним шаром. Мастильний шар і циркуляція змащувальної рідини створюють найменше тертя і поліпшують відведення тепла, що виникає під час тертя, від робочих поверхонь підшипника.

Розрахунки і практика експлуатації машин показують, що зі збільшенням частоти обертання і в'язкості мастила слід підбирати посадку з великим зазором. У підборі мастила необхідно враховувати, що в'язкість мастила зі зростанням температури знижується, а з пониженням температури – підвищується.

Вибір посадки з натягом. Міцність нерухомого з'єднання двох деталей забезпечує сила тертя між поверхнями деталей і залежить від величини натягу. Тому під час вибору посадки з натягом визначають допустимі значення найбільшого та найменшого натягу.

Якщо натяг перевищить допустимий, то деталь може зруйнуватися, а за дуже малого натягу сила тертя може виявитися недостатньою і під час роботи відбудеться зсув деталей одна щодо одної.

За відсутності досвіду застосування подібної посадки в інших машинах і складальних одиницях, перевірених у роботі, конструктор визначає допустимий натяг шляхом розрахунку. Для цього спочатку обчислюють величину найбільшого натягу, потім підбирають відповідну посадку з числа основних або комбінованих і перевіряють допустимість найменшого натягу, за якого сполучені деталі не зміщуватимуться одна щодо одної.

На міцність посадки з натягом впливає і товщина стінок спряжених втулки і вала (якщо вал порожнистий), величина (площа) поверхні спряження, а також спосіб з'єднання деталей.

За умови з'єднання за рахунок розширення втулки від нагріву (без застосування сили) міцність з'єднання буде значно вища, ніж у разі запресування без нагріву втулки. Це пояснюється тим, що внаслідок запресування деталей із додаванням сили (наприклад, під пресом) нерівності поверхонь зминаються і натяг, обчислений на підставі розмірів (при вимірюванні вала і втулки) до запресування, дещо зменшиться.

Але у разі здійснення нерухомої посадки з нагріванням охоплюючої деталі може виникнути нерівномірна деформація (спотворення форми), особливо небезпечна для

деталей складної форми. Посадки з натягом, як правило, є нероз'ємними, оскільки розпресування і запресування знову призводять до порушення посадки.

Під час вибору посадки також враховують температурні умови роботи деталей. Так, якщо охоплювана та охоплююча деталі мають різні коефіцієнти лінійного розширення, тобто виготовлені з різних матеріалів, то у разі значного відхилення робочої температури від нормальної (20 °C) натяг може змінитися і не задовольняти умов роботи механізму.

Загальна характеристика основних посадок. У ковзних (ковзаючих) посадках (H7/h6; H8/h7) найменший зазор дорівнює нулю, тому ці посадки перебувають на межі між нерухожими і перехідними посадками. За хорошого змащування деталі переміщуються одна щодо одної вільно. Наприклад, напрямні та пінолі у верстатах, поршневі штоки у циліндрах насосів і поршневих машин, що центрують поверхні фланців та кришок. Але якщо використовують додатковий кріпильний засіб, наприклад шпонку, ковзна посадка стає нерухожою. Це здійснюють у випадках, коли потрібне точне центрування зв'язаних деталей при частому складанні і розбиранні складальних одиниць у процесі експлуатації машини (з'єднання валів зі змінними колесами, зі зчіпними дисками або з'єднувальними і фрикційними муфтами та ін.).

Посадки типу H7/g6, H7/g5 мають малий гарантований зазор, що забезпечує хороше центрування деталей і відсутність ударів у випадку зміни навантаження. Із хорошим змащенням посадки застосовують для сполучення шийки колінчастого вала з шатуном у поршневому двигуні, вала ротора турбіни і шпинделів верстатів, клапанів, а також для регулярного тихохідного переміщення деталей.

Посадки H7/f7, H8/f6 та інші застосовують для з'єднання деталей, які працюють в основному при помірних і постійних швидкостях і з безударним навантаженням. Це, наприклад, вали, що обертаються в підшипниках (колінчасті, кулачкові), і шпинделі.

Посадки H8/e8, H7/e7, H7/e8 мають відносно великі зазори, і їх застосовують для рухомих з'єднань за тих самих умов, що і ходові, але за більшої довжини втулки чи більшої кількості опор, а також за швидкості понад 1000 об/хв. Приклади застосування з'єднань: цапфи валів із втулками підшипників у відцентрових насосах, приводах шліфувальних верстатів, турбогенераторах; валів холостих шківів і коліс, що вільно обертаються; вала масляного насоса з кришкою; точних кулькових та вилчастих шарнірів.

Посадки H8/d9, H9/d9 та інші характеризують відносно великі зазори, і їх застосовують для з'єднання деталей, що працюють на великих швидкостях; коли за умовами роботи деталей допускаються неточне центрування, перекоси і прогини; за великої довжини посадки; у багатоопорних з'єднаннях; для з'єднання деталей, розміри яких змінюються під впливом температури під час роботи машини або які працюють у несприятливих умовах (забрудненість), наприклад у сільськогосподарських, дорожніх та інших машинах, а також для поршнів із циліндрами і валів турбогенераторів, різних клапанів із втулками, поршневих кілець у компресорах.

Посадку H7/c8 застосовують для з'єднання деталей, що працюють за високої температури, наприклад у різних теплових двигунах, коли робочий зазор може істотно зменшуватися внаслідок неоднакового теплового розширення деталей.

Посадки H7/n6, H8/n7, N7/n6 застосовують відносно рідко, зокрема за великих динамічних навантажень (удар, вібрація), у тому випадку, коли розбирання передбачене тільки під час капітального ремонту машин.

Посадки H7/m6, M7/h7 застосовують у разі менш міцного матеріалу деталей або більш частого складання складальних одиниць, а також за довжини втулки понад

1,5d або тонших стінок втулок. Прикладами застосування цих посадок є з'єднання валів та осей із кулачковими муфтами, маховичками, шківками і важелями; конічних зубчастих коліс та черв'ячних передач, роторів електромашин.

Посадки H7/k6, K7/h7 дають хорошу точність центрування і забезпечують швидке збирання та розбирання деталей за допомогою легких молотків. Їх застосовують для швидкохідних шківів, коліс редукторів, маховичків, руків'їв, муфт, настановних коліс, пальців крейцкопфів, компресорів, змінних втулок у колесах та підшипниках.

Посадки H7/js6, Js7/h6 застосовують у разі необхідності частого і швидкого збирання та розбирання, а також замість напруженої посадки за довжини втулки понад 1,5d. Ці посадки забезпечують повільне осьове переміщення деталей і хороше їх центрування. Наприклад, у змінних колесах, центрувальних штифтах.

Посадки з натягом введені як орієнтовні. При виборі посадки конструктор повинен проводити розрахунок натягу і враховувати всі чинники, що впливають на її вибір. Після вибору посадки її перевіряють дослідним шляхом.

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ ПОСАДОК З'ЄДНАНЬ

1. Розрахунок параметрів посадки гладкого циліндричного з'єднання

Завдання

- 1) Розрахувати параметри посадки:
 - граничні розміри отвору D_{\max} і D_{\min} та вала d_{\max} , d_{\min} ;
 - допуски розмірів отвору T_D , вала T_d та посадки T_S ;
 - граничні зазори S_{\max} , S_{\min} та натяги N_{\max} , N_{\min} .
- 2) Побудувати схему розташування полів допусків з'єднання.
- 3) Накреслити ескізи з'єднання з позначенням посадки отвору та вала і з указанням полів допусків та граничних відхилень.

Посадка $\emptyset 75H7/g6$

75 – номінальний діаметр з'єднання;
 H7/g6 – посадка;
 H, g – основні відхилення отвору, вала;
 7, 6 – квалітет отвору, вала.

1.1. За табл. 6, 7 ГОСТу 25346–89 (табл. 1.2, 1.3) знаходимо граничні відхилення отвору та вала

$$\text{Отвір} - \emptyset 75H7 \begin{pmatrix} +0,030 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \text{вал} - \emptyset 75g6 \begin{pmatrix} -0,010 \\ -0,029 \end{pmatrix}.$$

1.2. Обчислюємо граничні розміри отвору та вала

$$D_{\max} = D_n + ES, \quad (1.1)$$

де D_{\max} – найбільший граничний розмір отвору, мм; D_n – номінальний діаметр отвору, мм; ES – верхнє відхилення отвору, мм;

$$D_{\max} = 75 + 0,030 = 75,030;$$

$$D_{\min} = D_n + EI, \quad (1.2)$$

де D_{\min} – найменший граничний розмір отвору, мм; D_n – номінальний діаметр отвору, мм; EI – нижнє відхилення отвору, мм;

$$D_{\min} = 75 + 0 = 75,000.$$

Аналогічно

$$d_{\max} = d_n + es; \quad (1.3)$$

$$d_{\min} = d_n + ei; \quad (1.4)$$

де d_{\max} , d_{\min} – найбільший та найменший граничні розміри вала, мм; d_n – номінальний діаметр вала, мм; es , ei – верхнє та нижнє відхилення вала, мм;

$$d_{\max} = 75 + (-0,010) = 74,990;$$

$$d_{\min} = 75 + (-0,029) = 74,971.$$

1.3. Визначаємо допуски розмірів отвору T_D , вала T_d та допуск посадки T_Z

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI; \quad (1.5)$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei; \quad (1.6)$$

$$T_Z = T_D + T_d; \quad (1.7)$$

$$T_D = 75,030 - 75,000 = 0,030 \text{ мм};$$

$$T_D = 0,030 - 0 = 0,030 \text{ мм};$$

$$T_d = 74,990 - 74,971 = 0,019 \text{ мм};$$

$$T_d = -0,010 - (-0,029) = 0,019 \text{ мм};$$

$$T_Z = 0,030 + 0,019 = 0,049 \text{ мм}.$$

1.4. Обчислюємо граничні зазори у з'єднанні

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei; \quad (1.8)$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es; \quad (1.9)$$

де S_{\max} , S_{\min} – найбільший та найменший граничні зазори, мм;

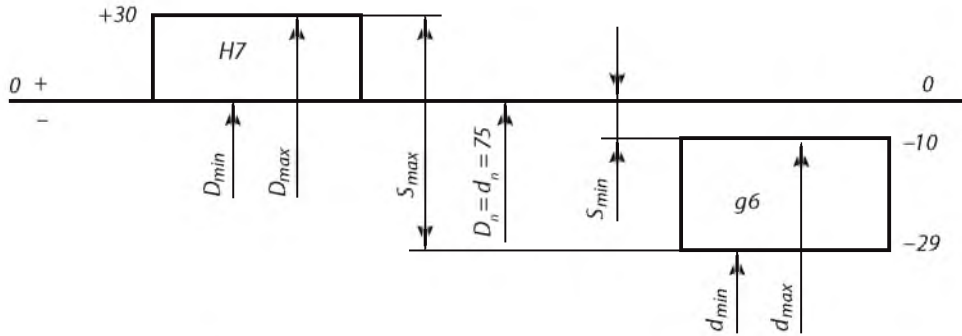
$$S_{\max} = 75,030 - 74,971 = 0,059;$$

$$S_{\max} = 0,030 - (-0,029) = 0,059;$$

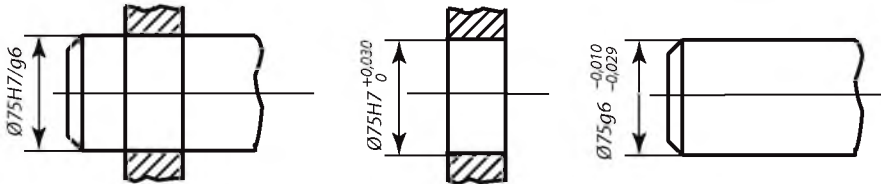
$$S_{\min} = 75,000 - 74,990 = 0,010;$$

$$S_{\min} = 0 - (-0,010) = 0,010.$$

1.5. Будуємо схему розташування полів допусків з'єднання



1.6. Накреслимо ескізи з'єднання з позначенням посадки отвору та вала, полів допусків і граничних відхилень



Посадка Ø75P7/h6

1.1. За табл. 6, 8 ГОСТу 25346–89 (табл. 1.2, 1.4) знаходимо граничні відхилення отвору та вала

$$\text{Отвір} - \text{Ø75P7} \begin{pmatrix} 0 \\ -0,019 \end{pmatrix}; \quad \text{вал} - \text{Ø75h6} \begin{pmatrix} 0 \\ -0,019 \end{pmatrix}.$$

1.2. Обчислюємо граничні розміри отвору та вала за формулами (1.1)–(1.4)

$$D_{\max} = 75 + (-0,021) = 74,979 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = 75 + 0 = 75,000 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = 75 + (-0,051) = 74,949 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = 75 + (-0,019) = 74,981 \text{ мм}.$$

1.3. Визначаємо допуски розмірів отвору, вала та допуски посадки за формулами (1.5)–(1.7)

$$T_D = -0,021 - (-0,051) = 0,030 \text{ мм};$$

$$T_d = 0 - (-0,019) = 0,019 \text{ мм};$$

$$T_Z = 0,030 + 0,019 = 0,049 \text{ мм}.$$

2. Розрахунок і вибір посадок із натягом

Завдання

Для заданих умов обчислити необхідне значення натягу, обрати стандартну посадку, перевірити деталі з'єднань на міцність.

Номинальний діаметр з'єднання $d_n = 190$ мм.

Зовнішній діаметр втулки $D_z = 250$ мм.

Довжина з'єднання $l = 40$ мм.

Передатний крутний момент $M_{кр} = 6640$ кг·см.

Шорсткість поверхні:

– отвору $R_{zd} = 10$ мкм;

– вала $R_{zd} = 6,3$ мкм.

Матеріал втулки і вала – сталь 40, для якої:

– модуль пружності $E_D = E_d = 2,1 \cdot 10^6$ кг/см²;

– коефіцієнт Пуассона $\mu_D = \mu_d = 0,3$;

– межа текучості $\sigma_T = 33,4$ кг/мм²;

– коефіцієнт тертя сталі по сталі при запресуванні $f = 0,085$.

2.1. Вихідні дані зводимо до основних одиниць системи СІ

Номинальний діаметр з'єднання $d_n = 190$ мм = 0,19 м.

Зовнішній діаметр втулки $D_z = 250$ мм = 0,25 м.

Довжина з'єднання $l = 40$ мм = 0,04 м.

Передатний крутний момент $M_{кр} = 6640$ кг·см = 650 Н·м.

Шорсткість поверхні:

– отвору $R_{zd} = 10$ мкм = $10 \cdot 10^{-6}$ м;

– вала $R_{zd} = 6,3$ мкм = $6,3 \cdot 10^{-6}$ м.

Модуль пружності $E_D = E_d = 2,1 \cdot 10^6$ кг/см² = $2,1 \cdot 10^{11}$ Па.

Межа текучості $\sigma_T = 33,4$ кг/мм² = 334 МПа.

2.2. Визначаємо величину найменшого питомого тиску P_{\min} , необхідного для передачі заданого крутного моменту

$$P_{\min} = \frac{2M_{кр}}{\pi d_n^2 l f}$$

де $M_{кр}$ – передатний крутний момент, Н·м; d_n – номинальний діаметр з'єднання, м; l – довжина з'єднання, м; f – коефіцієнт тертя.

$$P_{\min} = \frac{2 \cdot 650}{3,14 \cdot 0,19^2 \cdot 0,04 \cdot 0,085} = 3,37 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 3,37 \text{ МПа.}$$

2.3. Визначаємо величину мінімального натягу N_{\min} , що забезпечує нерухомість з'єднання

$$N_{\min} = P_{\min} d_n \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right),$$

де E_D, E_d – модулі пружності матеріалу втулки та вала, Н/м² (Па); C_D, C_d – коефіцієнти, що залежать від розмірів і матеріалу втулки та вала.

Коефіцієнти C_D та C_d знаходимо за формулами:

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d_n}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_n}{d_2}\right)^2} + \mu_D; \quad C_d = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d_n}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d_n}\right)^2} + \mu_d$$

де d_2 – зовнішній діаметр втулки, м; d_1 – внутрішній діаметр вала (для суцільного вала $d_1 = 0$); μ_D, μ_d – коефіцієнти Пуассона для матеріалу отвору та вала.

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{0,19}{0,25}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,19}{0,25}\right)^2} + 0,3 = 4,03; \quad C_d = \frac{1 + \left(\frac{0}{0,19}\right)^2}{1 - \left(\frac{0}{0,19}\right)^2} + 0,3 = 0,7.$$

Тоді

$$N_{\min} = 3,4 \cdot 10^6 \cdot 0,19 \frac{4,03 + 0,7}{2,1 \cdot 10^{11}} = 14,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 14,5 \text{ мкм.}$$

2.4. Визначаємо розрахунковий натяг з урахуванням зрізу та змінання шорсткостей після запресування

$$N_{\text{розр}} = N_{\min} + 1,2 (R_{zD} + R_{zd}),$$

де R_{zD} та R_{zd} – висоти нерівностей отвору та вала, мкм.

$$N_{\text{розр}} = 14,5 + 1,2 (10 + 6,3) = 34,06 \text{ мкм.}$$

2.5. Вибираємо рекомендовану посадку з натягом, викреслюючи умову

$$N_{\min \text{ ст}} \geq N_{\text{розр}}$$

де $N_{\min \text{ ст}}$ – найменший граничний натяг обраної посадки.

Такої умові відповідають посадки:

$$\text{Ø}190\text{H}6/\text{f}5, \text{ в якій } N_{\min \text{ ст}} = 48 \text{ мкм, } N_{\max \text{ ст}} = 97 \text{ мкм.}$$

$$\text{Ø}190\text{H}8/\text{s}7, \text{ в якій } N_{\min \text{ ст}} = 50 \text{ мкм, } N_{\max \text{ ст}} = 168 \text{ мкм.}$$

Вибираємо посадку Ø190H8/s7 як більш дешеву у виготовленні.

2.6. Перевіряємо вибрану посадку за умовою міцності

$$P_{\max} \leq P_{\text{доп}}$$

де P_{\max} – найбільший питомий тиск (напруження) на контактних поверхнях, Н/м² (Па); $P_{\text{доп}}$ – допустимий питомий тиск (напруження) для заданого матеріалу, Н/м² (Па).

$$P_{\max} = \frac{N_{\max \text{ ст}} - 1,2(R_{zD} + R_{zd})}{d \left(\frac{C_D + C_d}{E_D + E_d} \right)};$$

$$P_{\max} = \frac{[168 - 1,2(10 + 6,3)] \cdot 10^{-6}}{0,19 \frac{4,03 + 0,7}{2,1 \cdot 10^{11}}} = 34,7 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 34,7 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{допD}} = 0,58 \sigma_{TD} \left[1 - \left(\frac{d_n}{d_2} \right)^2 \right]; \quad P_{\text{допd}} = 0,58 \sigma_{Td} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_n} \right)^2 \right],$$

де σ_{TD} , σ_{Td} – межі текучості матеріалу втулки та вала, Н/м² (Па).

Для сталі 40 $\sigma_T = 334 \text{ МПа}$.

$$P_{\text{допD}} = 0,58 \cdot 334 \left[1 - \left(\frac{0,19}{0,25} \right)^2 \right] = 87,8 \text{ МПа}; \quad P_{\text{допd}} = 0,58 \cdot 334 \left[1 - \left(\frac{0}{0,19} \right)^2 \right] = 193,7 \text{ МПа.}$$

Порівнюємо P_{\max} із меншим з-поміж допустимих:

$$34,7 < 87,8.$$

Таким чином, навіть для втулки, в якій допустиме напруження значно менше, умова міцності витримана.

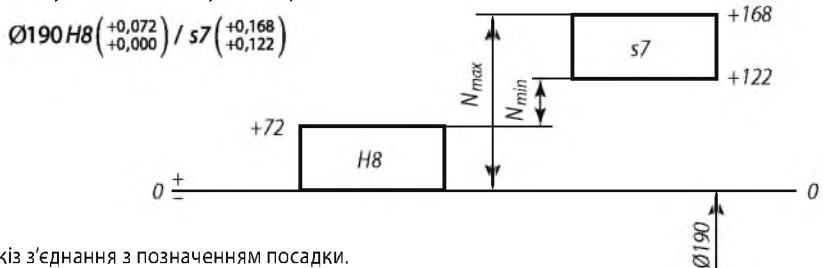
2.7. Визначаємо найбільше зусилля запресування

$$P_{\text{запр}} = P_{\max} \pi d_n l f;$$

$$P_{\text{запр}} = 34,7 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,19 \cdot 0,04 \cdot 0,085 = 70387 \text{ Н} = 70,387 \text{ кН};$$

$$P_{\text{розпр}} = 1,5 P_{\text{запр}}$$

2.8. Будуємо схему розташування полів допусків вибраної посадки



Накреслимо ескіз з'єднання з позначенням посадки.

РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПОСАДОК ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Завдання

Для заданого підшипника й умов його роботи обрати посадки внутрішнього кільця на вал та зовнішнього – в корпус, намалювати схеми полів допусків, позначити посадки на ескізі з'єднання.

Підшипник № 207, радіальне навантаження $R = 4300$ Н, навантаження помірне з малою вібрацією, обертається вал.

1. За табл. 1.7 знаходимо розміри підшипника

- Зовнішній діаметр $D = 72$ мм.
- Внутрішній діаметр $d = 35$ мм.
- Ширина кільця $\beta = 17$ мм.
- Радіус фаски $r = 2$ мм.

2. Визначаємо характер навантаження кільця

Оскільки вал обертається, а корпус – нерухомий, внутрішнє кільце навантажене циркуляційно, а зовнішнє – жорстко.

3. Для циркуляційно навантаженого кільця обчислюємо інтенсивність навантаження P_R

$$P_R = \frac{R}{B - 2r} K_{\Gamma} F F_A$$

де R – радіальне навантаження, Н; B – ширина кільця, м; r – радіус фаски, м; K_{Γ} – динамічний коефіцієнт посадки, для помірного навантаження з малою вібрацією $K_{\Gamma} = 1$; F – коефіцієнт, що враховує послаблення натягу за умови пустотілого вала, для суцільного вала $F = 1$; F_A – коефіцієнт нерівномірності розподілу радіального навантаження, для однорядного підшипника $F_A = 1$.

$$P_R = \frac{4300}{(17 - 2 \cdot 2) \cdot 10^{-3}} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 330\,760 \text{ Н/м} = 330,76 \text{ кН/м.}$$

За табл. 1.5 для отриманої інтенсивності навантаження для діаметра внутрішнього кільця 35 мм вибираємо посадку к6.

Таблиця 1.5. Допустимі інтенсивності навантажень на посадочні поверхні вала

Діаметр d отвору внутрішнього кільця підшипника, мм		Допустимі значення P_R , кН/м, при полі допуску вала			
Більше	До	$j5; j6$	$k5; k6$	$m5; m6$	$n5; n6$
18	80	До 300	300–1400	1400–1600	1600–3000
80	180	» 600	600–2000	2000–2500	2500–4000
180	360	» 700	600–3000	3000–3500	3500–6000
360	630	» 900	900–3500	3500–4500	4500–8000

4. Для місцево навантаженого зовнішнього кільця за табл. 1.6 вибираємо посадку Н7, оскільки діаметр кільця 72 мм і корпус – нерознімний.

Таблиця 1.6. Допустимі інтенсивності навантажень на посадочні поверхні корпусу

Діаметр D зовнішнього кільця підшипника, мм		Допустимі значення P_R , кН/м, при полі допуску вала			
Більше	До	$K6; K7$	$M6; M7$	$N6; N7$	$P7$
50	180	До 800	800–1000	1000–1300	1300–2500
180	360	» 1000	1000–1500	1500–2000	2000–3300
360	630	» 1200	1200–2000	2000–2600	2600–4000
630	1600	» 1600	1600–2500	2500–3500	3500–5500

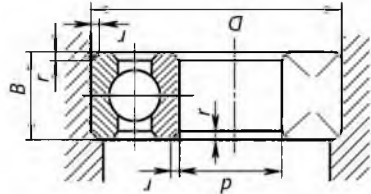
5. За таблицями ГОСТу 520–89 та ГОСТу 25347–82 знаходимо граничні відхилення

$$\varnothing 35L0^{(-0,012)/k6} \begin{matrix} +0,018 \\ +0,0022 \end{matrix} / \varnothing 72H7^{(+0,030)/j0} \begin{matrix} -0,013 \\ \end{matrix}$$

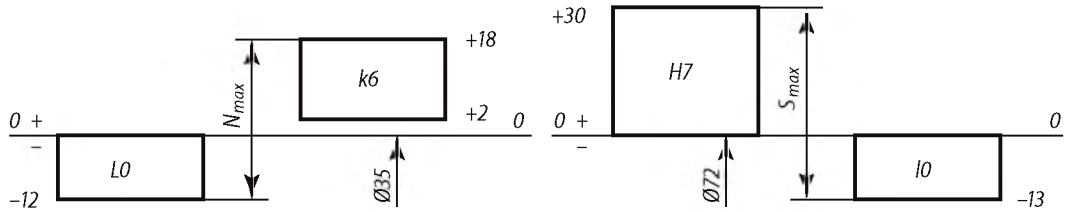
Для знаходження полів допусків Н7 і к6 можна скористатися табл. 1.2, 1.3, 1.4.

Таблиця 1.7. Кулькові підшипники радіальні однорядні за ГОСТом 8338-75

Позначення	Розміри, мм			Вантажо- підйомність, кН		
	d	D	B	C	C ₀	C ₀
Легка серія						
200	10	30	9	4,69	2,66	
201	12	32	10	4,78	2,70	
202	15	35	11	5,97	3,54	
203	17	40	12	7,52	4,47	
204	20	47	14	10	6,30	
205	25	52	15	11	7,09	
206	30	62	16	15,3	10,2	
207	35	72	17	20,1	13,9	
208	40	80	18	25,6	18,1	
209	45	85	19	27,7	18,1	
210	50	90	20	27,5	20,2	
211	55	100	21	34	25,6	
212	60	110	22	41,1	31,5	
213	65	120	23	44,9	34,7	
214	70	125	24	48,8	38,1	
215	75	130	25	51,9	41,9	
216	80	140	26	57,0	45,4	
217	85	150	28	65,4	54,1	
218	90	160	30	75,3	61,7	
219	95	170	32	85,3	70,9	
220	100	180	34	95,8	80,6	
221	105	190	36	104,0	91,0	
222	110	200	38	113,0	102	
224	120	215	40	122	114	
226	130	230	40	120	112	
228	140	250	42	126	122	
230	150	270	45	149	153	
232	160	290	48	158	168	
234	170	310	52	189	213	
236	180	320	52	178	200	
238	190	340	55	200	233	
240	200	360	58	-	-	
Середня серія						
300	10	35	11	6,36	3,83	
301	12	37	12	7,63	4,73	
302	15	42	13	8,90	5,51	
303	17	47	14	10,9	6,80	
304	20	52	15	12,5	7,94	
305	25	62	17	17,6	11,6	
306	30	72	19	22	15,1	
307	35	80	21	26,2	17,9	
308	40	90	23	31,9	22,7	
309	45	100	25	37,8	26,7	
310	50	110	27	48,5	36,3	
311	55	120	29	56	42,6	
312	60	130	31	64,1	49,4	
313	65	140	33	72,7	56,7	
314	70	150	35	81,7	64,5	
315	75	160	37	89	72,8	
316	80	170	39	96,5	81,7	
317	85	180	41	104	91	
318	90	190	43	112	101	
319	95	200	45	120	111	
320	100	215	47	136	133	
321	105	225	49	144	145	
322	110	240	50	161	170	
324	120	260	55	170	184	
326	130	280	58	180	198	
328	140	300	62	-	-	
330	150	320	65	217	258	
332	160	340	68	-	-	
336	180	380	75	-	-	
340	200	420	80	-	-	
Важка серія						
403	17	62	17			12,1
405	25	80	21			20,8
406	30	90	23			27,2
407	35	100	25			31,9
408	40	110	27			37,0
409	45	120	29			46,4
410	50	130	31			53,0
411	55	140	33			63,7
412	60	150	35			71,4
413	65	160	37			79,6
414	70	180	42			107
415	75	190	45			117
416	80	200	48			127
417	85	210	52			138
418	90	225	54			-
419	95	240	55			-
420	100	250	58			-
421	105	260	60			-
422	110	280	65			-
424	120	310	72			-
426	130	340	78			-
428	140	360	82			-
430	150	380	85			-
432	160	400	88			-



6. Будемо схеми розташування полів допусків кілець підшипників з'єднаних деталей.



7. Обчислюємо зусилля напрусування $P_{\text{напр}}$ внутрішнього кільця на вал та зусилля розпресування $P_{\text{розпр}}$

$$P_{\text{напр}} = 10 \cdot N_{\text{max}} \cdot f_k \cdot f_1,$$

де N_{max} – найбільше значення натягу, мкм; f_k – фактор опору, що залежить від коефіцієнта тертя: $f_k = 4$ при напруженні; $f_k = 6$ при розпресуванні; f_1 – фактор, що залежить від розмірів кільця

$$f_1 = B \left[1 - \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 \right],$$

де d_0 – зведений діаметр внутрішнього кільця

$$d_0 = d + \frac{D-d}{4};$$

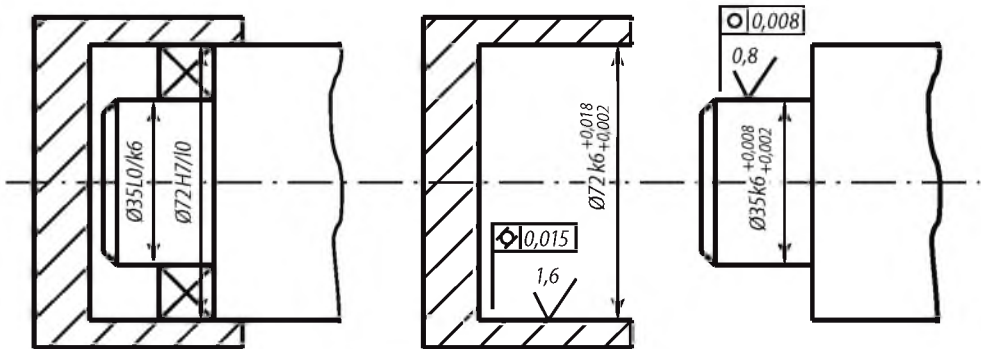
$$d_0 = 35 + \frac{72-35}{4} = 44,25 \text{ мм};$$

$$f_1 = 17 \left[1 - \left(\frac{35}{44,25} \right)^2 \right] = 6,36;$$

$$P_{\text{напр}} = 10 \cdot 30 \cdot 4 \cdot 6,36 = 7632 \text{ Н} = 7,632 \text{ кН};$$

$$P_{\text{розпр}} = 10 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 6,36 = 11\,448 \text{ Н} = 11,448 \text{ кН}.$$

8. Накреслимо ескізи з'єднання і деталей.



1.4. ДОПУСКИ, ПОСАДКИ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Взаємозамінність у першу чергу залежить від точності розмірів елементів складальної одиниці, до якої вони входять. Відповідність точності допусків і посадок встановленим вимогам забезпечують технічні вимірювання.

Точність розміру – ступінь відповідності його значення значенню, заданому в кресленку.

Точність і взаємозамінність деталей залежать від точності верстатів, на яких обробляють деталі, від якості технологічного процесу та інструментів, а також від правильного вибору, точності та застосування контрольно-вимірювальних засобів.

Вимірювання проводять у таких випадках:

- під час виготовлення виробів, їх ремонту та в процесі експлуатації під час контролю точності обладнання, його налагодження і настроювання інструментів на розмір;
- для контролю розмірів заготовок і готових деталей під час їх виготовлення та складання;
- у процесі ремонту на стадіях визначення технічного стану, відновлення, складання та випробування;
- під час сортування деталей на групи;
- під час приймання готових машин, механізмів і приладів тощо.

Вимірювання виконують на всіх етапах технологічних процесів виготовлення та відновлення виробів. Першочергову роль вони відіграють у забезпеченні точності необхідних посадок спряжених елементів конструкцій, які, окрім геометричної взаємозамінності, визначають і їхню функціональну взаємозамінність. Тому забезпечення ефективності та якості вимірювань – одне з основних завдань виробництва.

Це завдання виконують за допомогою комплексу робіт із метрологічного забезпечення. Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія.

Метрологія – наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення їх єдності і способи досягнення потрібної точності.

Метрологічне забезпечення – встановлення і застосування метрологічних норм та правил, а також розробка, виготовлення і використання спеціальних технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і вимог точності вимірювання.

Точність вимірювань – якість вимірювань, що відображає близькість їх результатів до істинного значення величини, яку вимірюють.

Єдність вимірювань – такий стан вимірювання, при якому результати вимірювань виражають в узаконених одиницях, а похибки вимірювання відомі із заданою ймовірністю.

Дотримання правил єдності вимірювань гарантує можливість порівняння результатів вимірювань тієї самої величини (того самого розміру), виконаних за різних умов, різними операторами, у різний час, різними методами виконання вимірювань і різними засобами вимірювань.

1.5. ОСНОВИ ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Вимірювання – знаходження фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Прикладом є вимірювання (визначення) діаметра втулки за допомогою мікрометричного нутроміра, визначення кута виробу за допомогою кутоміра.

Довжина і кут – фізичні величини; їхні значення, наприклад, 10 м або 1°, знаходять у результаті вимірювань за допомогою вимірювальних приладів.

Одиниця довжини – 1 метр (1 м) – основна одиниця Міжнародної системи одиниць СІ.

Метр – довжина, що дорівнює довжині шляху, який проходить світло у вакуумі за $1/299\,792\,458$ частку секунди.

У 1960 р. на XI Генеральній конференції з мір та ваг було прийнято таке визначення метра. Метр – одиниця довжини – довжина, яка дорівнює $1/299\,792\,458$ довжини хвилі у вакуумі випромінювання, що відповідає переходу між рівнями $2p^{10}$ і $5d^5$ атома криптону-86.

Одиницею кута є додаткова одиниця СІ – радіан. Радіан – одиниця плоского кута – кут між двома радіусами кола, дуга між якими завдовжки дорівнює радіусу. У градусному обчисленні радіан (рад) дорівнює $57^{\circ}17'44,8''$. Радіан застосовують в основному в теоретичних розрахунках. Практично плоскі кути вимірюють у кутових градусах, мінутах та секундах; у цих же одиницях проградуєвано більшість кутомірних приладів.

За умовами, що визначають точність результату, вимірювання підрозділяють на три класи: еталонні і спеціальні вимірювання максимально можливої точності; контрольно-повірочні вимірювання, які виконують державні та заводські вимірювальні лабораторії; технічні вимірювання, які виконують на промислових підприємствах.

Вимірювання здійснюють за допомогою технічних засобів, до яких відносять міри, вимірювальні прилади, вимірювальні перетворювачі, вимірювальні установки та вимірювальні системи. Їх визначення подані у табл. 1.8.

Засіб вимірювань – технічний засіб, який використовують під час вимірювань, що має нормовані метрологічні властивості.

Міри, які відтворюють фізичні величини лише одного розміру, називають *однозначними*, наприклад, кутова міра 10° , плоскопаралельна кінцева міра довжини номінального розміру 50 мм. *Багатозначна* міра – це міра, що відтворює ряд однойменних величин різного розміру, наприклад, вимірювальна лінійка.

Таблиця 1.8. Засоби вимірювань (ГОСТ 16263–70)

Засіб вимірювань	Визначення	Приклади
Міра	Засіб вимірювань, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру	Плоскопаралельні кінцеві міри довжини. Кутові міри
Вимірювальний прилад	Засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем	Мікрометр. Оптиметр. Інструментальний мікроскоп. Рівень
Вимірювальний перетворювач	Засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і (або) зберігання, але недоступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем	Індуктивний перетворювач профілографа-профілометра мод. 252
Вимірювальна установка	Сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань (заходів, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів) і допоміжних пристроїв, призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для безпосереднього сприйняття спостерігачем, і розташована в одному місці	Установка для перевірки плоскопаралельних кінцевих мір довжини. Установка для контролю радіального і торцевого биття валів
Вимірювальна система	Сукупність засобів вимірювань, сполучених між собою каналами зв'язку, призначена для вироблення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для автоматичної обробки, передачі і (або) використання в автоматичних системах управління	Трикоординатна вимірювальна машина. Вимірювальна система активного контролю під час шліфування

Вимірювальні прилади за способом відліку значень вимірюваних величин поділяють на показувальні, зокрема на аналогові та цифрові, і на реєструвальні. *Аналоговий* прилад – прилад, показання якого є безперервною функцією змін вимірюваної величини. Відлікові пристрої цих приладів складаються з двох елементів – шкали і покажчика, причому шкала пов'язана з корпусом, а покажчик – з рухомою системою приладу. *Цифровий* прилад – прилад, що автоматично виробляє дискретні сигнали вимірювальної інформації, показання якого представлено у цифровій формі. *Реєструвальний* прилад – прилад із записом показань у формі діаграм (його називають самописним) або з друкуванням показань у цифровій формі (друкувальний прилад). Прикладом самописних приладів є профілограф-профілометр мод. 252.

За способом визначення значення вимірюваної величини вимірювальні прилади поділяють на дві групи: прилади прямої дії і прилади порівняння. Найбільшого поширення набули прилади першої групи.

Вимірювальний прилад прямої дії – прилад з одним або кількома перетвореннями сигналу вимірювальної інформації в одному напрямі, тобто без застосування зворотного зв'язку (без повернення до вхідної величини). Наприклад, переміщення вимірювального наконечника індикатора годинникового типу або вимірювальної головки залежно від розміру контрольованого виробу перетвориться у переміщення покажчика приладу щодо нерухомої шкали.

Вимірювальний прилад порівняння – прилад, призначений для безпосереднього порівняння вимірюваної величини з величиною, значення якої відоме. Порівняння здійснюється з номінальними розмірами плоскопаралельних кінцевих мір довжини під час вимірювання лінійних розмірів виробів і з номінальними розмірами кутових мір під час вимірювання плоских кутів виробів. До приладів порівняння відносять скоби, важелі, оптиметри, індикаторні нутроміри та ін.

Вимірювальні перетворювачі є складовими частинами вимірювальних приладів, систем автоматичного контролю, управління та регулювання. Найбільшого застосування набули перетворювачі індуктивні, механотронні, електроконтактні, пневмоелектроконтактні та ін. За місцем, яке займають у приладі, перетворювачі поділяють на первинні, передавальні та проміжні.

Метод вимірювань – сукупність прийомів використання принципів та засобів вимірювань. Під принципом вимірювань розуміють фізичне явище або сукупність фізичних явищ, покладених в основу вимірювань. За способом отримання результатів вимірювання поділяють на *прямі, непрямі, абсолютні та відносні* (табл. 1.9). Основні методи прямих вимірювань наведено у табл. 1.10.

Метод порівняння з мірою забезпечує вищу точність вимірювань. Наприклад, вимірювання розміру виробу пружинною вимірювальною головкою ІІГП, встановленою у стояку С-1, при настроюванні на розмір за кінцевою мірою довжини 1-го класу, за відхилення температури від нормальної не більше ніж на 2 °С, забезпечує похибку вимірювання не більше 0,5 мкм.

Залежно від наявності контакту вимірювальної поверхні засобу вимірювань з поверхнею виробу розрізняють *контактний та безконтактний методи вимірювань*. Безконтактний метод переважає: він характеризується відсутністю вимірювального контакту з контрольованим виробом, завдяки чому відсутня деформація вимірюваної поверхні виробу і вимірювальних наконечників приладу. На безконтактному методі вимірювань заснована робота вимірювальних мікроскопів, вимірювальних проректорів і пневматичних довжиномірів.

Таблиця 1.9. Види вимірювань лінійних і кутових величин

Вимірювання	Визначення	Приклади вимірювань
Пряме	Вимірювання, при якому шукане значення величини знаходять безпосередньо з дослідних даних	Вимірювання довжини лінійкою; кута – кутоміром; діаметра вала – мікрометром
Непряме	Вимірювання, під час якого шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною і величинами, що надаються до прямих вимірювань	Вимірювання кута синусною лінійкою (за катетом і гіпотенузою); середнього діаметра – методом трьох дротів, які встановлюють у заглиблення різі
Абсолютне	Вимірювання, засноване на прямих вимірюваннях однієї або кількох основних величин і (або) використанні значень фізичних констант	Вимірювання лінійних розмірів штангенциркулем, мікрометром, глибиноміром, на інструментальному мікроскопі; кута – кутоміром
Відносне	Вимірювання відношення величини до однойменної величини, що відіграє роль одиниці, або вимірювання величини по відношенню до однойменної величини, яку приймають за початкову	Вимірювання діаметра отвору індикаторним нутроміром, настроєним за кінцевою мірою; діаметра вала – важільною скобою

Таблиця 1.10. Методи вимірювань

Метод	Визначення	Приклади вимірювань
Безпосередньої оцінки	Значення вимірюваної величини отримують безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального приладу прямої дії	Діаметр отвору вимірюють мікрометричним нутроміром, прямий кут – косинцем
Порівняння з мірою:	Вимірювану величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою	Діаметр вала вимірюють оптиметром, заздалегідь настроєним на розмір за кінцевою мірою довжини
диференційний	На вимірювальний прилад впливає різниця вимірюваної величини і відомої величини, відтвореної мірою	Розміри вимірюють оптиметрами. Довжини і діаметри – за допомогою вимірювальних головок
збігів	Визначають різницю між вимірюваною величиною і величиною, відтвореною мірою, використовуючи збіги відміток шкал або періодичних сигналів	Довжину вимірюють штангенциркулем; час – за ритмічними сигналами, які передають по радіо
нульовий	Результуючий ефект дії величин на прилад порівняння доводять до нуля	Вимірювання електричного опору мостом із повним його урівноваженням; маси вантажу – на вагах

Залежно від кількості розмірних параметрів, які одночасно виявляють, методи та засоби вимірювань поділяють на *диференційовані* (або поелементні, тобто розчленовані на окремі параметри) і *комплексні*. Диференційований метод вимірювань характеризується тим, що параметр кожного елемента виробу вимірюють незалежно від інших елементів. Наприклад, параметри нарізного виробу вимірюють окремо на інструментальному мікроскопі (вимірюють окремо зовнішній, середній та внутрішній діаметри, крок і кут нахилу бічної сторони).

Комплексним методом вимірювань називають вимірювання, при якому визначають вплив комплексу параметрів (елементів), що характеризують виріб складної форми, на точність виробу. Наприклад, нарізку болта контролюють за допомогою нарізного калібру-кільця, який повинен згвинчуватися з болтом.

1.6. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

Застосовувані у промисловості засоби вимірювань (ЗВ) розмірів можна функціонально поділити на три групи [6]:

- засоби, що відтворюють задані розміри (міри);
- калібри, що відтворюють межі вказаних розмірів;
- універсальні засоби вимірювань дійсних розмірів.

Відносно калібрів слід вживати термін «засоби контролю». На відміну від терміна «вимірювання» під терміном «контроль» розуміють перевірку відповідності встановленим вимогам. Щодо розмірів, це вимоги до значень розмірів, які повинні перебувати у певних межах (межах допусків). Дійсне значення розміру, який повинен бути у цих межах, визначають вимірюванням. Засіб вимірювань у цьому випадку є і засобом контролю. У разі застосування калібрів як засобу контролю значення розміру не визначають, а встановлюють тільки придатність цього розміру, тобто перебування його в межах допуску.

Засоби вимірювань третьої групи – універсальні – доцільно за принципом дії поділити на чотири види: механічні, оптичні, пневматичні, електричні.

Механічні ЗВ превалюють у вимірюваннях лінійно-кутових величин. Це пояснюється простотою їх застосування, портативністю, відсутністю необхідності підведення ззовні енергії для спеціального освітлення або живлення, порівняно високою надійністю та довговічністю, невисокою вартістю, а також різноманітною застосовністю. Проте, за невеликим винятком, вони мають порівняно невисоку точність і невелику швидкість дії. Тому, коли потрібна висока точність вимірювання, вважають за краще застосовувати, наприклад, оптичні прилади, а пневматичні та електричні використовувати тоді, коли необхідно суттєво знизити трудомісткість вимірювань і контролю шляхом їх автоматизації.

Оптичні ЗВ, контактні і безконтактні, мають високу точність і малу ціну поділки шкали. Проте ці прилади не вирізняються простотою в експлуатації, виконувани за їх допомогою вимірювання вимагають значних витрат часу. Їхня вартість порівняно висока.

Пневматичні ЗВ можуть бути використані під час безконтактних методів вимірювань. Вони мають високу точність і швидкодію, але вимагають підведення стисненого повітря і виправдовують себе в основному під час масових вимірювань однакових об'єктів, оскільки під час їх використання найчастіше потрібне індивідуальне тарування або градування шкали.

Електричні ЗВ – перспективні, особливо в автоматичних пристроях і вимірювальних системах, завдяки швидкодії, зручності управління, простоті передачі вимірювальної інформації на відстані в будь-які місця, можливості здійснення значних підсилень передаваного сигналу і т. ін. Проте за надійністю роботи вони поки що поступаються перед механічними приладами.

Універсальні засоби вимірювань передбачають можливість їх застосування для визначення різноманітних розмірів численних виробів із різними конструктивними особливостями. У деталях зі складною геометрією ними окремо здійснюють поелементний контроль. Застосування одного або кількох із них у поєднанні зі спеціальними пристосуваннями створює комплексний засіб вимірювань, який у більшості випадків є спеціальним, призначеним для вимірювання однотипних виробів (наприклад, зубо-міри – для вимірювання товщини зубів зубчастих коліс). У такому випадку він буде спеціальним вимірювальним приладом.

1.7. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ



Рис. 1.7. Метрологічні показники приладу:

1 – шкала; 2 – ціна поділки (c);
3 – межі вимірювань (L)

- *ціна поділки шкали c* – різниця значень величин, що відповідають двом сусіднім відміткам шкали;
- *поділки шкали приладу a* (інтервал поділок) – проміжок між двома сусідніми відмітками на шкалі;
- *діапазон показань l* (вимірювання за шкалою) – область значень шкали, обмежена її початковим та кінцевим значеннями;
- *діапазон вимірювань L* – область значень вимірюваної величини, в межах якої слід нормувати допустимі похибки засобів вимірювань;
- *межа вимірювань* – найбільше та найменше значення діапазону вимірювань.

Ціна поділки – основний критерій практичного використання приладів. Похибка вимірювання приладу звичайно є зіставною із ціною поділки, проте може бути менша чи більша за неї.

Оптимальна ширина штрихів дорівнює 0,1 значення інтервалу, оптимальна відстань між сусідніми штрихами шкали, що дозволяє з достатньою точністю оцінювати на око частки інтервалу, становить 1...2,5 мм.

Окрім інтервалу поділки, на точність відліку впливає похибка від паралакса (рис. 1.8), під яким у загальному випадку розуміють зміну видимого положення предмета під час спостереження за ним із двох точок, що розташовані на деякій відстані одна від одної. Щодо відлікових пристроїв під паралаксом розуміють видимий зсув покажчика і штрихів шкали, залежний від відстані між поверхнями A та B і від напрямку погляду $M-M$ (замість правильного $N-N$). Із метою зменшення паралакса прагнуть скоротити відстань між покажчиком і площиною шкали. Для цього строго регламентують відстань від стрілки до площини шкали, товщину скосу в ноніуса і т. ін.



Рис. 1.8. Похибка від паралакса

Ефективний спосіб зменшення паралакса – застосування дзеркальної шкали. У цьому випадку спостерігач стає в таке положення, щоб зображення покажчика у дзеркалі і сам покажчик збігалися.

Чутливість вимірювального приладу – відношення сигналу на виході приладу до сигналу на вході.

У механічних приладах важливе значення має *поріг чутливості* – мінімальна зміна розміру контролюваного об'єкта, здатна викликати щонайменшу зміну показань приладу. Поріг чутливості характеризує ступінь реагування приладу на малі зміни значень вимірюваної величини і тим самим визначає сферу застосування приладу. Так, наприклад, не можна проводити перевірку точних об'єктів на биття і непаралельність за допомогою приладів, що мають низький поріг чутливості.

Велике значення для точності контролю виробів на биття має, окрім порога чутливості, *похибка зворотного ходу*. Цю похибку визначають як різницю між показаннями, отриманими під час руху вимірювального наконечника в прямому та зворотному напрямках. Відповідно до ГОСТу 16263–70 ця характеристика має назву «Варіація показань приладу».

Щодо засобів технічних вимірювань розмірів деталей контактним методом слід враховувати і таку характеристику, як *вимірювальна сила приладу* – сила дії вимірювального наконечника на вимірювану деталь у зоні контакту.

Наведені показники впливають на точність засобів вимірювань і похибку вимірювань. Для засобів технічних вимірювань характеристикою їх точності є *абсолютна похибка* – різниця між показаннями приладу і дійсним значенням вимірюваної величини.

Основна похибка засобу вимірювань – це похибка засобу вимірювань під час використання в нормальних умовах. Її значення наводять у паспорті засобу вимірювань.

Нормальні умови застосування засобів вимірювань встановлює ГОСТ 8.051–81. Відповідно до стандарту це $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 101\,324,72\text{ Па}$ (760 мм рт. ст.), вологість 58 % та ін.

Робочі умови використання засобів вимірювань можуть відрізнятися від нормальних, унаслідок чого з'являється додаткова похибка, значення якої наведено у паспорті приладу у вигляді табличних даних або алгебричної залежності (похибка від параметра, що виходить за межі нормальних умов (впливальна величина)).

Залежно від значення абсолютної основної та додаткової похибки, а також деяких інших параметрів точності, засобу вимірювань присвоюють клас точності.

Розрізняють похибку вимірювального приладу і похибку вимірювань. Похибку вимірювального приладу також називають інструментальною похибкою. *Похибка вимірювань* – різниця між результатом вимірювань та істинним значенням вимірюваної величини. Похибка вимірювань складається з похибок засобів вимірювань і похибок методів та прийомів їх використання.

Сумарну похибку вимірювань визначають за сукупністю впливу багатьох чинників, з яких найбільше значення мають такі:

- 1) похибки вимірювальних засобів (мірні плиточки, установлювальні міри та ін.), за якими встановлюють прилад;
- 2) похибка, спричинена відхиленням від нормальної температури;
- 3) похибка, спричинена вимірювальним зусиллям приладу.

Похибки плиток або інших засобів, за якими встановлюють прилад, визначають допуском на неточність їх виготовлення або зношуванням вимірювальних поверхонь.

Похибки, пов'язані з відхиленням від нормальної температури ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$), зумовлені такими чинниками:

- а) незавершеним вирівнюванням температур контролюваного об'єкта і вимірювального засобу;

б) різницею коефіцієнтів лінійного розширення контрольованого об'єкта і вимірювального засобу.

Вирівнювання температури. Щоб уникнути значних похибок, деталі, нагріті в процесі обробки, не слід контролювати до вирівнювання їхньої температури з температурою вимірювальних засобів.

Час τ , необхідний для вирівнювання температури тіла з температурою навколишнього середовища, визначають за формулою:

$$\tau = k \frac{Q}{F} \lg \frac{\Delta T}{\Delta t},$$

де ΔT – початкова різниця температур; Δt – кінцева різниця температур; k – коефіцієнт, залежний від умов охолодження об'єкта ($k = 3,13$ – для охолодження на нетеплопровідній основі, $k = 6$ – для охолодження на масивній чавунній плиті, $k = 17,5$ – для охолодження в емульсії); Q – маса тіла; F – площа поверхні тіла.

За дослідними даними час, необхідний для охолодження циліндричної деталі з діаметром 100 мм від 40 до 20 °С, становив 25 хв в емульсії, 1 год 40 хв – на чавунній плиті та ~12 год – на дерев'яному столі.

Слід зазначити, що похибка виникає також і від місцевого нагрівання калібрів руками. Так, наприклад, після п'ятихвилинного зігрівання рукою скоби для діаметра 175 мм її розмір змінився на 8 мкм, а скоби для діаметра 280 мм – на 11 мкм. Це свідчить про необхідність теплоізоляції вимірювальних інструментів від джерел нагрівання.

Різниця в коефіцієнтах лінійного розширення. Залежно від хімічного складу і термічної обробки коефіцієнт лінійного розширення сталі становить $\alpha = (11,5 \pm 2) \cdot 10^{-6}$. Навіть за повного вирівнювання температур неминучі похибки через різницю коефіцієнтів лінійного розширення контрольованого об'єкта і вимірювального засобу.

Похибку вимірювань, викликану відхиленням від нормальної температури, в загальному вигляді виражають формулою:

$$\Delta l = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2),$$

де Δl – похибка вимірювання; l – контрольований розмір; α_1 – коефіцієнт лінійного розширення контрольованого об'єкта; $\Delta t_1 = (20 - t_1)$ – різниця між нормальною температурою і температурою контрольованого об'єкта; α_2 – коефіцієнт лінійного розширення вимірювального засобу; $\Delta t_2 = (20 - t_2)$ – різниця між нормальною температурою і температурою вимірювального засобу.

Наприклад, у цеху температура 25 °С, виріб із розміром 500 мм має після обробки температуру 40 °С. Похибка вимірювання може бути така:

– якщо виріб і калібр зі сталі:

$$\Delta l = 500 \cdot 10^{-6} [13,2 \cdot (-20) - 9,5 \cdot (-5)] = -111 \text{ мкм};$$

– якщо виріб алюмінієвий, а калібр зі сталі:

$$\Delta l = 500 \cdot 10^{-6} [24 \cdot (-20) - 9,5 \cdot (-5)] = -216 \text{ мкм}.$$

Якщо $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$, то $\Delta l = \Delta t l(\alpha_1 - \alpha_2)$, тобто за повного вирівнювання температур похибку вимірювання визначає тільки різниця коефіцієнтів лінійного розширення. Якщо температура вирівнюється при 20 °С ($\Delta t = 0$), то похибка вимірювання відсутня ($\Delta l = 0$) за будь-якої різниці коефіцієнтів лінійного розширення.

Похибки, пов'язані з вимірювальним зусиллям, зумовляються, головним чином, змінанням поверхневих нерівностей і пружними деформаціями стояків або скоб, у яких закріплені вимірювальні головки. Для усунення вказаної похибки зазвичай намагаються стабілізувати вимірювальне зусилля.

Наприклад, деформація дуги мікрометра, пов'язана з вимірювальним зусиллям тріскачок, не спричинює безпосередньої похибки вимірювання виробу, оскільки ця деформація вже мала місце під час установлення мікрометра на нуль.

1.8. ВИБІР ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

Основні принципи вибору засобів вимірювань у промисловості такі: точність засобу вимірювань повинна бути достатньо висока порівняно із заданою точністю виконання вимірюваного розміру, а трудомісткість вимірювань і їхня вартість мають бути якомога нижчі, тобто такі, що забезпечують найвищу продуктивність праці та економічність.

Недостатня точність вимірювань призводить до того, що частину придатної продукції бракують (помилка першого типу); водночас із тієї ж причини іншу частину фактично непридатної продукції приймають як придатну (помилка другого типу).

Зайва точність вимірювань, як правило, пов'язана з надмірним зростанням трудомісткості та вартості контролю якості продукції, а отже, веде до подорожчання виробництва й обмеження випуску продукції.

Найпростіший спосіб вибору засобів вимірювань заснований на тому, що точність засобів вимірювань має бути в кілька разів вища за точність виготовлення. Згідно з [6], вимірювання параметрів деталей слід проводити засобами вимірювань із ціною поділки не більше $1/6$ допуску на виготовлення.

Більш обґрунтований спосіб вибору засобів вимірювань визначає ГОСТ 8.051–81 «Похибки, що допускаються при вимірюванні лінійних розмірів до 500 мм». Стандарт установлює 15 рядів меж допустимої похибки вимірювань для кожного інтервалу номінальних розмірів залежно від допуску на розмір виробу. Похибка вимірювань становить приблизно 20 % допуску на виготовлення за 16–9-м квалітетом і 35 % допуску за 9–2-м квалітетом.

У разі призначення нестандартного допуску на розмір деталі допустиму похибку приймають за найближчим (меншим) значенням стандартного допуску.

Допустима похибка вимірювань не залежить від виду вимірювальних засобів і вибраного методу вимірювань. Проте на практиці під час вимірювання автоматичними та напівавтоматичними засобами деталей, виготовлених грубіше за 4-й квалітет, приймають допустиму похибку, на один ряд меншу за вказану в стандарті. Допустима похибка вимірювань є найбільшою можливою похибкою вимірювань з урахуванням сумарного впливу на результат вимірювань систематичних та випадкових похибок.

Значення розміру, одержаного з допустимою похибкою за ГОСТом 8.051–81, приймають за дійсний розмір.

Гранична похибка обраних засобів вимірювань має бути менша за допустиму похибку, наведену у вказаному стандарті.

У першому наближенні передбачуваний засіб вимірювань обирають за ціною поділки шкали приладу. Проте інструментальна похибка приладу може бути більша, ніж ціна поділки, тому наступним етапом має стати встановлення основної та додаткової похибки обраного засобу за його паспортними даними. Водночас слід мати на

увазі, що ці дії визначають тільки похибку самого приладу і не враховують похибки способів та прийомів його використання.

Для точнішої оцінки граничної похибки обраних засобів вимірювань слід користуватися нормативно-технічними документами ДСТУ, ГОСТ, ОСТ. Такими документами можуть бути РДМУ-98–77 та РД 50-96–86, в яких наведені нормовані значення похибок вимірювань ($\Delta_{\text{вим}}$) у разі використання вимірювальних засобів, які перебувають в обігу. Ці значення похибок встановлені з урахуванням вимірюваних розмірів, температурного режиму і прийомів вимірювань. Наприклад, під час вимірювання деталей мікрометром величина похибки залежить від того, чи тримають мікрометр у руці, чи він закріплений у стояку, чи користуються при вимірюванні всією межею вимірювання (наприклад, від 25 до 50 мм), чи здійснюють вимірювання тільки в межах 0,3 мм і з установленням мікрометра за зразком та ін.

Залежно від характеру виробництва (масового, крупносерійного, серійного і т. ін.) вибирають ті засоби вимірювань, застосування яких економічно доцільне і забезпечує необхідну продуктивність. Звичайно ступінь механізації засобів і процесів вимірювання залежить від програми випуску контрольованих виробів. У масовому виробництві широко застосовують спеціальні та спеціалізовані контрольні-вимірювальні пристосування, автомати і напівавтомати. В одиничному (дослідному) виробництві використовують в основному універсальні вимірювальні прилади і вимірювальний інструмент. Заплановане широке застосування в контрольних операціях роботів, керованих ЕОМ.

Конструкція деталі, її габарити і вага значною мірою впливають на вибір засобів вимірювань. Так, у разі контролю важких деталей користуються переносними приладами, а легкі деталі вимірюють на стаціонарних. Мала жорсткість деталі обмежує значення вимірювального зусилля, а часом вимагає застосування безконтактних засобів вимірювань. Наприклад, діаметри тонкостінних, що легко деформуються, втулок перевіряють пневматичними пробками і скобами.

Вибрані вимірювальні засоби вказують у картах технологічного процесу механообробки, складання, технічного контролю або в іншій технологічній документації.

1.9. ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ

1.9.1. Класифікація похибок

Результат будь-якого вимірювання, хоч би як ретельно його проводили, містить похибку вимірювань. Тому результат вимірювань завжди відрізняється від істинного значення вимірюваної величини.

Різниця між результатом вимірювань та істинним значенням вимірюваної величини називається *похибкою вимірювання* ($\Delta_{\text{вим}} = X - X_{\text{іст}}$).

Оскільки істинне значення вимірюваної величини невідоме, то невідома і похибка вимірювання. У цьому випадку істинне значення вимірюваної величини замінюють дійсним значенням. Під дійсним значенням фізичної величини розуміють її значення, знайдене дослідним шляхом, яке настільки наближається до істинного, що приймається замість нього.

Щоб оцінити результат вимірювання, необхідно оцінити похибки, з якими воно виконане, а для цього важливо знати джерела і причини, що викликають похибки.

Похибки прийнято поділяти на три групи: *систематичні, випадкові та грубі*.

Грубою називається похибка вимірювання, що істотно перевищує очікувану за певних умов похибку. Наприклад, під час відліку показань за цифровим приладом цифру 8

було прийнято за 0, або під час запису показань, замість цифри 1, записали цифру 4, або помилково зняли показання приладу та ін. Такі грубі похибки виявляють під час повторного вимірювання; їх не беруть до уваги і виключають з результатів вимірювань.

Складові *систематичної похибки* вимірювання можуть бути умовно представлені трьома групами:

1. *Інструментальна*, залежна від похибок засобів вимірювань, які застосовують. Сюди відносять недосконалість кінематичної схеми приладу; відхилення розмірів, форми та розташування поверхонь деталей приладу; зношування приладу під час експлуатації.
2. *Методична* – походить від недосконалості методу вимірювань (невиконання нормальних умов вимірювання, неправильне встановлення приладу, застосування наближених розрахункових формул, помилкові методики вимірювань).
3. *Суб'єктивна*, обумовлена індивідуальними особливостями спостерігача, що проводить вимірювання. Це недостатньо точний відлік показань приладу; помилки в оцінюванні на око часток поділки шкали, що відповідають положенню покажчика; паралакс під час відліку показань приладу; різна реакція органів чуття на сигнали.

Для виявлення та виключення *систематичних похибок* здійснюють перевірку засобів вимірювань в органах державної або відомчих метрологічних служб, застосовують особливі методи вимірювань, проводять повторні вимірювання в різних місцях із застосуванням різних засобів вимірювань. Але бувають випадки, коли і систематичні похибки виявити та виключити не вдається. Тоді для обробки результатів вимірювань і оцінки систематичної похибки із заданою ймовірністю застосовують спеціальні методики, засновані на теорії ймовірності.

Випадкову похибку виявити та виключити практично неможливо, оскільки її виявляють випадково. Наприклад, під час вимірювання на оптиметрі гладкого калібру-пробки в його одному перерізі, не змінюючи положення спостерігача та інших умов, щоразу отримують під час відліку показань різні значення. У цьому випадку визначають закон розподілу випадкових похибок і на основі теорії ймовірності знаходять довірчий інтервал, у межах якого перебуває дійсне значення вимірюваної величини із заданою ймовірністю. Чим вужчий цей інтервал, тим ближчий результат вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини. Випадкові похибки зменшуються з підвищенням точності та ретельності проведення вимірювань.

У теорії та практиці вимірювань застосовують й інші характеристики похибок. Так, до похибок засобів вимірювань (інструментальних похибок) належать такі:

1. *Абсолютна похибка міри* Δx – це різниця між номінальним значенням міри x_n і дійсним значенням x відтвореної нею величини:

$$(\Delta x = x_n - x).$$

2. *Абсолютна похибка вимірювального приладу* Δx_n – це різниця між показанням вимірювального приладу x_n і дійсним значенням x вимірюваної величини:

$$(\Delta x_n = x_n - x).$$

3. *Відносна похибка міри (вимірювального приладу)* δ – це відношення абсолютної похибки міри (вимірювального приладу) до істинного (дійсного) значення величини, відтвореної мірою. Переважно її виражають у відсотках:

$$\delta = \pm \frac{\Delta x}{\Delta x_n} \cdot 100.$$

4. *Приведена похибка вимірювального приладу* γ ($\Delta_{\text{пр}}$) – це відношення похибки вимірювального приладу до нормувального значення x_N . За нормувальне значення x_N умовно приймають значення верхньої межі вимірювань, довжини шкали та ін. Звичайно $\Delta_{\text{пр}}$ виражають у відсотках:

$$\Delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100.$$

5. *Гранична допустима похибка* – це найбільша (без урахування знака) похибка засобу вимірювань, за якої його можна визнати придатним і допустити до застосування.

1.9.2. Оцінка випадкових похибок

Для оцінки випадкових похибок потрібно знати закономірності їх появи. Існують закони, що пов'язують випадкові похибки і ймовірність їх появи під час виготовлення та вимірювання деталей. Ці закони називаються законами розподілу випадкових величин. У машинобудуванні найчастіше виникнення та розподіл випадкових похибок відбувається за законом нормального розподілу або, як його часто називають, за законом Гауса. Цей закон стосується випадкових величин, поява яких залежить від великої кількості причин, жодна з яких не має вирішального значення і відіграє незначну роль у загальній сукупності.

Приклад. Під час вимірювання партії однойменних деталей (360 шт.), виготовлених на верстаті-автоматі, було виявлено, що найбільший розмір – 41,923 мм, а найменший – 41,897 мм. Зона розсіювання розмірів становила 26 мкм. З'ясуємо, як розподілилися в цій партії деталі за розмірами.

Для цього розіб'ємо партію з 360 деталей на 13 груп. У першу групу включимо деталі, що мають розміри від 41,897 до 41,899 мм; у другу – понад 41,899 до 41,901 мм і т. д.; тобто середній розмір деталей у кожній групі відрізнятиметься від попереднього на 2 мкм. Результати сортування зведемо до табл. 1.11.

Середній розмір деталей у партії з 360 шт. буде 41,910 мм. Отримані результати вимірювань можна зобразити графічно (рис. 1.9). Для цього застосовують такі позначення прямокутних координат.

Таблиця 1.11. Результати сортування деталей

Номер групи	Інтервали розмірів, мм		Середній розмір деталей у групі, мм	Кількість деталей у групі, шт.	Відхилення від середнього розміру деталей партії, мкм
	від	до (включно)			
1	41,897	41,899	41,898	1	-12
2	41,899	41,901	41,900	3	-10
3	41,901	41,903	41,902	6	-8
4	41,903	41,905	41,904	27	-6
5	41,905	41,907	41,906	35	-4
6	41,907	41,909	41,908	48	-2
7	41,909	41,911	41,910	68	0
8	41,911	41,913	41,912	68	2
9	41,913	41,915	41,914	35	4
10	41,915	41,917	41,916	34	6
11	41,917	41,919	41,918	27	8
12	41,919	41,921	41,920	5	10
13	41,921	41,923	41,922	3	12
Сума				360	0

На вертикальній осі Y у масштабі відкладають кількість деталей N у групах, а на горизонтальній осі X – розміри деталей у кожній групі. У першому наближенні одержаний графік дає уявлення про розподіл розмірів. Для того, щоб від цього графіка перейти до закону розподілу, з правого боку вертикальної осі проставимо ймовірність P появи в партії одержаних під час вимірювання розмірів.

За ймовірність приймають число, що характеризує ступінь можливості появи події (розміру). Ймовірність можна визначити як відношення числа подій (деталей,

розмірів), що цікавлять нас, до загального числа подій (деталей, розмірів). Для прикладу визначимо ймовірність появи в цій партії деталей з розмірами 41,899–41,901 мм. Таких деталей у партії опинилося 3 шт., тобто нас цікавить ймовірність появи трьох таких деталей у партії з 360 деталей. Ймовірність $P = \frac{3}{360} = \frac{1}{120} = 0,008$. Максимальне значення ймовірності може дорівнювати 1 (ймовірність достовірної події), мінімальне – 0 (ймовірність неможливої події). Ймовірність може визначатися у відсотках і набувати значень від 100 % до 0.

Із урахуванням проставлених значень ймовірності графік називається *гістограмою*. Уся площа проєкції груп позначає 100 % ймовірності появи в її межах розмірів від 41,897 до 41,923 мм, а площа проєкції кожної групи відповідає ймовірності появи деталей із розмірами деталей у групі. Якщо на кожній із груп проведемо осьову лінію, відповідну середньому значенню розмірів деталей у групі, і з'єднаємо точки перетину осьових із верхніми межами, одержимо ламану лінію, що називається *полігоном*.

Якби ми могли зменшити до нескінченності інтервали розмірів у групах, збільшуючи їх число, а потім виконали ті ж самі операції, то полігон набув би форми плавної горбоподібної кривої, що називається *кривою нормального розподілу*, яка зображає щільність розподілу.

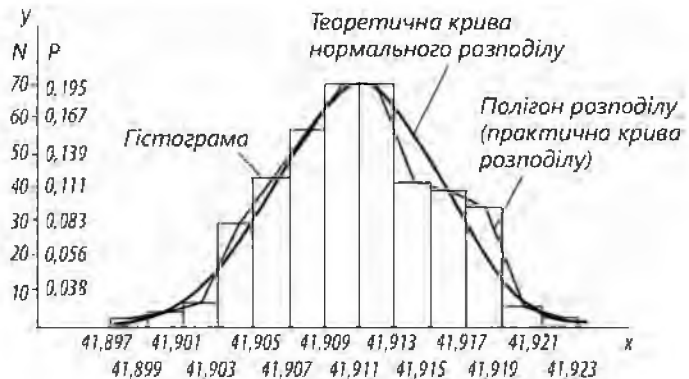


Рис. 1.9. Побудова кривих розподілів

Зовнішній вигляд кривої нормального розподілу дає можливість зробити деякі висновки про закономірності випадкових величин (похибок, розмірів).

1. Ймовірність появи щодо середнього значення випадкової величини однакових за величиною похибок, але таких, що мають різні знаки («+» та «-»), – однакова.

2. Чим більша похибка виготовлення або вимірювання, тим менша ймовірність її появи. Це підтверджується тим, що велика частина деталей мають розміри, близькі до середнього значення, і чим більша похибка вимірювання (виготовлення), тим менше деталей лежить у ящиках.

3. У зв'язку з тим, що ймовірність появи плюсових та мінусових похибок – однакова, у разі збільшення числа вимірювань однієї і тієї ж випадкової величини середнє арифметичне значення похибок прямуватиме до нуля. Завдяки цьому можна зменшити вплив випадкової похибки на результати вимірювань.

Систематична похибка при цьому залишається постійною за всіх вимірювань. Для того, щоб під час багаторазових вимірювань зменшити або виключити систематичну похибку, необхідно створити такі умови, за яких вона стала б випадковою. Для цього вимірюють один і той самий розмір не одним приладом, а кількома, причому кількість вимірювань кожним приладом однакова. У цьому випадку систематична похибка одного приладу перетворюється на випадкову похибку процесу вимірювання,

і середнє значення отриманих результатів відповідає розміру зі зменшеною систематичною та випадковою похибкою.

Для оцінки ступеня зменшення випадкової похибки під час багаторазових вимірювань користуються виразом \sqrt{n} , де n – число вимірювань. При вимірюванні тієї самої величини чотири рази вплив похибки на результати вимірювання зменшиться удвічі, а після 16 вимірювань – у чотири рази.

Найважливішою характеристикою випадкової величини, що оцінює її середнє значення, є координата вертикальної лінії, відносно якої групуються (розсіюються) можливі значення випадкової величини. У теорії ймовірності значення центру групування (розсіювання) називають математичним сподіванням M (рис. 1.10, а).

Математичне сподівання приблизно дорівнює середньому значенню \bar{x} випадкової величини x_i і визначається як сума добутків значень випадкової величини на ймовірність їх появи.

Середнє арифметичне значення \bar{x} визначають за формулою:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n},$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – поточні значення вимірювань; n – кількість вимірювань.

Другою важливою характеристикою, що вказує на ступінь розсіювання випадкової величини щодо її середнього значення, є середнє квадратичне відхилення, яке позначають грецькою буквою σ (сігма).

Середнє квадратичне відхилення σ визначають за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

де $(x_1 - \bar{x})$ і т. д. – різниці вимірювань деталей і середнього арифметичного розміру.

Чим більше значення σ , тим крива розподілу стає пологішою, тобто збільшується ймовірність появи великих похибок. Зі зменшенням σ крива стискається, витягується угору, при цьому зменшується ймовірність появи великих відхилень від середнього значення (рис. 1.10, б). Практичний діапазон розсіювання звичайно приймають як такий, що дорівнює $\pm 3\sigma$ або $\pm 6\sigma$.

Як уже наголошували, вся площа, обмежена кривою, показує 100 % ймовірності отримання розмірів у інтервалі від x_k до x_m , але точніше ймовірність отримання розмірів, що мають розсіювання $\pm\sigma$, буде рівна 35 %; $\pm 2\sigma$ – 94,5 %; $\pm 3\sigma$ – 99,73 %, тобто в

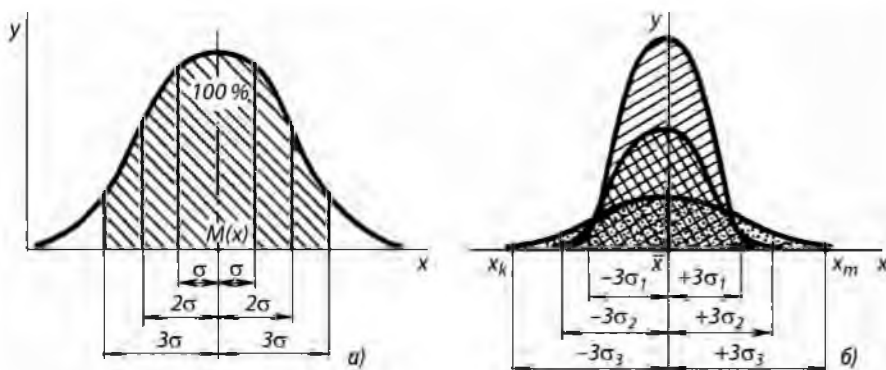


Рис. 1.10. Криві розподілу за нормальним законом

останньому випадку 0,27 % розмірів ($\pm 0,135$ %) лежать за межами, встановленими межами поля розсіювання, або, іншими словами, приблизно в одному випадку з 400 випадкова похибка вимірювання може бути більша за граничне значення.

На рис. 1.10, б показано три різні криві розподілу з різними значеннями σ . При цьому межі розсіювання вибирають так, щоб площі, обмежені кривими, були рівні.

Усе наведене справедливе тільки для закону нормального розподілу. Розподіл випадкових величин може бути підпорядкований й іншим законам: закону рівної ймовірності, закону рівнобедреного трикутника (Сімпсона), закону рівного зростання, закону Релея та ін. Тому, перш ніж переходити до числових оцінок похибок, необхідно з'ясувати закон їх розподілу. На практиці закон розподілу визначають дослідним шляхом так само, як ми будували графік, зображений на рис. 1.9.

Способи підвищення точності вимірювань і результату багаторазових вимірювань. Як уже вказували, за багаторазових вимірювань значення випадкової похибки вимірювання зменшується в \sqrt{n} разів, де n – число вимірювань.

За дотримання закону нормального розподілу можна багаторазовим вимірюванням одних і тих самих величин тим самим вимірювальним засобом зменшити вплив випадкових похибок, оскільки вони усереднюються і в результаті підвищується точність результату вимірювань.

Багаторазовість вимірювань як спосіб підвищення надійності та достовірності результату вимірювань застосовують досить часто. Так, кілька разів вимірюють одні й ті самі параметри різних виробничих зразків, які застосовують для настройки вимірювальних приладів, автоматів і т. п.; відповідальні різальні інструменти (наприклад, протяжки) і калібри (особливо профільні); дослідні деталі; перші виготовлені деталі при настройці точних і високопродуктивних агрегатів; базові елементи відповідальних контрольних та технологічних пристосувань (розміри облямовувань, контрольних штифтів і т. ін.); розміри виробів під час арбітражної перевірки якості, коли в оцінці якості продукції за розмірами є розбіжності між замовниками і виготовлювачами або між виробничниками і контролерами.

Після проведення кількох повторних вимірювань тієї самої величини й отримання різних результатів визначають середнє арифметичне значення ряду вимірювань \bar{X} і приймають його за істинне значення вимірюваної величини $X_{\text{іст}}$, тобто приймають

$$X_{\text{іст}} = \bar{X}.$$

Але за результатами багаторазових вимірювань можна отримати більш повну інформацію про величину, що цікавить нас, наприклад, про розмір дослідної деталі, якщо провести ще додаткову обробку результатів усіх проведених вимірювань. Цінність результату багаторазових вимірювань суттєво зростає, якщо, окрім середнього арифметичного значення \bar{X} , визначити граничну похибку середнього арифметичного у вигляді S , що залежить від значення σ і кількості проведених вимірювань n .

Граничну похибку середнього арифметичного S визначають за формулою [11]:

$$S = \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}},$$

де σ – середня квадратична похибка ряду вимірювань.

Отже, під час відповідальних вимірювань проводять ряд повторних вимірювань (5–10) і на основі усіх отриманих результатів підраховують середнє арифметичне значення і середню квадратичну похибку σ , а потім і граничну похибку середнього

арифметичного S . Після цього істинне значення вимірюваної величини $X_{\text{іст}}$ виглядає так:

$$X_{\text{іст}} = \bar{X} \pm S \quad \text{або} \quad X_{\text{іст}} = \bar{X} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

Приклад. Для визначення розміру отвору дослідної деталі його виміряли нутроміром підвищеної точності 10 разів ($n = 10$). Дані для розрахунків \bar{X} та σ і їх результати наведені у табл. 1.12.

Таблиця 1.12. Числові значення для обчислення похибок

Результати вимірювань X , мм	Середнє арифметичне, мм	Середньоквадратичне відхилення, мкм
60,012 60,010 60,011 60,014 60,012 60,013 60,011 60,012 60,013 60,090	$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{600,12}{10} = 60,012 \text{ мм}$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} = 1,15 \text{ мкм}$
Сума: 600,12 мм		

Істинне значення розміру отвору деталі можна буде зобразити так:

$$X_{\text{іст}} = 60,012 \pm \frac{3 \cdot 0,00115}{\sqrt{10}} = 60,012 \pm 0,0011 \text{ мм.}$$

Результат розрахунку показує, що істинне значення розміру отвору дослідної деталі визначене з точністю $\pm 1,1$ мкм і з ймовірністю 0,9973, тобто тільки в 0,27 % випадків може виявитися, що похибка буде не 1,1 мкм.

У випадку багаторазових повторних вимірювань тієї самої величини тим самим методом і за відсутності систематичних похибок за граничну похибку методу вимірювань, позначену Δ_{lim} , приймають значення, рівне $\pm 3\sigma$. Так, якби метою десятиразових вимірювань, наведених у табл. 1.12, було визначення граничної похибки цього методу вимірювань однієї заданої величини, то ця похибка для будь-якого окремого вимірювання дорівнюватиме:

$$\Delta_{\text{lim}} = \pm 3\sigma = \pm 3 \cdot 0,0011 = \pm 0,003 \text{ мм.}$$

Якщо внаслідок багаторазових вимірювань з'явиться похибка, більша ніж 3σ , то таку похибку вважають грубою і результат вимірювань з такою похибкою відкидають. Причинами грубої похибки можуть бути неправильне зняття показань за шкалою приладу або описка під час запису результату вимірювань та інші грубі помилки.

◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆ **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ** ◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

1. Що таке взаємозамінність?
2. Які є види взаємозамінності?
3. З'ясуйте суть взаємозамінності та її економічну ефективність.
4. У чому полягає роль стандартів у забезпеченні взаємозамінності?
5. Який зв'язок між взаємозамінністю і технічними вимірюваннями?
6. Що таке вимірювання та контроль і в чому полягає відмінність між ними?
7. Що таке точність та єдність вимірювань?

8. Як класифікують універсальні вимірювальні засоби?
9. Які існують методи вимірювань?
10. Що таке комплекс стандартів «Єдина система допусків і посадок» та «Основні норми взаємозамінності»?
11. Що таке ряди нормальних лінійних розмірів і як їх використовують?
12. Що таке розмір, номінальний, вимірюваний, дійсний і граничні розміри?
13. Що таке відхилення, нижнє і верхнє відхилення? Яке відхилення вважають основним?
14. Що таке допуск і як він пов'язаний із точністю та економікою виробництва?
15. Як графічно зображують розміри і відхилення? Що означає «нульова лінія»? Як графічно зображують поле допуску?
16. Що таке охоплювана і охоплююча поверхні? Які елементи деталей називають отвором, а які – валом?
17. Що таке посадка і які бувають посадки?
18. Чим характеризуються посадки із зазором, із натягом і перехідні?
19. Що таке посадка в системі отвору і в системі вала?
20. Що таке квалітет (клас точності) і що він характеризує?
21. Якими міркуваннями необхідно користуватися при виборі допусків і посадок?
22. Наведіть приклади областей застосування посадок із зазором, із натягом і перехідних.
23. Що таке похибка? Схарактеризуйте абсолютну, відносну, грубу, інструментальну похибки.
У чому полягає їхній вплив на точність виготовлення та вимірювання деталей?
24. Поясніть теоретичні закони розподілу випадкових похибок.
25. Що таке середнє квадратичне відхилення?
26. Як будують гістограму й емпіричну криву і визначають теоретичний закон розкиду розмірів?
27. Як можна зменшити вплив випадкової похибки на результати вимірювань?
28. Як зображують істинне значення вимірюваної величини?
29. Які є метрологічні характеристики засобів вимірювань?
30. Що таке ціна поділки шкали?
31. Із якою метою нормують умови вимірювань і контролю?
32. Що таке нормальні умови вимірювань?
33. Із якими зовнішніми факторами впливу стикаються під час вимірювань?
34. Що таке основна та додаткова похибки засобів вимірювань?
35. Як визначають похибку засобу вимірювань і від чого вона залежить?
36. Що таке гранична допустима похибка засобу вимірювань?
37. Що таке клас точності засобу вимірювань і від чого він залежить?
38. Що таке інструментальна похибка та похибка вимірювання?
39. Як визначають допустимі похибки вимірювання?
40. Як вибирають вимірювальні засоби?
41. Побудуйте схему посадки $\varnothing 8K7/h6$.
42. Побудуйте схему посадки $\varnothing 14E9/h8$.
43. Побудуйте схему посадки $\varnothing 27P7/h6$.
44. Побудуйте схему посадки $\varnothing 32H7/r6$.
45. Побудуйте схему посадки $\varnothing 72H8/d9$.
46. Побудуйте схему посадки $\varnothing 175H7/g6$.
47. Побудуйте схему посадки $\varnothing 230N7/h6$.
48. Побудуйте схему посадки $\varnothing 230H7/r6$.
49. Побудуйте схему посадки $\varnothing 300H8/d9$.
50. Побудуйте схему посадки $\varnothing 300P7/h6$.

У розділі йдеться про міри, калібри та універсальні засоби вимірювання лінійних розмірів, зокрема механічні, оптичні та оптико-механічні, пневматичні.

2.1. МІРИ

Для лінійних вимірювань широко застосовують плоскопаралельні кінцеві та штрихові міри довжини. До плоскопаралельних мір довжини умовно можуть бути віднесені установлювальні міри до мікрометрів, калібри-пластини, щупи, установлювальні міри до мікрометричних нутромірів, калібрувальні кільця для настройки нутромірів. До штрихових мір відносять поширені вимірювальні металеві рулетки і лінійки, а також шкали лінійних розмірів.

2.1.1. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини (скорочено ПКМД) згідно із ГОСТом 9038–83 виконують у вигляді прямокутного паралелепіпеда з двома плоскими взаємно паралельними вимірювальними поверхнями з визначеними розмірами цих поверхонь (рис. 2.1, *a*).

За довжину кінцевої міри довжини в будь-якій точці приймають довжину перпендикуляра AB (рис. 2.1, *б*), опущеного з відповідної точки вимірювальної поверхні кінцевої міри на протилежну вимірювальну поверхню. Обидві вимірювальні поверхні відрізняються від інших поверхонь ПКМД малою шорсткістю (середнє арифметичне відхилення профілю $Ra \leq 0,016$ мкм). ПКМД поставляють у наборах (рис. 2.1, *в*) під певними номерами і розсіпом на замовлення. Найпоширеніші набори з номерами 1, 6 та 16. Залежно від точності виготовлення ПКМД, тобто від максимального відхилення довжини кінцевої міри від номінальної і від рівня відхилення від плоскопаралельності вимірювальних поверхонь, їх поділяють за класами точності: 00; 01; 0; 1; 2 і 3 (міри зі сталі) і 00; 0; 1; 2 і 3 (міри із твердого сплаву). Після ремонту ПКМД можуть бути віднесені до класів точності 4 і 5.

Клас точності набору кінцевих мір визначається нижчим класом окремої міри, що входить у набір. До кожного набору додають паспорт, у якому вказують номінальну довжину кожної міри і відхилення.

Залежно від похибки вимірювання довжини міри (похибки атестації) і відхилення їх (робочих поверхонь) від площинності і паралельності кінцеві міри поділяють на 5 розрядів: 1, 2, 3, 4 і 5-й (для 1-го розряду визначена найменша похибка атестації). Похибки наводять в атестаті міри.

Відхилення довжини ПКМД від номінальної – найбільша за абсолютним значенням різниця між довжиною кінцевої міри в будь-якій точці і номінальною довжиною ПКМД.

Відхилення від плоскопаралельності вимірювальних поверхонь кінцевої міри – різниця між найбільшою та найменшою довжинами кінцевої міри.

Складність виготовлення ПКМД і швидке зношування визначили особливу систему їх застосування з урахуванням похибки ПКМД за атестатом, виданим перевірними органами. Залежно від точності атестації в органах метрологічної служби ПКМД поділяють на п'ять розрядів: перший, другий, третій, четвертий і п'ятий. Найвищим за точністю є перший розряд.

Особливою властивістю ПКМД є їхня *притиральність* – властивість вимірювальних поверхонь кінцевих мір, що забезпечує міцне зчеплення між собою, а також із плоскою металевою, скляною або кварцовою пластинами під час накладання чи насунання однієї кінцевої міри на іншу або кінцевої міри на пластину (рис. 2.1, з). Притиральність ПКМД зумовлена силами зчеплення їхніх вимірювальних поверхонь. Вона характеризується нормованими силами зсуву.

Під час роботи з ПКМД у загальному випадку, якщо в наборі немає міри необхідного номінального розміру, складають блок (рис. 2.2) з можливо меншого числа мір, для чого спочатку розраховують і підбирають кінцеві міри довжини.

Визначення номінальних розмірів блоку ПКМД починають із кінцевої міри, у якій розмір закінчується на останню цифру необхідного номінального розміру. Далі від розміру блоку віднімають розмір першої ПКМД і операцію підбору повторюють за тим самим правилом.

При використанні кінцевих мір, для яких встановлений розряд, розмір блоку плиток визначають за номінальними значеннями мір з урахуванням дійсних відхилень, наведених в атестаті.

Приклад. Необхідно скласти блок ПКМД номінального розміру 59,935 мм, використовуючи наявний набір мір № 1.

Номінальний розмір першої ПКМД повинен містити останню цифру десяткового знака заданого розміру, тобто 0,005 мм. У наборі № 1 такою мірою буде ПКМД із розміром 1,005 мм.

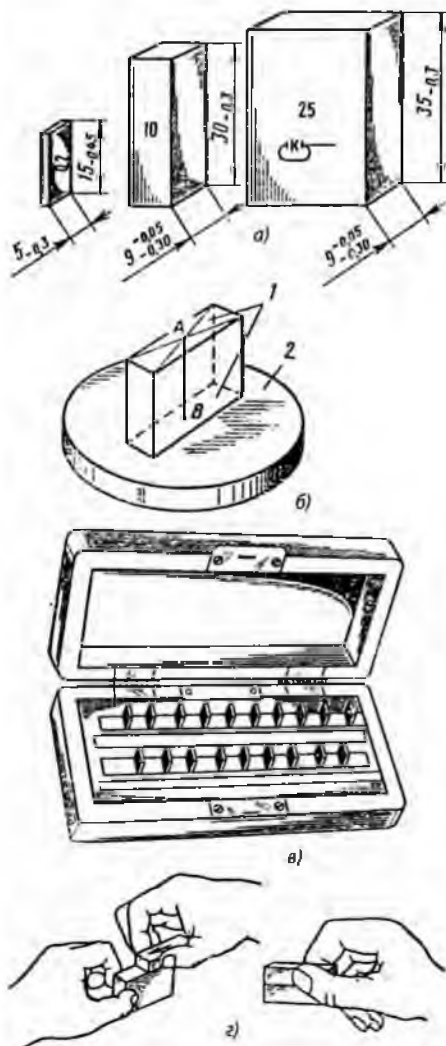


Рис. 2.1. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини (ПКМД):

1 – робочі вимірювальні поверхні; 2 – плоска скляна пластина

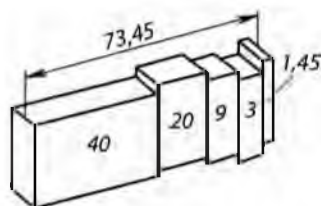


Рис. 2.2. Блок кінцевих мір

Для розрахунку другої кінцевої міри довжини необхідно від заданого для складання розміру блоку ПКМД відняти розмір першої підбраної кінцевої міри довжини, що дорівнює у цьому прикладі $1,005$, тобто $59,935 - 1,005 = 58,93$ мм.

Знову підбирають кінцеву міру довжини з набору № 1, номінальний розмір якої містить останню цифру десяткового знака, тобто $0,03$ мм. Такою кінцевою мірою може бути ПКМД номінального розміру $1,03$ мм. Відніmemo від розміру $58,93$ мм розмір вибраної другої кінцевої міри довжини $1,03$ мм, одержимо $58,93 - 1,03 = 57,9$ мм. Аналогічно третя ПКМД матиме номінальний розмір $1,9$ мм, а різниця становитиме $57,9 - 1,9 = 56$ мм.

Цілий розмір, що залишився, складають за допомогою двох кінцевих мір довжини розміром 50 і 6 мм.

Для складання блоків ПКМД, розміри яких містять тисячні частки міліметра, додатково використовують набори з номерами 4–7, 16 та 17 із градацією розмірів кінцевих мір через $0,001$ мм.

Вибрані для складання блоку ПКМД заздалегідь очищають від змащувального матеріалу, промивають бензином і витирають досуха чистою серветкою. Після цього торкатися руками до вимірювальних поверхонь кінцевих мір довжини не рекомендується.

Підготовлені для блоку ПКМД притирають (рис. 2.1, з). Спочатку притирають міри з номінальними розмірами, вираженими цілими числами міліметрів, а потім притирають до них кінцеві міри довжини у порядку наростання числа десяткових знаків у позначенні їхнього розміру. У розглянутому вище прикладі спочатку притирають міри 50 і 6 мм, а потім до блоку ПКМД додають кінцеві міри $1,9$ та $1,03$ мм. Міру $1,005$ мм притирають останньою.

Після закінчення роботи з блоком ПКМД його розбирають, а кінцеві міри довжини повторно промивають бензином, протирають серветкою і змащують. Тільки після такої обробки кінцеві міри укладають у футляр.

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини призначені для зберігання і відтворення одиниці довжини відповідно до державної перевірної схеми, для перевірки і градування мір та вимірювальних приладів, для установки приладів на нульові поділки під час вимірювань методом порівняння з мірою, для безпосередніх вимірювань найбільш точних розмірів виробів, для розмітки виробів; їх використовують також під час лекальних, слюсарних, складальних та регулювальних робіт.

ПКМД, що слугують для перевірки і градування засобів вимірювань, називають *зразковими*. По зразкових ПКМД 1-го розряду повіряють зразкові ПКМД 2-го розряду, потім по ПКМД 2-го розряду повіряють зразкові ПКМД 3-го розряду, по ПКМД 3-го розряду повіряють міри 4-го розряду і по ПКМД 4-го розряду повіряють міри 5-го розряду.

До кінцевих мір довжини поставляють *набори пристосувань*, що розширює сферу застосування ПКМД. Пристосування (рис. 2.3) призначені для складання блоків ПКМД для забезпечення зручного користування ними під час вимірювання розмірів і виконання розмічувальних робіт. До набору входять державки для кріплення ПКМД, основа для кріплення державок, плоскопаралельні, радіусні, центрові та рисувальні боковики, лінійки.

Конструкцію поширених державок наведено на рис. 2.3, а. Державка у зборі з блоком ПКМД і боковиками для вимірювання зовнішніх розмірів (рис. 2.3, б) забезпечена стабілізатором сили притиску блоку ПКМД, яка повинна бути не менша ніж 350 Н. Стабілізатор установлюють між блоком ПКМД і притискною планкою. При вимірюванні внутрішніх розмірів, наприклад, діаметра отвору, збирають блок ПКМД із радіусними боковиками (рис. 2.3, в). При розрахунку блоку ПКМД потрібно до суми номінальних розмірів кінцевих мір додати суму радіусів двох боковиків. Різновиди боковиків показані на рис. 2.3, г.

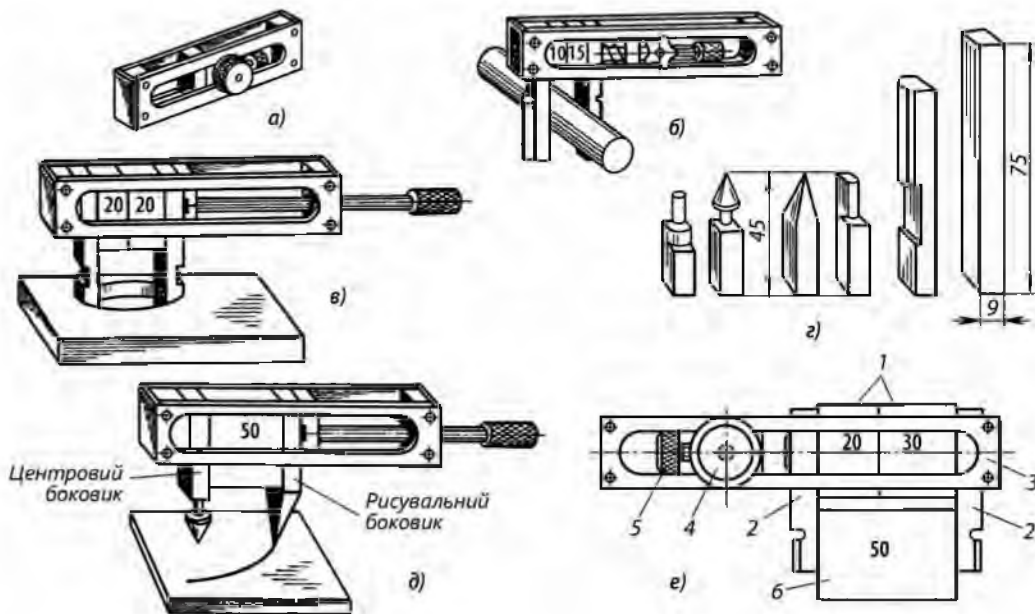


Рис. 2.3. Набір пристосувань до ПКМД і приклади їх застосування

Вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів за допомогою блоків ПКМД є особливо раціональним при виготовленні виробів високої точності. У цьому випадку розмір блоку ПКМД повинен відповідати номінальному або граничному розміру виробу.

Пристосування до ПКМД використовують у розмічувальних роботах (рис. 2.3, д) для викреслювання кола або прямих, паралельних базі (рис. 2.3, е). В останньому випадку основу встановлюють на плиту, а державку з блоком ПКМД закріплюють до основи шляхом введення нижнього вкладиша державки під вкладиш основи.

При вимірюванні розмірів за допомогою блоку ПКМД необхідно знати силу під час вимірювання, що виникає між дотичними поверхнями ПКМД і виробом.

Ця сила має забезпечувати порівняно щільний контакт поверхонь, але водночас – легкість і плавність їх відносного переміщення. Із цією метою з двох кінцевих мір довжини l (рис. 2.3, е), наприклад, номінального розміру 20 і 30 мм, складають блок ПКМД із притертими до нього двома боковиками 2. Зібраний блок поміщують у державку 3 і після затискання гайки 4 притискають його за допомогою гвинта 5. Переміщуючи ПКМД 6 номінального розміру 50 мм між боковиками 2, одержують уявлення про силу при вимірюванні.

Використання пристосувань для контролю зовнішніх та внутрішніх розмірів – особливо зручне і раціональне під час виготовлення деталей та виробів високої точності в умовах дрібносерійного виробництва. У цьому випадку за допомогою пристосувань міри можна набирати за граничними розмірами виробу і ними можна користуватися як двосторонніми граничними калібрами з прохідною та непрохідною сторонами.

Пристосування до плоскопаралельних кінцевих мір довжини знаходять широке застосування у вимірювальній практиці. Ними користуються для настройки на роз-

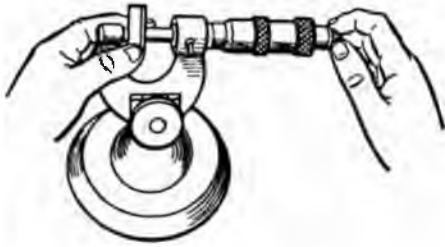


Рис. 2.4. Перевірка інструментальної похибки мікрометра

мір і для перевірки різних вимірювальних приладів. На рис. 2.4 показано перевірку інструментальної похибки мікрометра шляхом зіставлення його показання з розміром блоку мір.

Установку на розмір індикаторних нутромірів і вимірювальних головок при відносних вимірюваннях показано на рис. 2.5, а, б, регульованих калібрів – на рис. 2.5, в, г.

Щупи-пластини застосовують для вимірювання зазорів між двома площинами. Щупи комплектують у набори класів точності 1 і 2.

Щупи належать до однозначних плоскопаралельних мір довжини, проте їх можна класифікувати як нормальні калібри.

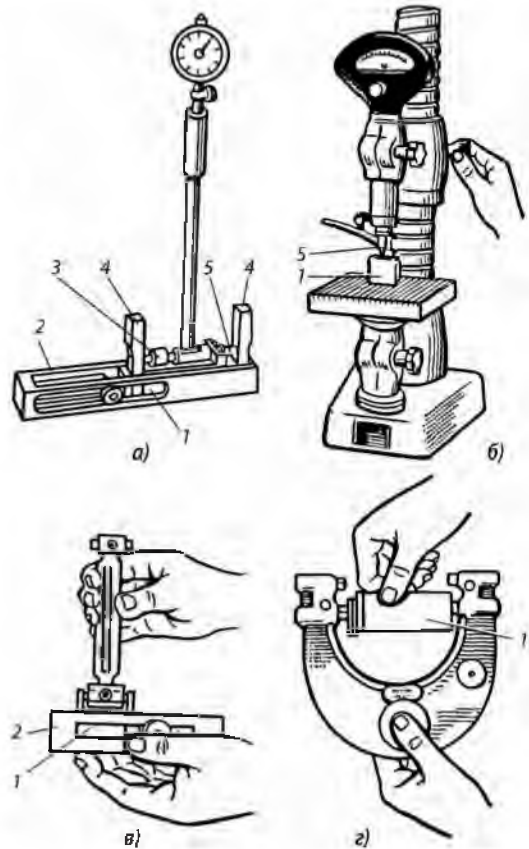


Рис. 2.5. Установка на розмір приладів і регульованих калібрів за блоком кінцевих мір:

1 – блок кінцевих мір; 2 – державка; 3 – регульований стрижень; 4 – боковики; 5 – вимірювальний стрижень

2.1.2. Штрихові міри довжини

Штрихові міри довжини поділяють на однозначні та багатозначні.

Однозначні міри мають тільки два штрихи, відстань між якими визначає одне значення довжини міри. Такі штрихові міри довжини застосовують в основному як еталони (наприклад, вторинний еталон метра № 28) і зразкові міри для передачі одиниці довжини від еталона до виробу. Це брускові міри з різною формою перерізу бруска, що забезпечує його жорсткість, виготовлені з корозійностійкого матеріалу з низьким коефіцієнтом лінійного розширення.

Брускові робочі штрихові міри (ГОСТ 12069–78), як правило, багатозначні і є брусками з нанесеними на них штрихами або шкалами (рис. 2.6, а).

До штрихових мір довжини, окрім брускових мір, відносять також металеві вимірювальні лінійки і стрічкові рулетки (рис. 2.6, б, в, г, д, е).

Це прості штрихові міри вимірювання методом безпосереднього порівняння певних довжин і відстаней зі шкалою. Знайшли застосування багатозначні штрихові

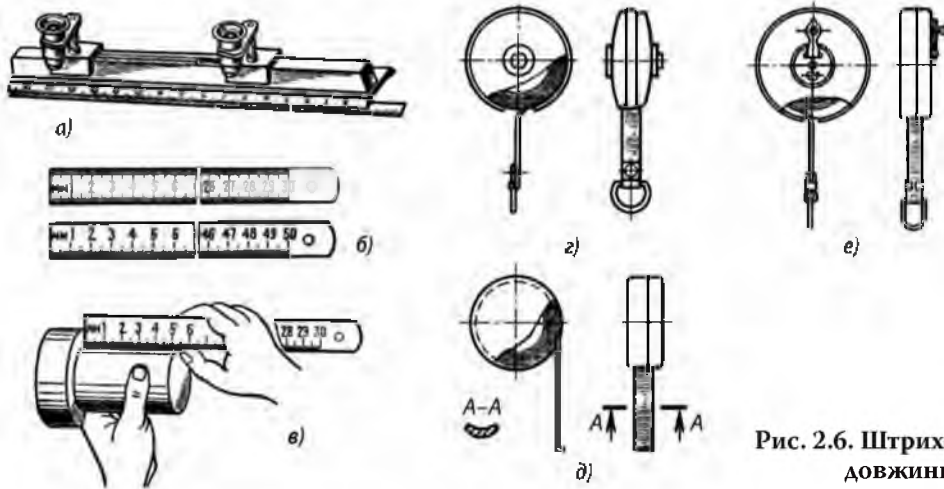


Рис. 2.6. Штрихові міри довжини

міри довжини, що мають ряд штрихів (шкалу), нанесених через інтервали 1 дм, 1 см, 1 мм, 0,1 або 0,2 мм (скляні шкали мають ціну поділки 0,1 та 0,01 мм). Багатозначні штрихові міри застосовують для вимірювання довжини, а також як шкали верстатів та приладів.

2.2. КАЛІБРИ

2.2.1. Класифікація калібрів

Калібрами називають безшкальні міри, які призначені для контролю розмірів, форми і розташування поверхонь деталей. За методом контролю калібри поділяють на нормальні та граничні.

Нормальні калібри копіюють розміри та форму виробів. Їхні розміри відповідають номінальним розмірам контрольованих виробів. *Граничні калібри* відтворюють розміри, відповідні верхній та нижній межам допуску виробів, і зазвичай мають два робочі розміри: один відповідає найбільшому граничному розміру, а другий – найменшому граничному розміру. Один з указаних розмірів називають «прохідним» і позначають буквами ПР, інший – «непрохідним», позначають буквами НЕ.

Граничні калібри одержали більш широке застосування, проте деякі види нормальних калібрів іще успішно використовують у машинобудуванні. Це, в першу чергу, шаблони, щупи і конусні калібри.

Комплексні калібри призначені для перевірки кількох розмірів виробів, а *диференціальні (прості) калібри* – одного розміру.

За конструкцією граничні калібри поділяють на такі види: *нерегульовані (жорсткі)* та *регульовані*, які дозволяють компенсувати зношування калібру або встановити його на інший розмір; *однораннічні* та *двограничні*, що об'єднують прохідний та непрохідний калібри; *односторонні*, у яких обидва граничні калібри розташовані з одного боку, та *двосторонні*.

За призначенням розрізняють *робочі калібри* для контролю виробів під час виготовлення, *калібри контролера* для перевірки виробів працівниками ВТК; *приймальні калібри* для контролю виробів замовником; *контрольні калібри* для перевірки розмірів

робочих і приймальних калібрів. Як калібри контролера і приймальні калібри використовують частково зношені прохідні та нові непрохідні робочі калібри.

Перевагою калібрів є економічність і висока продуктивність вимірювань при масовому та серійному виробництві. Основні вимоги до калібрів: висока точність виготовлення, велика жорсткість за малої маси, зносостійкість, корозійна стійкість, стабільність робочих розмірів, зручність у роботі.

2.2.2. Калібри для гладких валів і отворів

Для контролю розмірів валів застосовують граничні калібри-скоби, а для контролю розмірів отворів – граничні калібри-пробки (ГОСТ 24851–81, 24852–81, 24853–81).

Гладкі двограничні калібри-скоби, призначені для контролю валів із допусками за квалітетом 7 і вище, випускають трьох основних типів: листові двосторонні (рис. 2.7, а); листові (або штамповані) односторонні (рис. 2.7, б); односторонні зі змін-

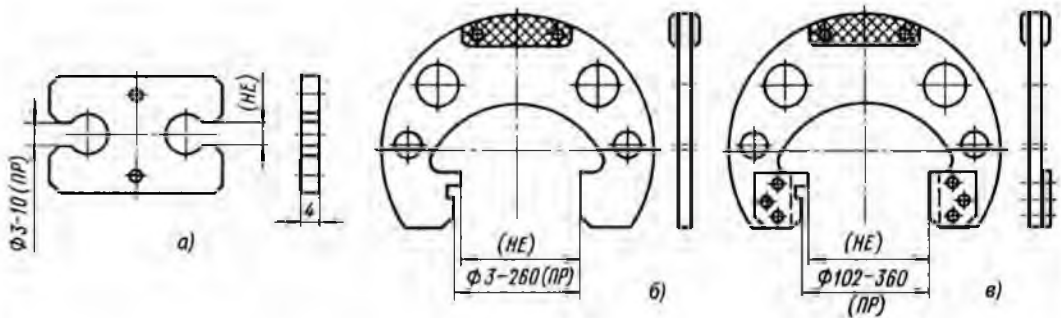


Рис. 2.7. Гладкі калібри-скоби:

а – двосторонній; б – односторонній; в – зі змінними губками

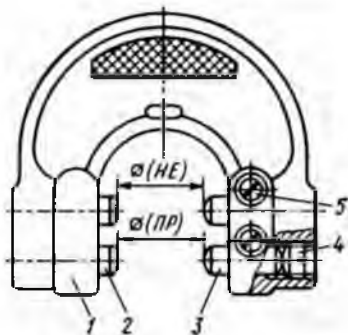


Рис. 2.8. Регульована скоба

ними губками (рис. 2.7, в). Регульовані скоби для діаметрів 0...340 мм (рис. 2.8) мають нерухомі п'яти 2, які запресовані в корпусі 1, і рухомі п'яти 3, які при установлюванні на розмір по кінцевих мірах довжини переміщують гвинтами 4 і затискають гвинтами 5.

Гладкі калібри-пробки випускають кількох типів, наприклад, двосторонні зі вставками 1 та 3, насадженими конічними хвостовиками на ручку 2 (рис. 2.9, а); однограничні з насадкою 1, що кріпиться на ручці гвинтами (рис. 2.9, б); однорядні з неповною насадкою 1 і конічними хвостовиками 2 (рис. 2.9, в); листові односторонні (рис. 2.9, г).

Під час контролю прохідні калібри мають вільно проходити у виріб під дією власної ваги, а непрохідні не повинні входити у виріб більше ніж на довжину фасок. За додаткових зусиль виникають похибки контролю внаслідок деформації.

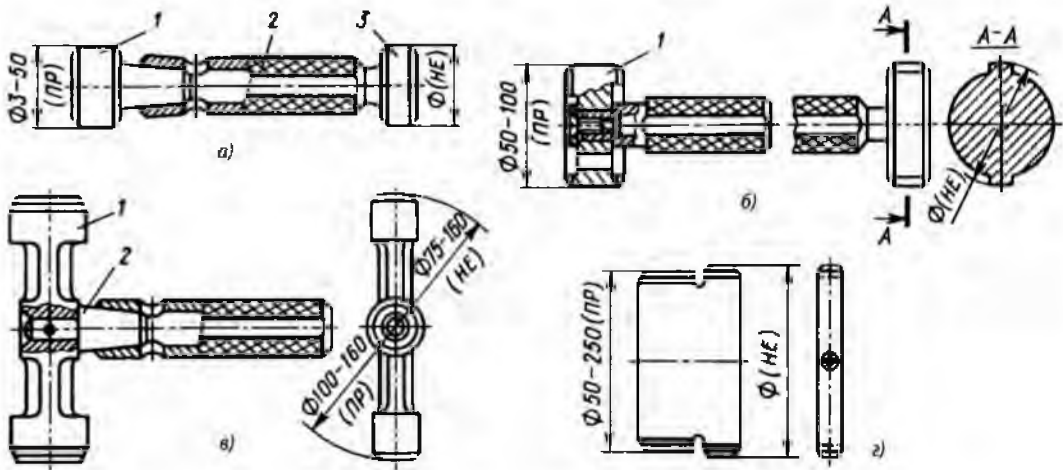


Рис. 2.9. Гладкі калібри-пробки:

a – двосторонній; *б* – односторонній; *в* – з неповною насадкою; *г* – листовий

2.2.3. Калібри для контролю лінійних розмірів

Для контролю лінійних розмірів: довжини, глибини та висоти уступів – застосовують граничні листові калібри (ГОСТ 2534–77). Калібри-скоби (рис. 2.10, *a*) призначені для контролю довжини виробів 10...500 мм. Довжину отворів контролюють листовими пробками (рис. 2.10, *б*).

Основні методи контролю глибини та висоти уступів – насунанням, на провіт, по рисках і на дотик. При насунанні калібру велика сторона *Б* повинна проходити над уступом, а мала сторона *М* – знаходити на нього (рис. 2.11, *a*) або навпаки. При визначенні провіту між виробом і калібром (рис. 2.11, *б*) кожна сторона калібру повинна мати лезоподібну і плоску грані для зменшення похибок контролю внаслідок нерівностей поверхні. Калібри з рисками (рис. 2.11, *в*) застосовують, коли допуск розміру, що перевіряють, становить $\sim 0,5$ мм. Ступінчасто-

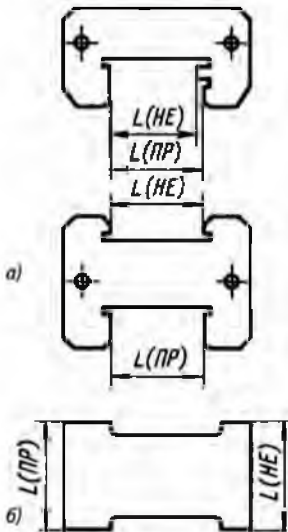


Рис. 2.10. Калібри довжин:

a – скоби; *б* – пробка

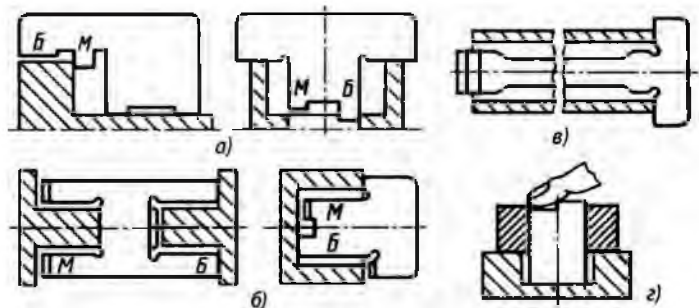


Рис. 2.11. Калібри для контролю глибин і висот різними методами:

a – насунанням; *б* – на провіт; *в* – по рисках; *г* – на дотик

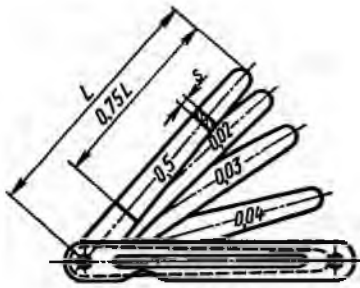


Рис. 2.12. Щупи

При вимірюванні в зазор вводять один або кілька щупів, накладених один на одного. Залежно від того, як рухається щуп (не входить, провалюється, переміщується вільно), змінюють щуп або товщину пакета щупів. Розмір щупа (щупів) буде дорівнювати зазору, коли він (вони) не почне (почнуть) переміщуватися в щілині внаслідок невеликого зусилля.

У випадках, коли потрібно встановити певний зазор між деталями (під час регулювань і настроювань), їх пересувають так, щоби щуп без зазору розміщувався між ними. Після цього деталі закріплюють. Перевірка або установка зазору за допомогою щупа вимагає високої кваліфікації виконавця і не завжди забезпечує необхідну точність.

2.2.4. Профільні шаблони

Для контролю розмірів і форми виробів зі складним профілем застосовують нормальні профільні шаблони. Шаблони 1 можна прикладати до профілю виробу, що перевіряють, 2 (рис. 2.13, а) або накладати на виріб 2 з поєднанням профілів (рис. 2.13, б). У першому випадку відхилення профілю виробу від профілю шаблону Δ визначають

«припасовкою на фарбу», якщо $\Delta \approx \pm 3$ мкм, або методом «на просвіт», якщо $\Delta \approx \pm 20$ мкм; у другому випадку Δ вимірюють за допомогою індикатора 3, якщо $\Delta \approx \pm 5$ мкм, або оцінюють візуально, якщо $\Delta \approx \pm 200$ мкм.

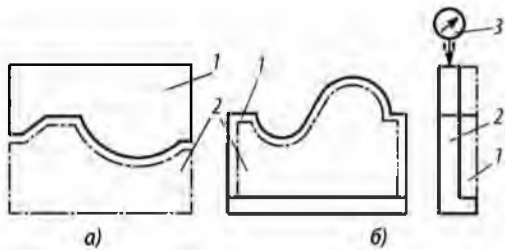


Рис. 2.13. Профільні шаблони

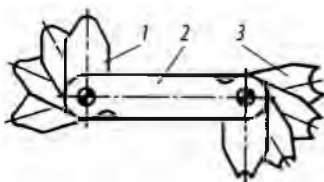


Рис. 2.14. Радіусні шаблони

Радіусні шаблони (рис. 2.14) для визначення радіусів закруглень від 1 до 25 мм є сталевими пластинами з профілем дуги кола. Вони комплектуються в набори, що складаються із пластин з опуклим 1 або погнутим 3 профілем, і збираються в обоймі 2. При контролі шаблони, як правило, прикладаються до профілю виробу. Якщо у сполученні немає зазору, то радіуси виробу і шаблону рівні.

2.3. МЕХАНІЧНІ ПРИЛАДИ

2.3.1. Штангенприлади

Штангенприлади є показувальними приладами прямої дії, за допомогою яких розмір виробу визначають за положенням вимірювальної рамки з ноніусом, що переміщується вздовж штанги зі штриховою шкалою.

На штанзі приладів нанесено основну шкалу з ціною поділки $a = 1$ мм, а на рамці встановлено або нанесено додаткову штрихову шкалу – ноніус. За положенням нульового штриха ноніуса на основній шкалі визначають ціле число міліметрів у розмірі. Дробові частки міліметра знаходять за допомогою ноніуса.

Ноніус – це рівномірна додаткова шкала з межею вимірювань, що дорівнює ціні поділки основної шкали a . Ноніуси мають різну ціну поділки C шкали (відлік за ноніусом) і модуль γ , що показує, через яку кількість часток основної шкали будуть розташовані штрихи ноніуса, зміщені на значення відліку. Лінійні ноніуси бувають кількох типів (рис. 2.15). Кількість поділок шкали ноніуса $n = a/C$, довжина поділки шкали ноніуса $b = \gamma a - C$, повна довжина шкали ноніуса $l = nb = (\gamma n - 1)a$.

Якщо нульовий штрих ноніуса збігається зі штрихом основної шкали (рис. 2.15), то 1-й штрих ноніуса зміщений від штриха основної шкали на значення C відліку за ноніусом, 2-й штрих – на $2C$, 3-й штрих – на $3C$ і т. ін. Під час переміщення нульового штриха ноніуса між поділками основної шкали штрихи ноніуса по черзі збігатимуться зі штрихами основної шкали. Коли дробова частка розміру становитиме $\Delta l = C$, зі штрихом шкали збігається 1-й штрих ноніуса, при $\Delta l = 2C$ – 2-й штрих, при $\Delta l = 3C$ – 3-й штрих і т. ін. Таким чином, покажчиком для ноніуса слугує штрих основної шкали, що збігається зі штрихом ноніуса.

Штангенприлади здебільшого мають ноніуси, які дозволяють робити відліки 0,1 та 0,05 мм.

Ціла кількість міліметрів у штангенприладах відлічується за шкалою штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса (рис. 2.16).

Ноніус з величиною відліку 0,1 мм

Ноніус завдовжки 19 мм розділений на 10 частин. Одна поділка ноніуса становить $19/10 = 1,9$ мм, що на 0,1 мм менше за цілу кількість міліметрів (рис. 2.17).

За нульового показання штрих ноніуса розташовується від найближчого справа штриха штанги на відстані, що дорівнює величині відліку (0,1 мм), помноженій на порядковий номер ноніуса, не враховуючи нульового. Тобто під час переміщення рамки до збігу будь-якого штриха ноніуса зі штрихом штанги розмір між губками штангенциркуля (дробова величина) дорівнюватиме величині відліку (0,1 мм), помноженій на порядковий номер цього штриха ноніуса (рис. 2.18).

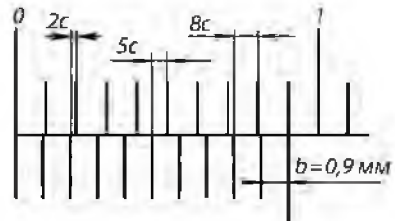


Рис. 2.15. Відлік за ноніусом штангенприладу з $c = 0,1$ мм; $\gamma = 1$; $n = 10$

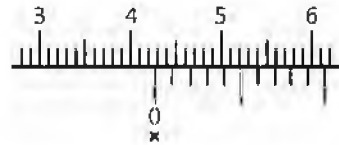


Рис. 2.16. Кількість цілих міліметрів дорівнює 42

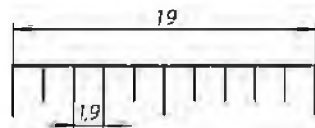


Рис. 2.17. Положення шкали штанги і ноніуса з величиною відліку 0,1 мм при нульовому показанні



Рис. 2.18. Визначення частки міліметра ноніусом із величиною відліку 0,1 мм

Дробова величина (0,3 мм) отримана в результаті множення величини відліку (0,1 мм) на порядковий номер штриха ноніуса, тобто третього (не враховуючи нульового), що збігається зі штрихом штанги (рис. 2.19).

Цілу кількість міліметрів відлічують за шкалою штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса. Дробову величину (кількість десятих часток міліметра) визначають множенням величин відліку (0,1 мм) на порядковий номер штриха ноніуса (якщо не враховувати нульового), що збігається зі штрихом штанги (рис. 2.20).

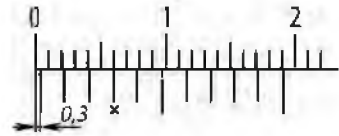
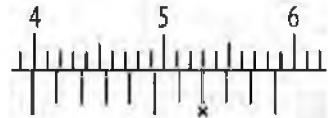
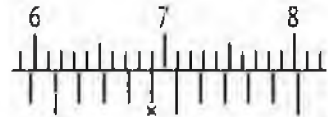


Рис. 2.19. Хрестиком вказаний 3-й штрих ноніуса



Приклад відліку: $39 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм} \times 7 = 39,7 \text{ мм}$



Приклад відліку: $61 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм} \times 4 = 61,4 \text{ мм}$

Рис. 2.20. Читання показань на штангенциркулі з величиною відліку 0,1 мм

Ноніус із величиною відліку 0,05 мм

Ноніус, довжина якого дорівнює 39 мм, розділений на 20 частин. Одна поділка ноніуса становить $39/20 = 1,95 \text{ мм}$, на 0,05 мм менше за цілу кількість міліметрів (рис. 2.21, 2.22).

Дробову величину (0,35 мм) отримали в результаті множення величини відліку (0,05 мм) на порядковий номер штриха ноніуса, тобто сьомого (якщо не враховувати нульового), що збігається зі штрихом штанги $0,05 \text{ мм} \times 7 = 0,35 \text{ мм}$ (рис. 2.23).

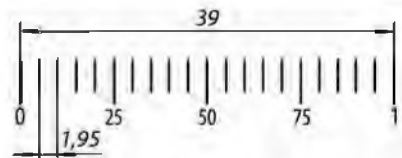


Рис. 2.21. Шкала ноніуса з величиною відліку 0,05 мм

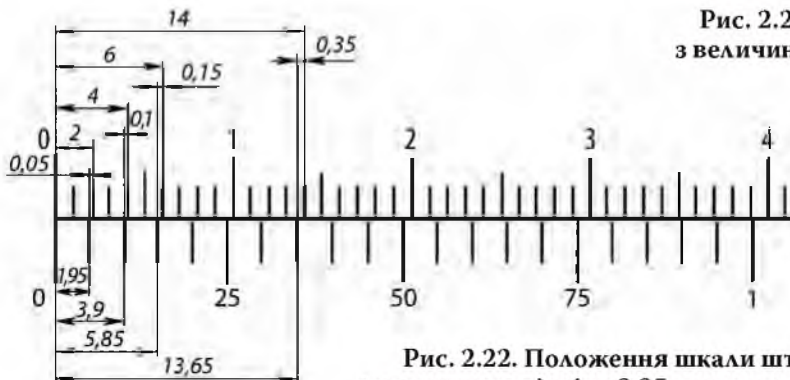


Рис. 2.22. Положення шкали штанги і ноніуса з величиною відліку 0,05 мм за нульового показання

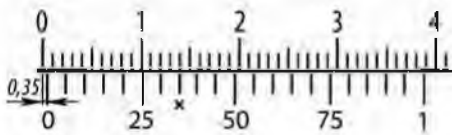


Рис. 2.23. Визначення частки міліметра ноніусом з величиною відліку 0,05 мм. Хрестиком указаний 7-й штрих ноніуса

Для прискорення відліку використовують цифри ноніуса 25, 50 і т. ін., які позначають соті частки міліметра. Наприклад, $0,25 \text{ мм} + 0,05 \text{ мм} \times 2 = 0,35 \text{ мм}$.

Під час читання показань на штангенприладах із величиною відліку за ноніусом 0,05 мм (рис. 2.24) цілу кількість міліметрів відлічують зліва направо нульовим штрихом ноніуса. Потім знаходять штрих ноніуса, що збігається зі штрихом шкали штанги. Після цього до найближчої зліва цифри ноніуса (25, 50 або 75), що позначає соті частки міліметра, додають результат множення величини відліку на порядковий номер короткого штриха ноніуса, що збігається зі штрихом штанги, рахуючи його від знайденого довгого оцифрованого штриха. Якщо ж зі штрихом штанги збігається довгий оцифрований штрих ноніуса, то обмежуються збільшенням його величини до цілого числа міліметрів.

Штангенприлади (рис. 2.25) – прості за конструкцією, хоча не вирізняються великою точністю.

Штангенциркулі (ГОСТ 166–80), призначені для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів виробів, випускають чотирьох типів: ШЦ-I (рис. 2.25, а); ШЦ-T-I (ШЦ-I – без верхніх губок, із нижніми губками, виконаними з твердого сплаву); ШЦ-II

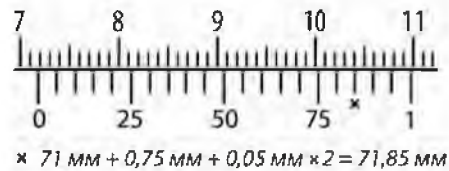
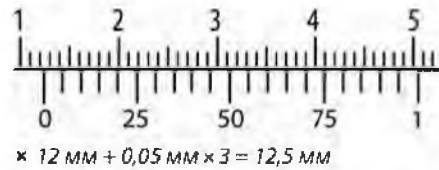


Рис. 2.24. Приклади читання показань на штангенприладах із величиною відліку за ноніусом 0,05 мм

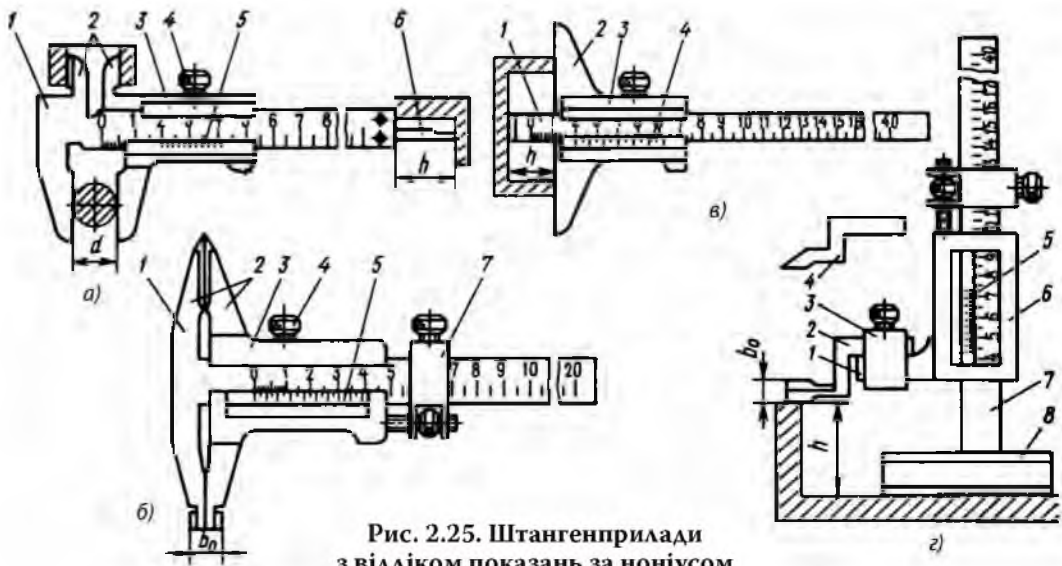


Рис. 2.25. Штангенприлади з відліком показань за ноніусом



Рис. 2.26. Штангенциркулі:

a – з індикаторним відліком; *б* – з електронним цифровим відліком

(рис. 2.25, *б*) і ШЦ-III (ШЦ-II без верхніх губок). Вони складаються зі штанги 1, вимірювальних губок 2 (верхніх та нижніх), рамки 3, затискача рамки 4, ноніуса 5, глибиномірної лінійки 6 і мікрометричної подачі 7 для установки рамки на точний розмір.

Штангенциркулі ШЦ-I, ШЦТ-I мають ноніус із ціною поділки 0,1 мм; ШЦ-II, ШЦ-III – із ціною поділки 0,05 мм.

Під час вимірювань зовнішньою стороною губок штангенциркулів ШЦ-II і верхньою стороною губки штангенрейсмасів ширину губок $b_0 = 10$ мм додають до відліку.

Штангенглибиноміри за ГОСТом 162–80 (рис. 2.25, *в*) застосовують для вимірювання глибини отворів та пазів. Вони мають штангу 1 без губок і рамку 3 з основою 2 і ноніусом 4. Вимірювальними поверхнями є торці штанги і основи 2.

Штангенрейсмаси за ГОСТом 164–80 (рис. 2.25, *г*) використовують для вимірювання висот і розмітки виробів, установлених на плиті. Штанга 7 встановлена в масивну підставку 8, нижня площина якої є початком шкали. Рамка 6 із ноніусом 5 має кронштейн 1, на якому хомутом 3 кріплять вимірювальну 2 або розмічальну 4 ніжку.

Штангенглибиноміри і штангенрейсмаси здебільшого мають ноніус із ціною поділки у 0,05 мм.

Штангенприлади з автоматичним відліком показань підвищують якість та продуктивність вимірювань. У штангу 1 індикаторного штангенциркуля (рис. 2.26, *а*) вмонтовано зубчасту рейку. Зубчасте колесо індикатора 3, закріпленого на рамці 2 з рухомою губкою, переміщується по зубчастій рейці. Обертання зубчастого колеса перетворюється у переміщення стрілки індикатора. За шкалою, нанесеною на штанзі, відлічують десятки міліметрів, за шкалою індикатора – одиниці, десяті та соті частки міліметра.

Прилад з електронним цифровим відліком показано на рис. 2.26, *б*.

Перевага таких приладів – зручність та швидкість зчитування показань, що є суттєвою умовою при таких вимірюваннях. Висока якість виготовлення ковзних деталей

забезпечує гладке пересування по штанзі і запобігає перекосу губок. Тим самим у сучасних моделях (рис. 2.26, *б*) із застосуванням цифрової шкали з дискретністю показань 0,01 мм досягається допустима похибка 10–20 мкм.

На рис. 2.27 наведено електронний штангенглибиномір з аналогічним відліковим пристроєм.



Рис. 2.27. Електронний штангенглибиномір

Технологія вимірювання штангенциркулями

При вимірюванні штангенциркулем вимірювальні губки доводять до необхідного розміру шляхом доторкання до вимірюваної поверхні. Одночасно перевіряють і правильність їхнього положення (відсутність перекосів і нормальність зусилля під час переміщення), закріплюють рамку і читають показання.

Під час переміщення рамки права рука повинна підтримувати штангу (рис. 2.28).

Лінія вимірювання 1 – перпендикулярна до осі деталі, а лінія вимірювання 2 – перпендикулярна до паралельних площин (рис. 2.29). Лінія вимірювання перпендикулярна до осі деталі і проходить через її центр (рис. 2.30). Лінія вимірювання перпендикулярна до паралельних площин (рис. 2.31).

Лінійка глибиноміра перпендикулярна до поверхонь, між якими перевіряють глибину (рис. 2.32).

Під час вимірювання незакріпленої деталі (рис. 2.33) ліва рука повинна бути розташована за губками і охоплювати деталь недалеко від губок; правою рукою підтримують штангу, водночас великим пальцем цієї руки переміщують рамку до зіткнення з поверхнею, яку перевіряють, не допускаючи перекосу губок і досягаючи нормального вимірювального зусилля.

Під час вимірювання закріпленої деталі (рис. 2.34) ліва рука повинна злегка притискати губку штанги до поверхні, яку перевіряють; правою рукою підтримують штангу (приблизно у горизонтальному положенні)



Рис. 2.28. Переміщення рамки

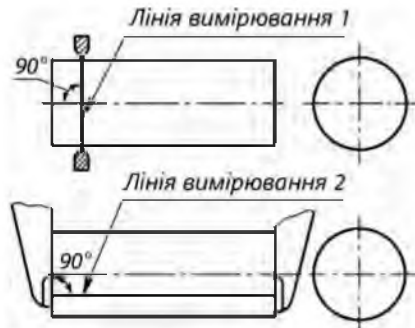


Рис. 2.29. Положення губок щодо зовнішніх поверхонь, які перевіряють

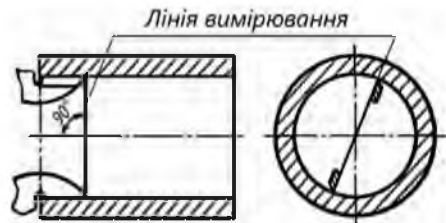


Рис. 2.30. Положення губок щодо внутрішніх циліндричних поверхонь



Рис. 2.31. Положення губок щодо внутрішніх паралельних поверхонь, які перевіряють

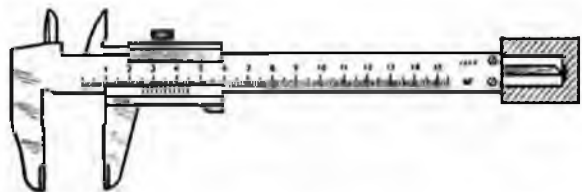


Рис. 2.32. Положення лінійки глибиноміра щодо деталі, яку перевіряють

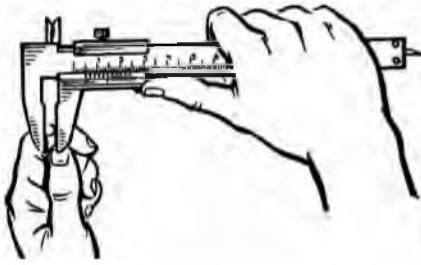


Рис. 2.33. Положення рук щодо патрона штангенциркуля і незакріпленої деталі



Рис. 2.34. Положення рук щодо верстата, штангенциркуля і закріпленої деталі

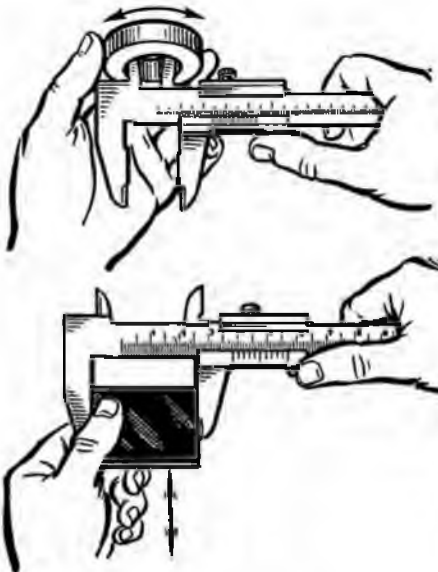


Рис. 2.36. Вимірювальне зусилля

і великим пальцем цієї руки переміщують рамку до зіткнення з поверхнею, яку перевіряють, не допускаючи при цьому перекосу губок і досягаючи нормального вимірювального зусилля.

Закріплення рамки (рис. 2.35) треба проводити великим і вказівним пальцями правої руки, підтримуючи штангу рештою пальців цієї руки; ліва рука при цьому повинна підтримувати губку штанги.

Нормального вимірювального зусилля досягають при легкому контактуванні під час переміщення між поверхнями деталі, яку перевіряють, та вимірювальними поверхнями інструмента (рис. 2.36).

Якщо дивитися на показання збоку, це призведе до неправильних результатів вимірювань. Із цих самих міркувань (аби запобігти викривленню показань) поверхня, на яку нанесено шкалу ноніуса, має скіс для того, щоб наблизити шкалу ноніуса до основної шкали на штанзі (рис. 2.37).



Рис. 2.35. Закріплення рамки



Рис. 2.37. Під час читання показань штангенциркуля слід тримати прямо перед очима



Рис. 2.38. Вигляд штангенциркуля після закінчення роботи

Після закінчення роботи штангенінструмент слід протерти, змастити антикорозійним розчином, розвести вимірювальні губки на 2...3 мм, ослабити затиски рамки та покласти інструмент у футляр (рис. 2.38).

Мікрометричну подачу (рис. 2.39) застосовують для точного встановлення рамки щодо штанги.

Приблизно встановлюють контрольований розмір (рис. 2.40, при зовнішньому вимірюванні – дещо більше, а при внутрішньому – дещо менше за контрольований розмір), закріплюють рамку мікрометричної подачі, потім за допомогою мікрометричної пари доводять губки до контакту з поверхнями, які перевіряють, закріплюють рамку, не допускаючи перекосу і досягаючи нормального вимірювального зусилля.

Затиск рамки мікрометричної подачі проводять великим і вказівним пальцями правої руки за підтримки штанги рештою пальців (рис. 2.41).

Великим і вказівним пальцями правої руки обертають гайку мікрометричної подачі (рис. 2.42), підтримуючи штангу рештою пальців правої руки; лівою рукою підтримують губку штанги.

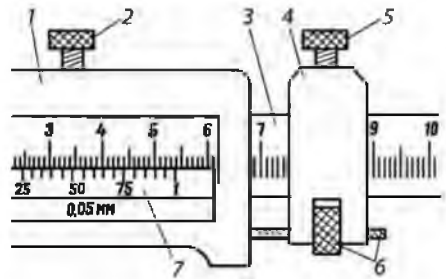


Рис. 2.39. Мікрометрична подача:

1 – рамка; 2 – затискач рамки; 3 – штанга; 4 – рамка мікрометричної подачі; 5 – затискач рамки мікрометричної подачі; 6 – гайка і гвинт мікрометричної подачі; 7 – ноніус

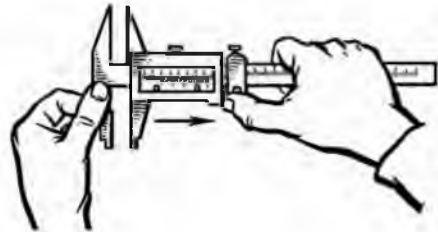
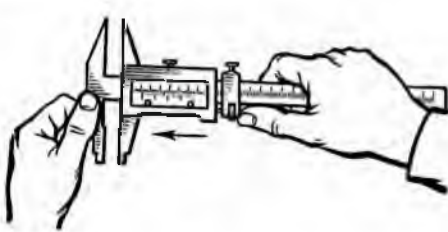


Рис. 2.40. Приблизне встановлення розміру

Затиск рамки мікроподачі

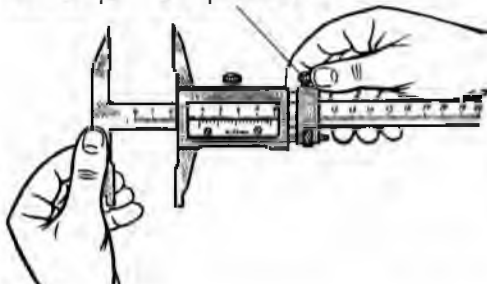


Рис. 2.41. Закріплення рамки мікрометричної подачі



Рис. 2.42. Обертання гайки мікрометричної подачі

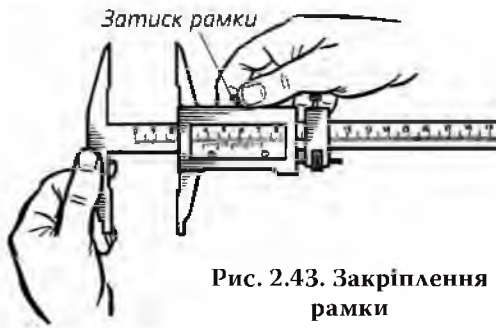


Рис. 2.43. Закріплення рамки



Рис. 2.44. Перевірка на відчуття вимірювального зусилля при вимірюванні великого внутрішнього діаметра



Рис. 2.45. Читання показань при внутрішніх вимірюваннях

Під час перевірки вимірювального зусилля переміщенням губок у вертикальній площині треба спиратися на середні пальці рук, установивши їх біля губок.

При внутрішніх вимірюваннях (рис. 2.45) до показань штангенциркуля додають товщину губок, вказану на них. Для більш точного контактування з виробом губки штангенциркуля із зовнішньої сторони мають сферичну поверхню.

Вимірювання штангенглибиноміром

При зіткненні вимірювальних поверхонь основи і штанги з плитою або лекальною лінійкою нульові штрихи ноніуса і штанги повинні збігатися (рис. 2.46).

Під час вимірювання (рис. 2.47) лівою рукою слід притиснути основу 1 до поверхні 3, а правою рукою довести штангу 2 до зіткнення з поверхнею 4.

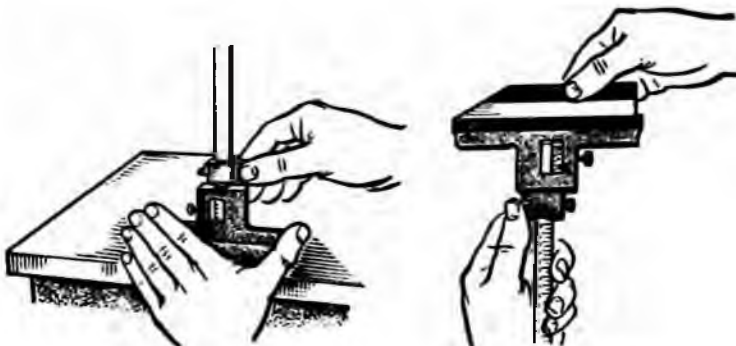


Рис. 2.46. Перевірка нульового положення штангенглибиноміра

Вимірювання штангенрейсмасом

За відсутності зазору між ніжкою і плитою (або кінцевою мірою, що дорівнює нижній межі вимірювання) нульові штрихи ноніуса і штанги повинні збігатися (рис. 2.48).

Під час вимірювання висоти (рис. 2.49) лівою рукою притискають основу до плити, а правою рукою за допомогою мікроподачі доводять вимірювальну ніжку до зіткнення з поверхнею деталі.

При розмітці (рис. 2.49) після встановлення розміру правою рукою, злегка притискаючи основу до плити, переміщують штангенрейсмас відносно деталі.

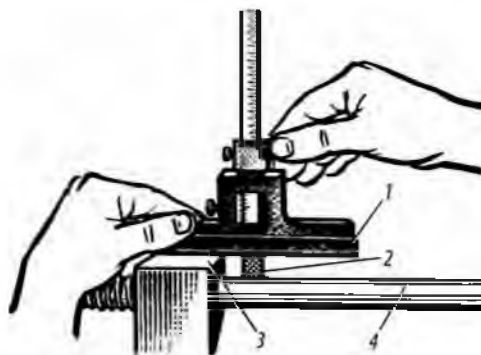
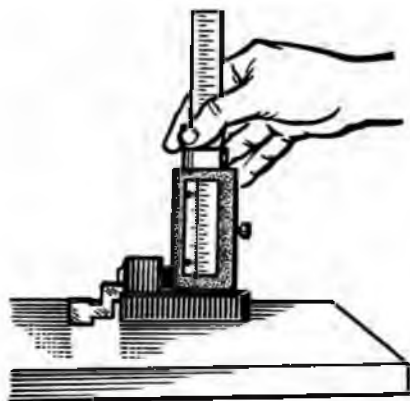


Рис. 2.47. Застосування штангенглибиноміра:

1 – основа; 2 – штанга; 3, 4 – поверхні деталі



Межі вимірювання 0–250 мм



Межі вимірювання 40–400 мм

Рис. 2.48. Перевірка нульового положення штангенрейсмаса

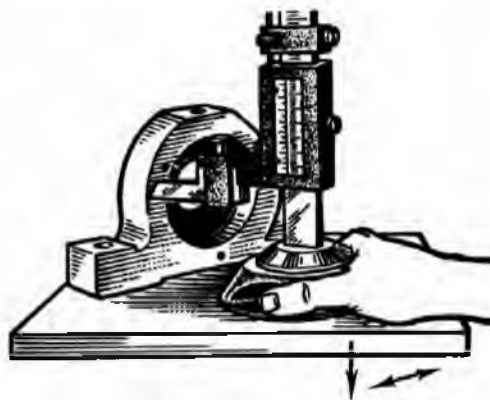
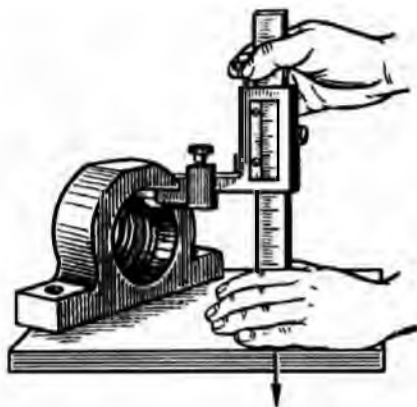


Рис. 2.49. Застосування штангенрейсмаса

2.3.2. Мікрометри



Рис. 2.50. Мікрометри типу МК

До основних деталей та вузлів належать (рис. 2.51, а) скоба 1, п'ята 2, мікрогвинт 4, стопор 5 гвинта, стебло 6, барабан 7 і тріскачка 8 мікрометричної головки, що перетворює обертальний рух барабана в поступальну ходу мікрогвинта.

Межі вимірювань мікрометрів залежать від розміру скоби і становлять 0...25; 25...50; ...; 275...300; 300...400; 400...500 і 500...600 мм. Мікрометри для розмірів понад 300 мм оснащені змінними (рис. 2.51, б) або пересувними (рис. 2.51, в) п'ятами, що забезпечують діапазон вимірювань 100 мм. Пересувні п'яти 2 кріплять у необхідному положенні фіксатором 1, а змінні п'яти 3 – гайками 1 і 2.

На стеблі 6 уздовж поздовжнього штриха нанесено основну шкалу приладу з ціною поділки $a = 0,5$ мм і межею вимірювань 25 мм. Для зручності відліку парні штрихи шкали, що мають цілі значення розміру, відкладені знизу від поздовжнього штриха. На конічному зрізі барабана 7 нанесено 50 поділок кругової шкали з ціною поділки, що дорівнює $C = 0,01$ мм. Унаслідок одного оберта барабан і мікрогвинт 4 переміщуються на одну поділку основної шкали. Торець барабана є покажчиком для основної шкали, а поздовжній штрих на стеблі – покажчиком для кругової шкали.

Під час вимірювання виріб поміщають без перекосу між п'ятою та мікрогвинтом

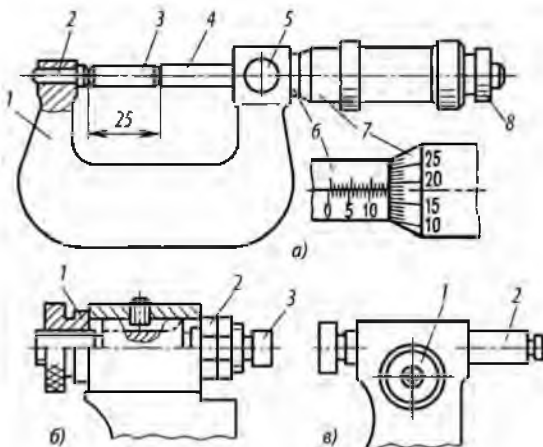


Рис. 2.51. Гладкий мікрометр МК:

а – пристрій; б – змінна п'ята; в – пересувна п'ята

і, обертаючи барабан за тріскачку до тих пір, поки вона не почне провертатися, щільно притискають вимірювальні поверхні приладу до поверхні виробу. Найближчий до торця барабана штрих основної шкали показує число цілих і десятих часток міліметра в розмірі. До відліку за основною шкалою додають відлік за круговою шкалою, що дорівнює ціні поділки C , помноженій на номер поділки, яка знаходиться навпроти поздовжнього штриха. Відлік на рис. 2.51, а:

$$l = 14 + 0,01 \cdot 18 = 14,18 \text{ мм.}$$

Вимірювальна система мікрометрів, як і всіх мікрометричних приладів, містить мікрометричну головку.

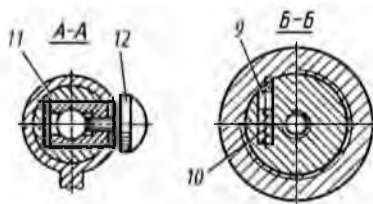
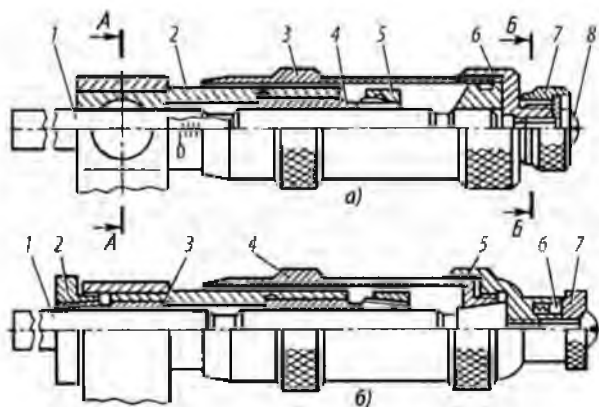


Рис. 2.52. Мікрометричні головки мікрометрів із різними діапазонами вимірювань:
a – до 100 мм; *б* – понад 100 мм

Будова мікрометричних головок. Мікрометричні головки можуть мати різну конструкцію. На рис. 2.52, *a* показано мікрометричну головку, якою оснащують мікрометри з верхньою межею вимірювань до 100 мм. Мікрометричний гвинт 1 проходить через гладкий напрямний отвір стебла 2 і угвинчений у розрізну мікрогайку 4, яку стягує регулювальна гайка 5 так, щоб усунути зазори у гвинтовій парі. На мікрогвинті встановлювальним ковпачком 6 закріплений барабан 3. Палець 9, поміщений у глухий отвір ковпачка, притиснений пружиною 10 до зубчастої поверхні тріскачки 7, що закріплена на ковпачку гвинтом 8. Під час обертання тріскачка передає мікрогвинту через палець обертальний момент, що забезпечує вимірювальне зусилля 5...9 Н. Якщо вимірювальне зусилля більше, то тріскачка провертається з характерними клацаннями. Гвинт 12 угвинчений у втулку 11 і фіксує мікрогвинт у необхідному положенні.

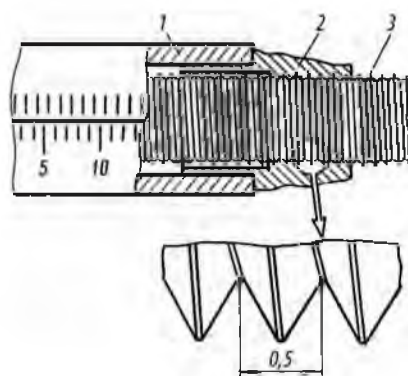


Рис. 2.53. Гвинтова пара:
 1 – стебло; 2 – різьова втулка;
 3 – мікрогвинт

Мікрометричні головки мікрометрів із нижньою межею вимірювань понад 100 мм мають дещо іншу будову (рис. 2.52, *б*). Мікрогвинт 1 стопорить гайка 2, яка затискає розрізну втулку 3. Барабан 4 затягує встановлювальний ковпачок 5 на конусну поверхню мікрогвинта. Палець 6 притиснений до торцевої зубчастої поверхні тріскачки 7.

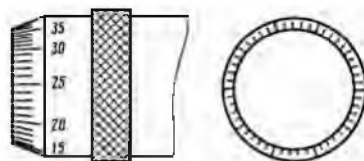


Рис. 2.54. Барабан

У мікрометричних приладах використовується гвинтова пара (рис. 2.53), де поздовжнє переміщення гвинта прямо пропорційне кроку різі і куту повороту гвинта. За один оберт мікрометричний гвинт переміщується вздовж осі на крок різі (0,5 мм). Барабан розділений по колу на 50 рівних частин (рис. 2.54).

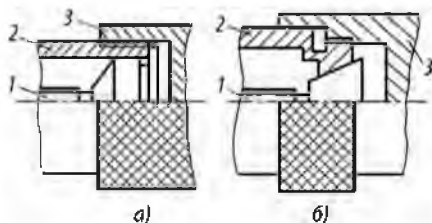


Рис. 2.55. З'єднання барабана з мікрогвинтом:

1 – мікрогвинт; 2 – барабан; 3 – корпус тріскачки

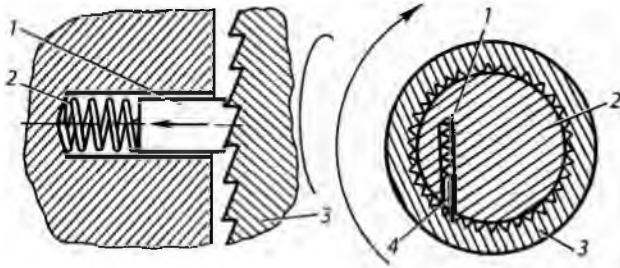


Рис. 2.56. Тріскачка з торцевими зубами:

1 – штифт; 2 – пружина; 3 – храповик

Рис. 2.57. Тріскачка із зубами на кільці:

1 – пружина; 2 – корпус; 3 – шліцева втулка; 4 – штифт

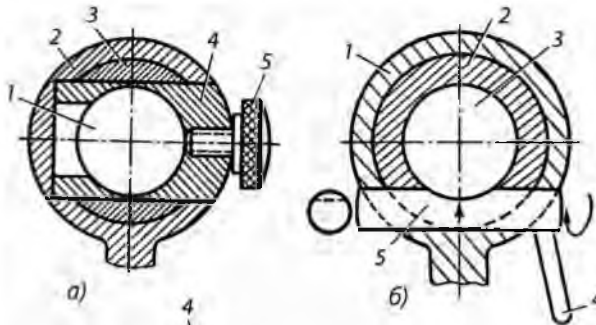


Рис. 2.58. Види стопорів:

а) із затискним гвинтом: 1 – мікрогвинт, 2 – скоба, 3 – стебло, 4 – втулка, 5 – затискний гвинт; б) ексцентриковий: 1 – скоба, 2 – стебло, 3 – мікрогвинт, 4 – ручка, 5 – ексцентрик; в) цанговий: 1 – мікрогвинт, 2 – розрізна гільза, 3 – гайка, 4 – скоба;

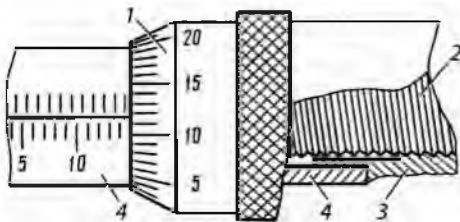


Рис. 2.59. Відліковий пристрій:

1 – барабан; 2 – мікрогвинт; 3 – різьова втулка; 4 – стебло

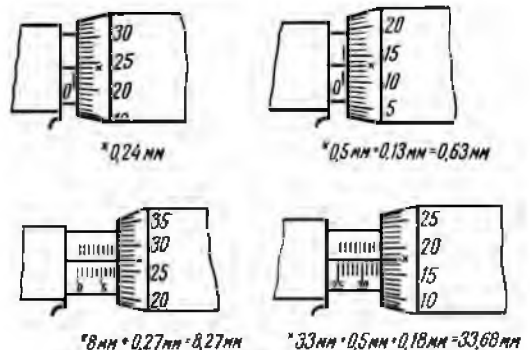


Рис. 2.60. Читання показань

З'єднання барабана з мікрогвинтом (рис. 2.55) здійснено притисканням ступінчастого (а) або конічного (б) хвостовика мікрогвинта до барабана ковпачковою гайкою з тріскачкою.

Тріскачка (рис. 2.56, 2.57) забезпечує постійне вимірювальне зусилля. У мікрометрів типу МК допускається вимірювальне зусилля $700 \pm 200 \text{ гс}$.

Положення мікрометричного гвинта фіксує стопор (рис. 2.58).

При повороті на одну поділку мікрометричний гвинт 2, з'єднаний з барабаном 1, переміщується вздовж осі на $1/50$ кроку, тобто $0,5 \text{ мм} : 50 = 0,01 \text{ мм}$, що є ціною поділки мікрометра (відлікового пристрою, рис. 2.59).

Ціле число міліметрів і половину міліметра відлічують краєм скосу барабана за шкалою стебла. Соті частки міліметра визначають за порядковим номером штриха барабана, що збігається з поздовжнім штрихом стебла.

Скіс на барабані для шкали сотих частин міліметра наближає її до шкали стебла і тим оберігає від спотворень під час читання показань (паралакса, рис. 2.60).

Допустима похибка мікрометрів класу точності 1 становить ± 4 мкм для діапазону вимірювань 0...100 мм; ± 5 мкм – для діапазону 100...200 мм; ± 6 мкм – для діапазону 200...300 мм; ± 8 мкм – для діапазону 400...500 мм і ± 10 мкм – для діапазону 500...600 мм. Мікрометри для розмірів 0...25 мм випускають також класу точності 0 і мають похибку ± 2 мкм.

Сучасні високоточні мікрометри (рис. 2.61) завдяки точності механічної передачі мають ціну поділки 0,001 мм, співвимірну з їхньою допустимою похибкою.

Мікрометри з циферблатом МЛ (рис. 2.62, а) застосовують для вимірювання товщини листів і стрічок. До їхніх особливостей належать збільшений виїт скоби 3, сферична вимірювальна поверхня п'яти 4, відліковий пристрій, виконаний у вигляді нерухомого циферблата 1 і стрілки 2, що обертається разом із барабаном 5.

Мікрометри МТ (рис. 2.62, б) використовують для вимірювання товщини стінок труб із внутрішнім діаметром 12 мм і більше. У них п'ята 2 має сферичну форму, а скоба 1 у місці кріплення п'яти зроблена тонкою для вимірювання труб невеликого діаметра.

Мікрометри настільні МГ (рис. 2.62, в) мають корпус 1 із жорсткою стаціонарною основою, п'яту 2, вимірювальні наконечники 3, мікрогвинт 4, стебло 5, барабан 6 із круговою шкалою, у якої $C = 0,01$ мм і $n = 100$, а також тріскачку 7 і вимірювальний стіл 8. Змінні вимірювальні стрижні прикріплені до п'яти і мікрогвинта за допомогою гвинтів. Вони мають різні форми вимірювальних поверхонь – плоскі, тарілчасті, ножеподібні. П'яту 2 можна переставляти на 10 мм залежно від розміру деталі.

Зубомірні мікрометри. Для вимірювання відхилень довжини загальної нормалі W (прямої, що сполучає точки дотику двох різнойменних профілів із паралельними площинами, що їх охоплюють) застосовують зубомірні мікрометри (рис. 2.63).



Рис. 2.61. Високоточний мікрометр

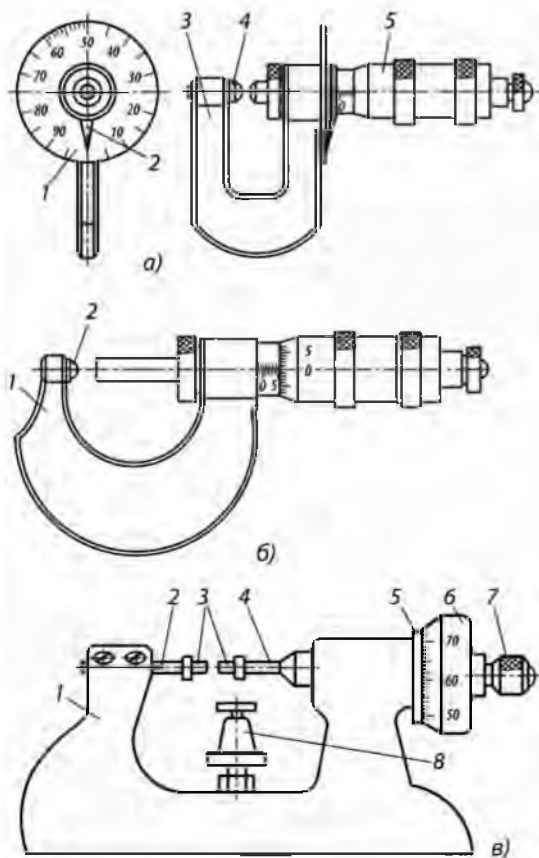


Рис. 2.62. Мікрометри спеціального призначення:

а – МЛ; б – МТ; в – МГ

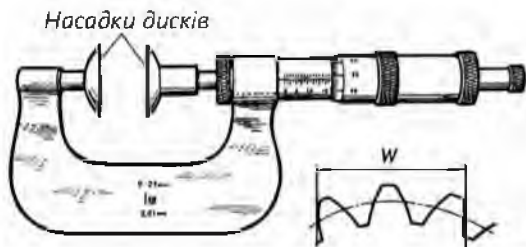


Рис. 2.63. Зубомірний мікрометр

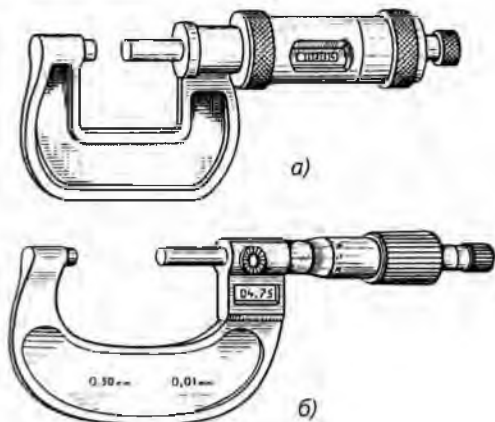


Рис. 2.64. Мікрометри із цифровим відліком:

a – у стеблі; *б* – у скобі



Рис. 2.65. Сучасний цифровий мікрометр



Рис. 2.66. Протирання вимірювальних поверхнь

Зубомірний мікрометр відрізняється від мікрометра для зовнішніх вимірювань насадками плоских дисків. Межі вимірювання: 0–25, 25–50, 50–75, 75–100 мм.

Мікрометри із цифровим відліком показань підвищують якість і продуктивність вимірювань. Числовий механізм може бути розташований або в стеблі мікрогвинта (рис. 2.64, *a*), або у скобі мікрометра (рис. 2.64, *б*).

Сучасні цифрові мікрометри (рис. 2.65) мають цифрову шкалу з дискретністю показань 0,001 мм, тоді як допустима похибка приладу знаходиться в межах 1...3 мкм. Такі мікрометри можуть комплектуватися змінними вставками для вимірювальних поверхнь (пласкими, сферичними, конусоподібними та ін.).

Послідовність дій під час роботи з мікрометром

Перед роботою протирають вимірювальні поверхні (рис. 2.66) і перевіряють нульове положення мікрометра (рис. 2.67).

Перед вимірюванням мікрометри встановлюють у початкове (нульове) положення, за якого п'ята і мікрогвинт притиснуті одне до одного або до повер-

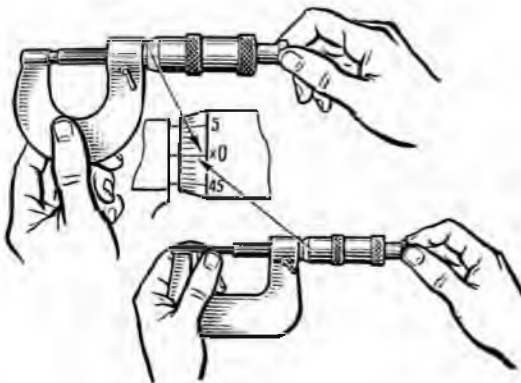


Рис. 2.67. Перевірка нульового положення мікрометра

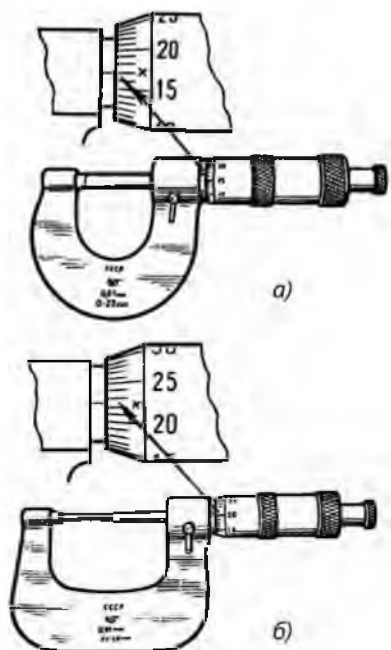


Рис. 2.68. Правильне (а) та неправильне (б) нульове положення мікрометра



Рис. 2.69. Закріплення мікрогвинта стопором

хонь встановлювальних мір 3 (рис. 2.51, а) під дією сили, забезпечуваної тріскачкою. За умови правильного встановлення нульовий штрих кругової шкали барабана повинен збігатися з поздовжнім штрихом на стеблі, а торець барабана – з нульовим штрихом основної шкали.

У разі неправильних показань мікрометра (рис. 2.68, б) треба провести установку його на нуль.

Установлення мікрометричних головок на нуль здійснюють у такому порядку:

- 1) закріплюють мікрогвинт стопором (рис. 2.69);
- 2) відкручують встановлювальний ковпачок на півоберта (рис. 2.70);
- 3) барабан повертають до збігу нульового штриха кругової шкали на барабані з поздовжнім штрихом на стеблі;
- 4) закріплюють барабан ковпачком (рис. 2.71);
- 5) звільняють мікрогвинт;

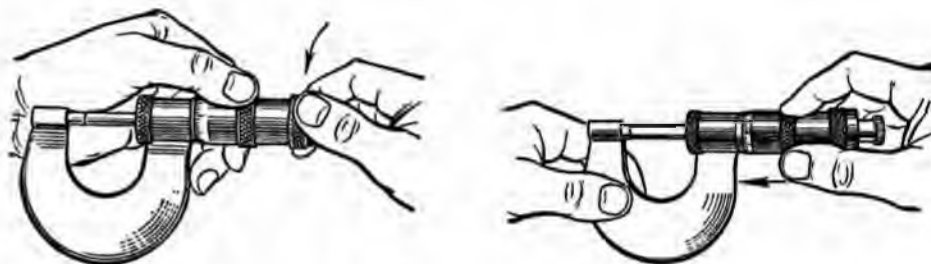


Рис. 2.70. Від'єднання барабана від мікрогвинта



Рис. 2.71. Установка барабана і його закріплення

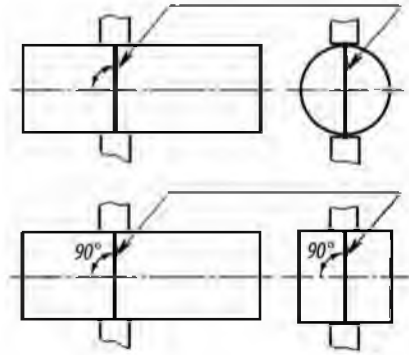


Рис. 2.72. Положення вимірювальних поверхнь щодо тих, які перевіряють

б) перевіряють установлення мікрометра на нуль і в разі, якщо нульовий штрих на барабані не збігається із поздовжнім штрихом на стеблі, повторюють операції у тій самій послідовності.

При вимірюванні мікрометром діаметра циліндричної деталі лінія вимірювання має бути перпендикулярна до твірної і проходити через центр.

При вимірюванні мікрометром відстані між паралельними площинами лінія вимірювання має бути до них перпендикулярна (рис. 2.72).

Вимірюючи закріплену деталь за горизонтального положення осі мікрометра (рис. 2.73), лівою рукою підтримують скобу посередині та злегка притискають п'яту до поверхні, яку перевіряють. Великим і вказівним пальцями правої руки, що лежать на накатаному поясочку тріскачки, переміщують мікрогвинт до контакту його з поверхнею, яку перевіряють (до появи «поклацування» тріскачки).

Під час вимірювання у вертикальному положенні (рис. 2.74) лівою рукою слід підтримувати скобу знизу біля п'яти (і всю масу мікрометра сприймати цією рукою) та злегка притискати п'яту до поверхні, яку перевіряють; великим і вказівним пальцями правої руки за допомогою тріскачки доводять мікрогвинт до контакту з поверхнею деталі, яку перевіряють.

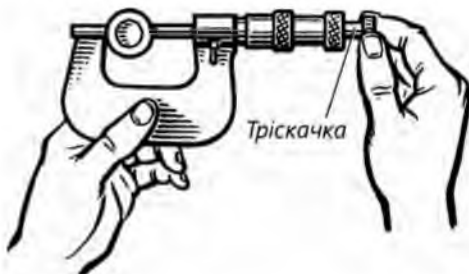


Рис. 2.73. Вимірювання у горизонтальному положенні

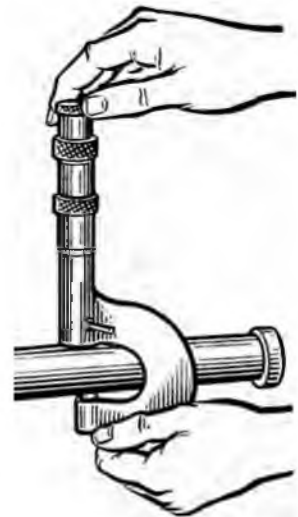


Рис. 2.74. Вимірювання за вертикального положення осі мікрометра

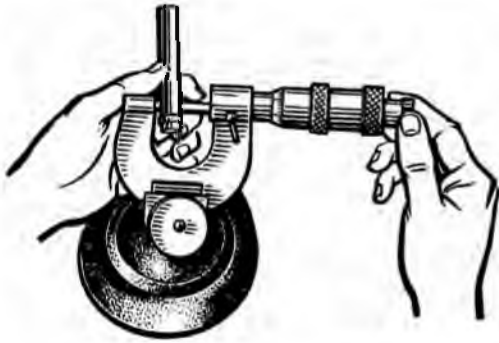


Рис. 2.75. Вимірювання мікрометром, закріпленим у стояку



Рис. 2.76. Читання показань

Вісь мікрометра має бути перпендикулярна до осі вимірюваної деталі. Для зручності вимірювань застосовують стояки, в яких закріплюють мікрометр.

Стояк для мікрометра звільняє ліву руку (рис. 2.75). Скоба мікрометра закріплена в стояку під кутом $40...50^\circ$, що забезпечує добру видимість, оскільки погляд спостерігача приблизно перпендикулярний дотичній площині до стебла, яка проходить через її шкалу.

Ліва рука повинна бути за скобою і захоплювати деталь недалеко від мікрометричного гвинта, злегка притискаючи деталь до п'яти. А великим і вказівним пальцями правої руки за допомогою тріскачки доводять мікрогвинт до контакту з поверхнею деталі.

Щоб уникнути передчасного зношування мікрометра, не можна його використовувати у вигляді скоби.

Під час читання показань (рис. 2.76) мікрометр слід тримати прямо перед очима, щоб уникнути спотворень результатів вимірювань.

При вимірюванні відстані між осями (рис. 2.77) від показань мікрометра треба відняти півсуму діаметрів штифтів.

Паралельність валів перевіряють (рис. 2.78) порівнянням показань мікрометра при вимірюваннях у кількох місцях, заздалегідь переконавшись у їхній правильній геометричній формі.

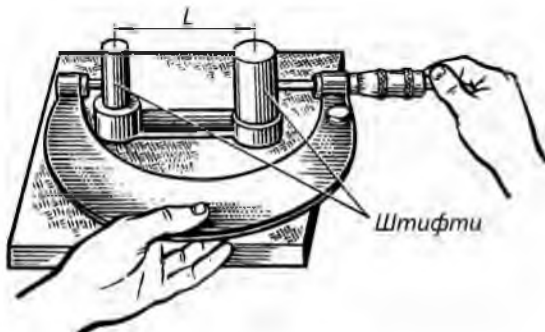


Рис. 2.77. Вимірювання відстані між осями

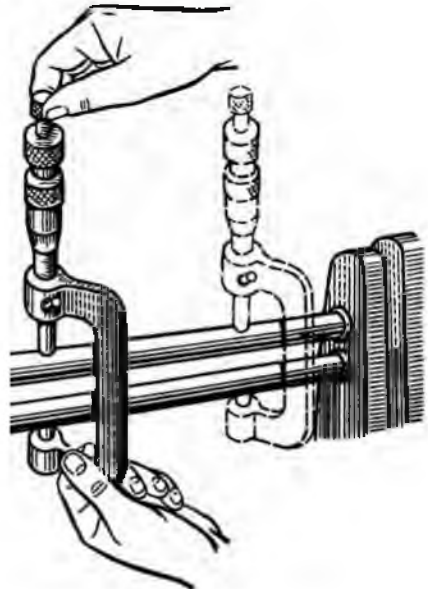


Рис. 2.78. Перевірка паралельності валів



Рис. 2.79. Вимірювання деталі, закріпленої в патроні верстата

вимірювальною поверхнею. Мікрогвинт затискають стопором 4. Діапазон вимірювань глибиномірами становить 0...25, 25...50, 125...150 мм. *Мікрометрична головка* нутроміра за принципом дії і конструкцією аналогічна до мікрометричної головки мікрометра (див. рис. 2.52), але цифри біля штрихів стебла і барабана нанесені у зворотному порядку, порівняно з мікрометрами, оскільки чим більша глибина, тим далі висунений мікрогвинт.

Глибиноміри випускають 1-го і 2-го класів точності. Допустимі похибки дорівнюють відповідно ± 3 та ± 5 мкм у межах вимірювання до 100 мм і ± 4 та ± 6 мкм за великих розмірів.

Під час настроювання нульового положення торець основи глибиноміра притискають до торця спеціальної встановлювальної міри 5, яку ставлять на плиті (рис. 2.81). Мікрогвинт притискають до поверхні плити, обертаючи тріскачку. Порядок установки головки на нуль такий самий, як у мікрометрів.

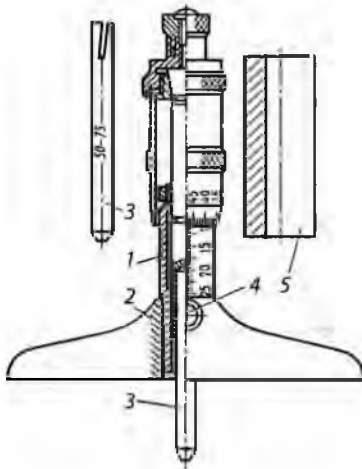


Рис. 2.80. Мікрометричний глибиномір

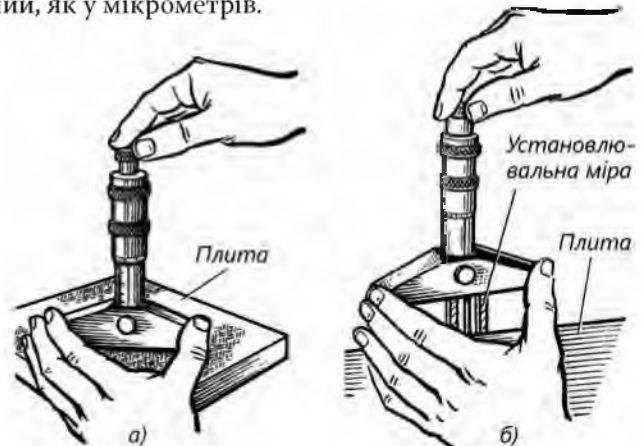


Рис. 2.81. Перевірка нульового положення мікрометричного глибиноміра:

а) якщо межі вимірювання 0–25 мм; б) якщо верхня межа вимірювання понад 25 мм (50, 75 і 100 мм)

Під час вимірювання мікрометричним глибиноміром (рис. 2.82) лівою рукою притискають основу до поверхні деталі, а правою рукою за допомогою тріскачки в кінці ходу вимірювального стрижня доводять вимірювальний стрижень до контакту з іншою поверхнею деталі і стопорять мікрогвинт.

Мікрометричний нутромір (ГОСТ 10–75) складається з мікрометричної головки 3, комплекту подовжувачів 2 і вимірювальних наконечників 1 (рис. 2.83) з межами вимірювань: 50...75, 75...175, 75...600, 150...1250, 800...2500, 1250...4000, 2500...6000, 4000...10000 мм. У нутромірив із верхньою межею вимірювання понад 2500 мм мікрометрична головка 5 оснащується індикатором годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, що дозволяє полегшити процес вимірювання. На подовжувачах від 300 мм і більших передбачені теплоізолювальні накладки 6. У комплект нутроміра входить також установлювальна міра 4.

Мікрометрична головка нутроміра (рис. 2.84, а) складається зі стебла *a*, у який запресовано вимірювальний наконечник 1. На циліндричну частину стебла запресовано гільзу біз поздовжньою (основною) шкалою. Ліва частина отвору в стеблі слугує гладкою напрямною для циліндричного хвостовика мікрометричного гвинта 5, стебла мікрометричної гайки, що переміщується в нарізній частині. Зазори в мікрометричній парі регулюють у результаті нагвинчування регулювальної гайки 8 на розрізну частину стебла, що має зовнішню конічну різь. Барабан 7 насаджують на циліндричну частину мікрометричного гвинта 5 до упору в буртик (з правого боку) і з'єднують із гвинтом затяжною гайкою 9. Вимірювальні поверхні мікрометричного гвинта 10 і вимірювального наконечника 1 –

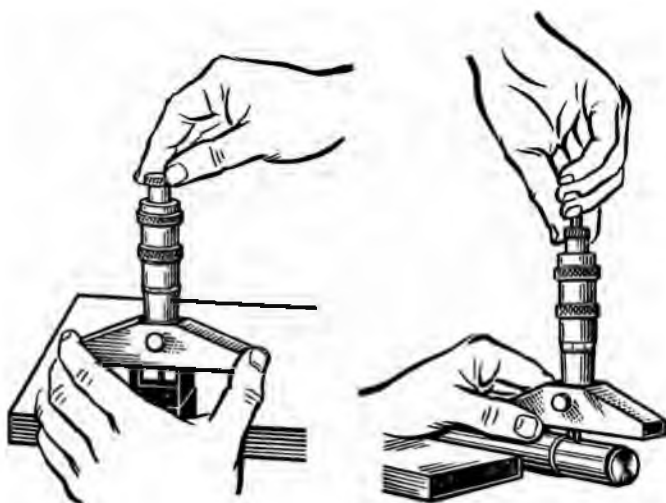


Рис. 2.82. Вимірювання мікрометричним глибиноміром

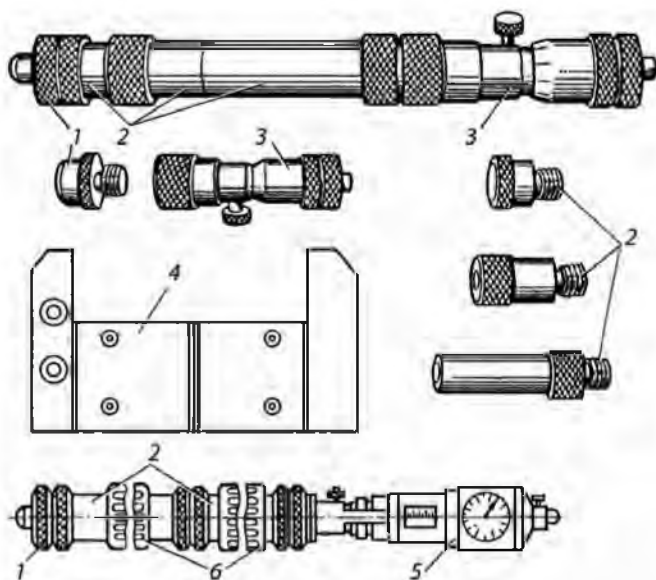


Рис. 2.83. Мікрометричні нутроміри

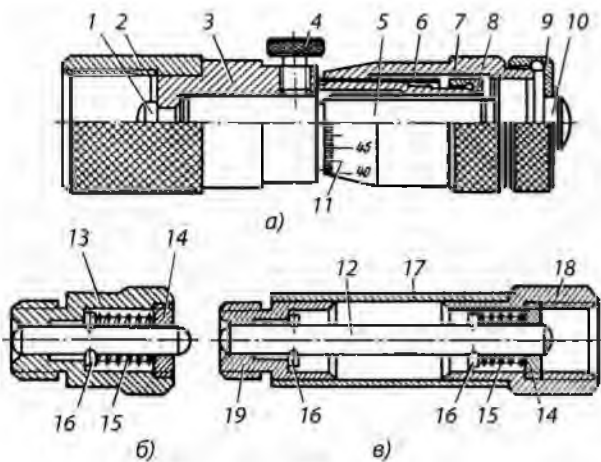


Рис. 2.84. Конструкція мікрометричної головки нутроміра (а), захисного наконечника (б), подовжувача (в)

ми вимірювальними поверхнями, але тільки включений у трубку 17. На кінцях трубки посаджені муфти із зовнішньою 19 та внутрішньою 18 різью. Пружина 15 відтискає стрижень усередину трубки, завдяки чому його вимірювальні поверхні захищені від пошкодження. Штифти 16 і гайка 14 оберігають стрижень від випадання з трубки.

Мікрометричний нутромір у зборі із захисним наконечником встановлюють на нуль по встановлювальній мір-скобі з розміром 75 мм (рис. 2.85). У разі незадовільного настроювання нуля ослаблюють на півоберта контргайку 3, повертають барабан до збігу нульової риски з поздовжньою лінією стебла, затягують контргайку 1 і відпускають гвинт 4. Потім перевіряють правильність встановлення. Після настроювання нутроміра на нуль його згвинчують із подовжувачами для отримання необхідного розміру і починають вимірювання (рис. 2.86).

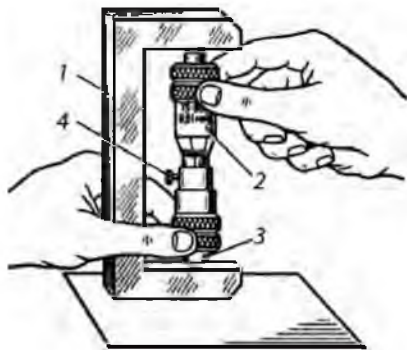


Рис. 2.85. Настроювання нутроміра за встановлювальною мірою 1

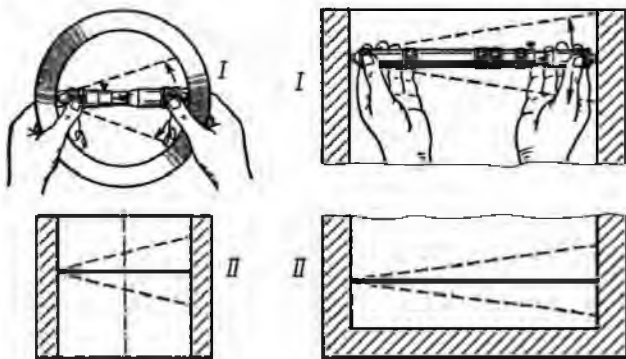


Рис. 2.86. Приклад вимірювання за допомогою мікрометричного нутроміра



Рис. 2.87. Мікрометричні нутроміри:
a – з аналоговою шкалою, *б* – із цифровою шкалою

Вимірювання внутрішніх розмірів нутроміром здійснюють таким чином. Уводять інструмент у простір між вимірювальними поверхнями (наприклад, в отвір). Установлюють один вимірювальний наконечник нутроміра на поверхню та обертають барабан головки до контакту другого вимірювального наконечника із протилежною поверхнею.

У процесі настроювання і вимірювання необхідно не тільки обертати барабан, а ще й похитувати зібраний нутромір у горизонтальній (*I*) і вертикальній (*II*) площинах для визначення мінімальної відстані між поверхнями.

Похибка вимірювання мікрометричними нутромірами двічі більша, ніж гладкими мікрометрами. Це пояснюється недостатньою вигинистою жорсткістю нутроміра. Похибка через прогин у нутромірах довжиною 4000–5000 мм становить 55 мкм. Велику похибку спричиняє відсутність пристрою для стабілізації вимірювального зусилля і складність установлення нутроміра у правильне положення під час вимірювання.

Мікрометричні нутроміри з аналоговою (рис. 2.87, *a*) і цифровою (рис. 2.87, *б*) шкалою мають ціну поділки (дискретність цифрової шкали) 0,001 мм і допустимі похибки 4...7 мкм залежно від діапазону вимірювань. Діапазони вимірювань – від 3,5...4 мм до 175...200 мм. Перевагою вказаних нутромірів є застосування трьох лінійних вимірювальних опор, які забезпечують оптимальне центрування приладу і положення лінії вимірювання відносно вимірюваних поверхонь.

2.4. ВАЖІЛЬНО-МЕХАНІЧНІ ПРИЛАДИ

2.4.1. Класифікація та призначення

Важільно-механічні прилади перетворюють малі відхилення розмірів виробів у зручні для відліку переміщення стрілки за шкалою.

Основні типи важільно-механічних передач, використовуваних у приладах: зубчасті, важільні, важільно-зубчасті, пружинні та важільно-пружинні.

Важільно-механічні прилади поділяють на три основні групи:

- 1) вимірювальні головки – знімні відлікові пристрої, призначені для оснащення приладів і контрольно-вимірювальних пристосувань;
- 2) прилади із знімними відліковими пристроями – індикаторні скоби, нутроміри і глибиноміри та ін.;
- 3) прилади із вбудованими відліковими пристроями – важільні скоби і мікрометри та ін.

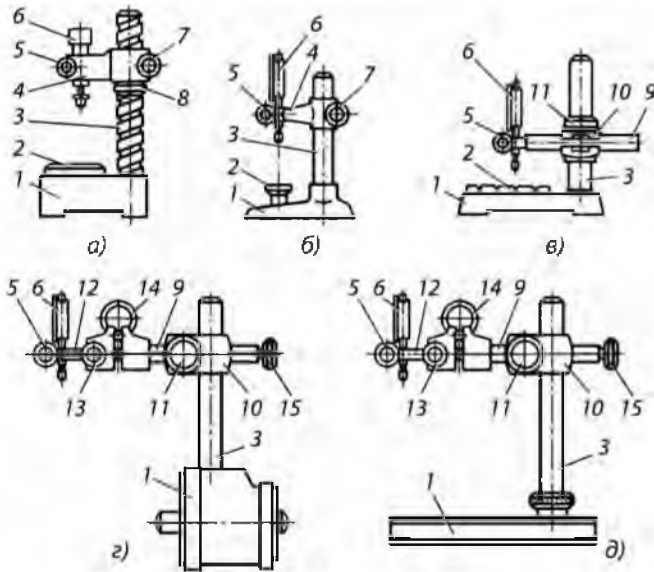


Рис. 2.88. Стойки і штативи

тив Ш-I...Ш-III (рис. 2.88, д), штативи з магнітною підставкою ШМ-I...ШМ-III (рис. 2.88, з). Тип стояка або штатива визначає ціна поділки вимірювальної головки: С-I – до 0,5 мкм; С-II – від 1 до 5 мкм; Ш-I і ШМ-I – від 2 до 5 мкм; С-III, Ш-II і ШМ-II – до 10 мкм; С-IV, Ш-III і ШМ-III – понад 10 мкм.

Стойки мають основу 1 з вимірювальним столом 2 і колонку 3 з кронштейном 4 або стрижнем 9. Вимірювальну головку 6 затискають на стояках гвинтом 5. Кронштейн можна переміщувати по колонці гайкою 8 і закріплювати гвинтом 7. Стрижень затискають у хомуті 10 гвинтом 11.

Штативи не мають вимірювального столу і їх застосовують при вимірюваннях на перевірних плитах і верстатах. Вимірювальні головки закріплюють у державці 12, яку затискають гвинтом 13 на стрижні 9, що має пружинні пальці 14 і гвинт 15 для тонкої установки на розмір. Призначення решти деталей штативів таке ж, як біля стояків.

2.4.2. Зубчасті вимірювальні головки

Зубчасті вимірювальні головки – індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм (ГОСТ 577–68) – виготовляють таких основних типів:

- ИЧ2, ИЧ5, ИЧ10 і ИЧ25 – переміщення вимірювального стрижня паралельно до шкали, діапазони вимірювань відповідно – 0...2, 0...5, 0...10 і 0...25 мм;
- ИТ2 – переміщення стрижня перпендикулярно до шкали і діапазон вимірювань 0...2 мм.

Індикатори типу ИЧ5 і ИЧ10 випускають у корпусі з діаметром 60 мм, а індикатори ИЧ2 і ИТ2 – у корпусі з діаметром 42 мм (малогабаритні).

Будову та принципову схему індикатора типу ИЧ показано на рис. 2.89, а. Основні вузли індикатора: циферблат 1 зі шкалою, обідок 2, стрілка 3, показчик 4 числа обертів стрілки, гільза 5, вимірювальний стрижень 6 із наконечником 7, корпус 8, вушко 9 та головка 10 стрижня. Гільза і вушко слугують для кріплення індикатора на стояках,

Прилади застосовують для вимірювання лінійних розмірів, а також відхилень розмірів від заданої геометричної форми – овальності, биття, огранки, прямолінійності і т. ін. Як правило, їх використовують для вимірювання методом порівняння з мірою. Якщо розміри виробів менші від діапазону показань приладу, то застосовують метод безпосередньої оцінки.

Вимірювальні головки встановлюють на стояках або штативах, що виконані за ГОСТом 10197–70, кількох типів: стояки С-I і С-II (рис. 2.88, а), стояки малогабаритні С-III (рис. 2.88, б), стояки С-IV (рис. 2.88, в), штативи Ш-I...Ш-III (рис. 2.88, д), штативи з магнітною підставкою ШМ-I...ШМ-III (рис. 2.88, з).

штативах і пристосуваннях. Поворотом обідка 2, на якому закріплений циферблат, стрілку суміщають із будь-якою поділкою шкали. За головку 10 стрижень відводять при встановленні виробу під вимірювальний наконечник.

Розглянемо принцип дії індикатора (рис. 2.89, б). Вимірювальний стрижень 12 переміщується в точних втулках напрямних 2, запресованих у гільзі корпусу. На стрижні нарізана зубчаста рейка 11, яка повертає триб 10 із числом зубів $z = 16$ (трибом у приладобудуванні називають зубчасте колесо із кількістю зубів $z = 18$). Зубчасте колесо 9 ($z = 100$), встановлене на одній осі з трибом 10, передає обертання трибу 8 ($z = 10$). На осі триба 8 закріплено стрілку 3. У зачепленні з трибом 8 знаходиться також зубчасте колесо 7 ($z = 100$), на осі якого закріплені покажчик 4 і втулка 6 із пружинним волоском 5, інший кінець якого прикріплений до корпусу. Колесо 7 під дією волоска забезпечує роботу всієї передачі приладу на одному боці профілю зуба і тим самим усуває мертвий хід передачі. Пружина 1 створює вимірювальне зусилля на стрижні.

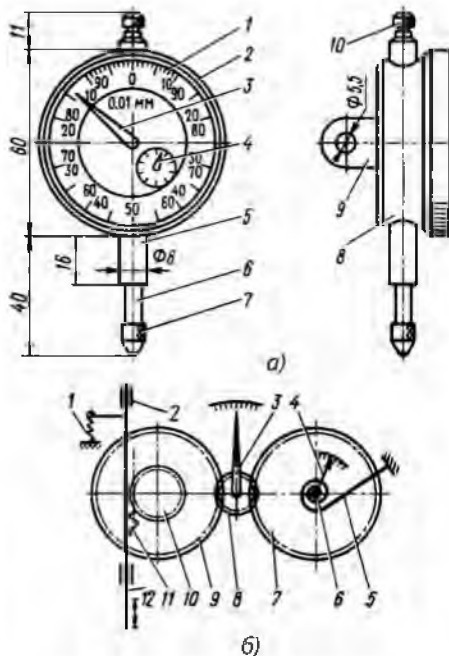


Рис. 2.89. Індикатор годинникового типу ИЧ

Передаточне відношення зубчастого механізму виконане так, що при переміщенні вимірювального стрижня на відстань $l = 1$ мм стрілка здійснює повний оберт, а покажчик повертається на одну поділку. Шкала індикатора має число поділок $n = 100$. Ціна поділки шкали циферблата $C = l/n = 1/100 = 0,01$ мм.

У корпусі малогабаритних індикаторів ИЧ-2 не можна розмістити повні зубчасті колеса з кількістю зубів $z = 100$, тому вони замінені зубчастими секторами.

Торцеві індикатори ИТ (рис. 2.90) мають такі ж основні елементи і ціну поділки шкали, як індикатори ИЧ, проте переміщення вимірювального стрижня передається рейці зубчастого механізму через двоплечий важіль, який має передаточне відношення, що дорівнює одиниці. Індикатори ИТ правильніше віднести до важільно-зубчастих приладів.

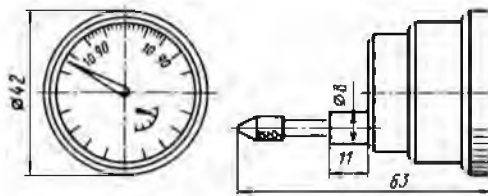


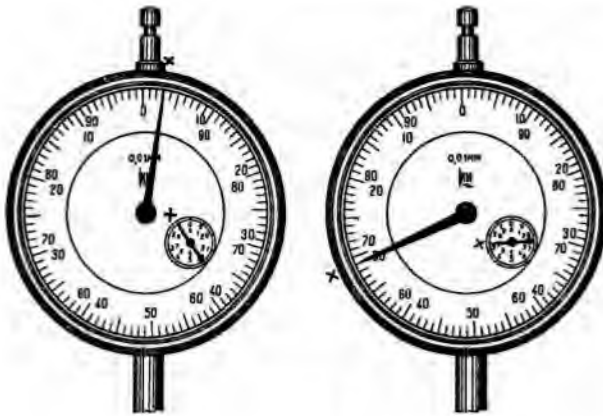
Рис. 2.90. Торцевий індикатор типу ИТ

Індикатори годинникового типу випускають класів точності 0 і 1. Основні допустимі похибки цих індикаторів наведено у табл. 2.1.

Під час читання показань (рис. 2.91) ціле число міліметрів відлічують за стрілкою покажчика обертів за

Таблиця 2.1. Допустимі похибки індикаторів годинникового типу

Клас точності	Допустима похибка, мкм, у межах ділянки шкали, мкм					
	0,1	1	0...2	0...5	0...10	0...25
0	4	8	10	12	15	22
1	6	10	12	16	20	30



Прямий хід: $1 \text{ мм} + 0,03 \text{ мм} = 1,03 \text{ мм}$ Прямий хід: $2 \text{ мм} + 0,69 \text{ мм} = 2,69 \text{ мм}$
 Зворотний хід: $8 \text{ мм} + 0,97 \text{ мм} = 8,97 \text{ мм}$ Зворотний хід: $7 \text{ мм} + 0,31 \text{ мм} = 7,31 \text{ мм}$

Рис. 2.91. Читання показань

стояка або в державці штатива (див. рис. 2.88, 2.92), встановленого на плиті. Для індикаторів годинникового типу використовують штативи Ш-ІІ і стояки С-ІV (див. рис. 2.88, в). Перед виконанням вимірювань індикатор необхідно настроїти.

При настроюванні індикатора для відносних вимірювань (рис. 2.92, а) на плиту або стіл стояка встановлюють блок кінцевих мір, розмір якого дорівнює номінальному розміру виробу. При абсолютних вимірюваннях міри не використовують (рис. 2.93).

Опускають індикатор по колонці так, щоб накопичник зіткнувся з поверхнею міри або плити і стрілка відхилася від нульового положення. Попереднє відхилення стрілки називають натягом

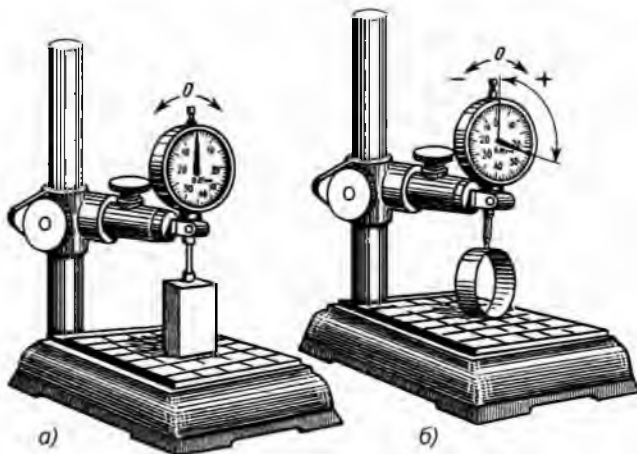


Рис. 2.92. Настроювання та вимірювання індикатором:

а – настроювання; б – вимірювання

малою шкалою. Соті частки міліметра відлічують за стрілкою за великою шкалою. При підйомі вимірювального стрижня (прямий хід) показання читають по зовнішніх цифрах великої шкали (збільшення за годинниковою стрілкою). При опусканні вимірювального стрижня (зворотний хід) показання читають по внутрішніх цифрах великої шкали (збільшення проти годинникової стрілки).

Вимірювання індикатором

Під час роботи з індикатором його закріплюють на кронштейні

стояка або в державці штатива (див. рис. 2.88, 2.92), встановленого на плиті. Для індикаторів годинникового типу використовують штативи Ш-ІІ і стояки С-ІV (див. рис. 2.88, в). Перед виконанням вимірювань індикатор необхідно настроїти.

При настроюванні індикатора для відносних вимірювань (рис. 2.92, а) на плиту або стіл стояка встановлюють блок кінцевих мір, розмір якого дорівнює номінальному розміру виробу. При абсолютних вимірюваннях міри не використовують (рис. 2.93).

Опускають індикатор по колонці так, щоб накопичник зіткнувся з поверхнею міри або плити і стрілка відхилася від нульового положення. Попереднє відхилення стрілки називають натягом

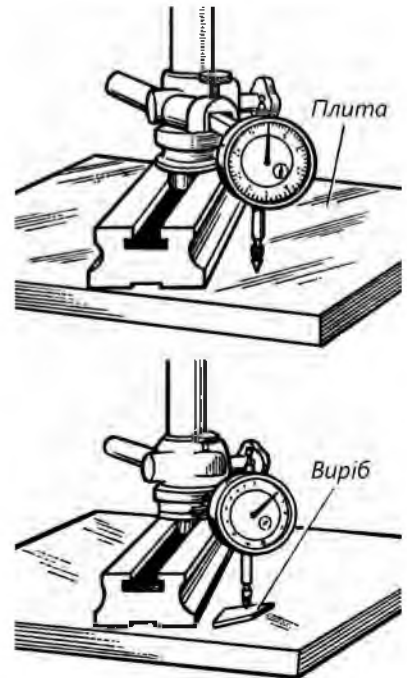


Рис. 2.93. Вимірювання абсолютним методом

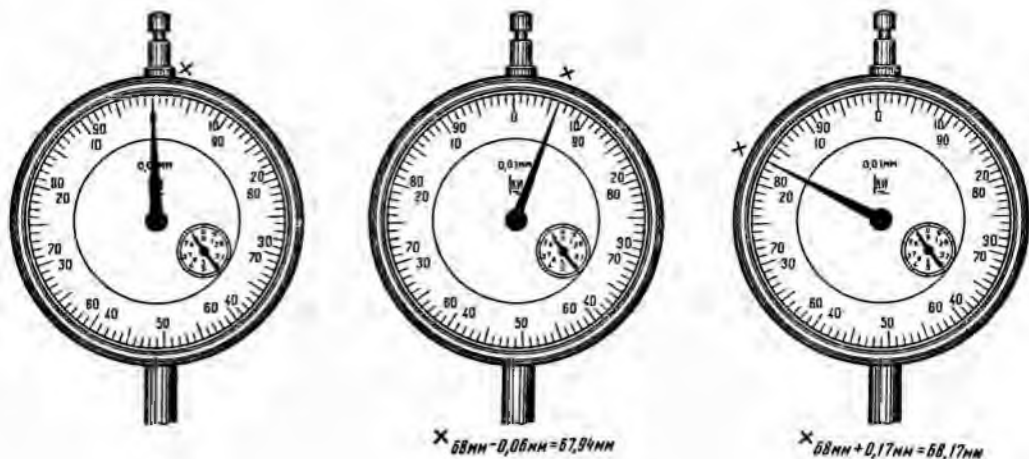


Рис. 2.94. Підрахунок дійсних розмірів

приладу. Значення натягу має бути більше, ніж допустимі відхилення розміру виробу від номінального значення. Звичайно дають стрілці зробити один оберт.

Зафіксувавши положення індикатора, шкалу встановлюють на нульове положення, повертаючи обідок. Піднімаючи та опускаючи вимірювальний стрижень за головку, перевіряють постійність показань індикатора. Якщо спостерігається відхилення стрілки від нуля, настроювання повторюють. Відвівши стрижень, знімають блок мір.

Вимірювання виконують у такому порядку: підвівши наконечник приладу, встановлюють на стіл або плиту виріб; потім опускають наконечник на поверхню виробу і виконують відлік показань. За покажчиком числа обертів малої стрілки знаходять число міліметрів у розмірі. Дробова частка розміру дорівнює числу поділок циферблата проти стрілки, помноженому на $C = 0,01$ мм. При обертанні великої стрілки проти годинникової стрілки відлік за індикатором додають із довжиною блоку кінцевих мір, у іншому разі – віднімають (рис. 2.94).

Сфера застосування індикаторів розширюється завдяки використанню пристосувань. Струбцина для установки індикатора на вали (рис. 2.95, а) має скобу 5 із губкою 6, яку переміщують гвинтом 7. До струбцини пригвинчують стрижень 4 із хомутом 3



Рис. 2.95. Пристосування до індикаторів:

а – струбцина; б – прямий важіль; в – кутовий важіль

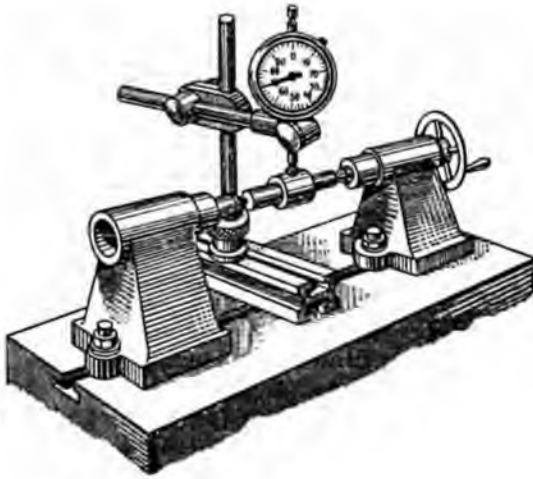


Рис. 2.96. Установка для контролю радіального биття валів

для кріплення державки 2 з індикатором 1. Прямий (рис. 2.95, б) та кутовий (рис. 2.95, в) важелі застосовують при вимірюваннях у важкодоступних місцях. Важелі 2 під дією вимірювального стрижня 5 індикатора повертаються навколо осі 3 кронштейнів 4, прикріплених до гільзи індикатора, і впираються сферичними наконечниками 1 у поверхню виробу.

Разом зі стояками та пристосуваннями індикатори широко використовують в установках для контролю зовнішнього та внутрішнього радіального і торцевого биття циліндричних поверхонь деталей. На рис. 2.96 показано установку контролю радіального биття валів.

2.4.3. Важільно-зубчасті вимірювальні головки

До важільно-зубчастих вимірювальних головок належать однооборотні індикатори ІГ (ГОСТ 18833–73) та багатооборотні індикатори МІГ, що мають ціну поділки 0,001 і 0,002 мм.

Індикатор ІГ (рис. 2.97, а) складається з корпусу 1, циферблата 2, стрілки 3, аретира 4, приєднувальної гільзи 5, вимірювального стрижня 6, наконечника 7, покажчика 9 поля допуску виробу і гвинта 8 точного встановлення механізму в нульове положення. Аретир (важіль) необхідний для підйому вимірювального стрижня перед встановленням виробу.

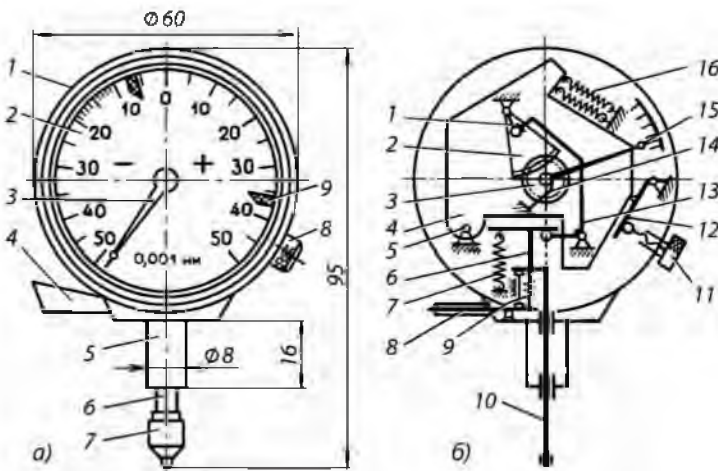


Рис. 2.97. Вимірювальна головка ІГ:
а – зовнішній вигляд; б – схема

Механізм головки ІГ (рис. 2.97, б) складається з двох нерівноплечих пар важелів і однієї зубчастої передачі. Переміщення вимірювального стрижня 10 через важіль 6 передається малому плечу важеля 13. Велике плече важеля 13 передає рух важелю 1 зубчастого сектора 2. Зубчастий сектор обертає триб 3, на осі якого встановлені стрілка 15 і втулка зі спіральним волоском 14, що знімає зазори в передачі. Вимірювальне зусилля створюють дві пружини 7,

прикріплені до важеля 6. Увесь механізм індикатора змонтовано на платі 4, яку для встановлення на нуль повертають навколо осі 5 і пружинами 16 притискають через важіль 12 до встановлювального гвинта 11. Аретир 8 у вільному стані віджимає від важеля 6 пружина 9.

Головним недоліком однооборотних головок є вузький діапазон показань $\pm(0,05-0,10)$ мм.

Багатооборотні вимірювальні головки (індикатори) мають достатньо великий діапазон показань (1–2 мм) за ціни поділки 0,001–0,002 мм. Відповідно до ГОСТу 9696–82 виготовляють головки типів 1МИГ і 2МИГ, замість застарілих 1ИГМ і 2ИГМ. Проте ще значна кількість таких головок перебуває в експлуатації на підприємствах.

Багатооборотний індикатор МИГ має ті ж основні вузли, що й індикатор ИГ. На циферблаті нанесено 200 поділок кругової шкали і розміщений покажчик кількості обертів стрілки, повне число обертів якої дорівнює 5. Механізм багатооборотного індикатора (рис. 2.98, а) містить два важелі і дві зубчасті передачі. Переміщення вимірювального стрижня 1 передається важелю 11, а потім важелю 10 зубчастого сектора 2, який перебуває в зачепленні з трибом 4. Зубчасте колесо 5, посажене на одну вісь із трибом 4, обертає триб 3 і закріплену на його осі стрілку 6. На осі зубчастого колеса 8, що зачіпляється з трибом 3, установлений покажчик 7 числа обертів стрілки і пружинний волосок 9.

Увесь механізм багатооборотного індикатора (рис. 2.98, б) зібраний на платі 2, яку пружини 1 притискають до упора важеля 3 і гвинта 4 установлення індикатора на нуль. Штифт 5 забезпечує рух вимірювального стрижня без повороту, а гвинт 6 обмежує нижнє положення стрижня.

Основні допустимі похибки важільно-зубчастих вимірювальних головок наведено у табл. 2.2.

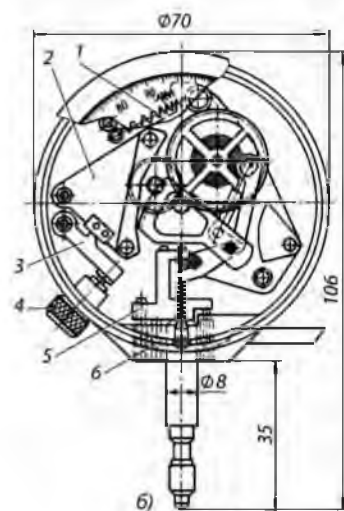
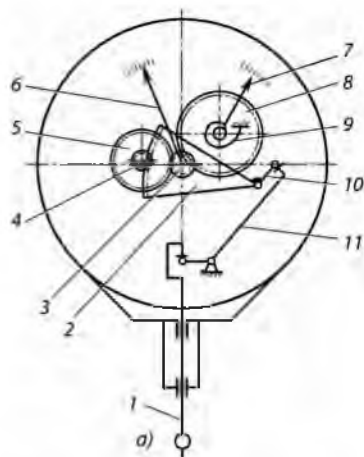


Рис. 2.98. Схема багатооборотного індикатора типу МИГ:

а – схема; б – механізм

Таблиця 2.2. Метрологічні показники індикаторів

Тип індикатора	Ціна поділки	Межі вимірювання	Допустимі похибки, мкм, на ділянці шкали від нульового штриха в межах				
			200 ділень	1		± 30 ділень	$> \pm 30$ ділень
				мм			
1ИГ	0,001	$\pm 0,05$	–	–	–	0,4	0,7
2ИГ	0,002	$\pm 0,1$	–	–	–	0,8	1,2
1МИГ	0,001	1	2	2,5	–	–	–
1МИГП	0,001	1	1,5	1,8	–	–	–
2МИГ	0,002	2	3	4,0	5	–	–
2МИГП	0,002	2	2,5	3	3,5	–	–



Рис. 2.99. Електронний індикатор підвищеної точності

Важільно-зубчасті головки під час вимірювань установлюють на стоек С-III і штативи Ш-І. При настроюванні індикаторів ИГ на розмір по блоку кінцевих мір кронштейн з індикатором опускають по колонці стойка так, щоб вимірювальний наконечник торкнувся міри і стрілка встановилася біля нульового положення. Потім поворотом шкали стрілку встановлюють на нуль і проводять кілька разів аретирування (підняття та опускання) стрижня, перевіряючи правильність настроювання. За показаннями приладу знаходять як відхилення розміру виробу від розміру міри, так і його знак. Вимірювання багатоборотними індикаторами виконують так само, як індикаторами годинникового типу.

Електронні індикатори підвищеної точності (рис. 2.99) мають цифрову шкалу з дискретністю 0,001 мм і діапазон вимірювань до 25 мм.

2.4.4. Пружинні вимірювальні головки

Пружинні вимірювальні головки є найбільш точними важільно-механічними приладами. Їх випускають трьох основних типів:

- 1) ИГП – мікрокатори (ГОСТ 6933–81);
- 2) ИГМ – мікатори (ГОСТ 14712–79);
- 3) ИРП – мінікатори (ГОСТ 14711–69).

Як чутливий елемент у цих приладах (рис. 2.100, а; 2.101, а; 2.102, а) використовується спеціальна стрічкова пружина 2, скручена спірально від середини у різні боки і закріплена по кінцях на плоских пружинах. До середини пружини приклеєно стрілку 3. Переміщення вимірювального стрижня 7 викликає зміну довжини пружини 2 і поворот її середньої частини. Зсув стрілки щодо шкали приладу пропорційний переміщенню вимірювального стрижня. Переваги пружинних передач: висока чутливість стрічкових пружин, що забезпечує велику точність вимірювань; відсутність зовнішнього тертя і мінімальна різниця прямого та зворотного ходу.

У мікрокаторів (рис. 2.100, а) стрічкова пружина 2 закріплена на косинці 1 і консольній пружині 4, встановленій на кутовому виступі. Змінюючи положення пружини 4 за допомогою гвинтів, якими вона кріпиться до виступу, регулюють натягнення стрічкової пружини і встановлюють прилад на нуль. Вимірювальний стрижень 7 підвішений на мембранах 6 і жорстко зв'язаний із косинцем 1. Переміщення стрижня викликає поворот косинця навколо точки а і розтягування пружини. Вимірювальне зусилля створює пружина 5.

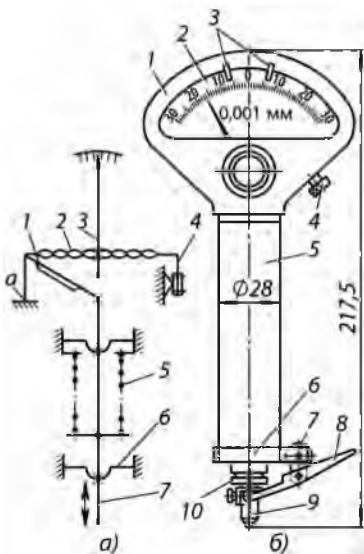


Рис. 2.100. Пружинна вимірювальна головка ИГП: а – схема; б – зовнішній вигляд

Пружинна передача мікрокатора (рис. 2.100, б) розміщена в корпусі 1, до якого приєднано вимірювальну гільзу 5. Положення шкали 2 регулюється в межах ± 5 поділок гвинтом 4 для встановлення приладу на нуль. Показчики 3 поля допуску переміщуються важелями, розміщеними на задній стороні корпусу. На кінці гільзи за допомогою хомуטה 6, що затискається гвинтом 7, встановлено аретир 8, сполучений із вимірювальним наконечником 9 зі сферичною поверхнею. Фіксатором 10 вимірювальний стрижень затискають при транспортуванні.

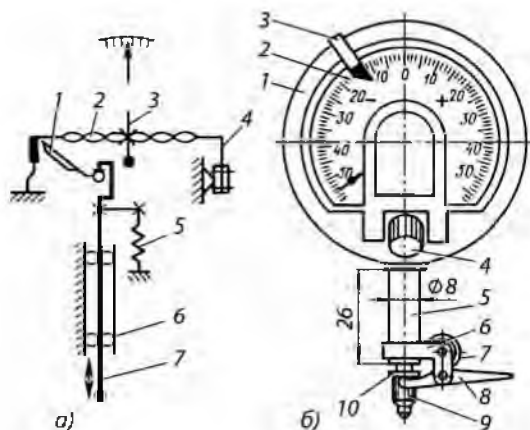


Рис. 2.101. Пружинна вимірювальна головка ИПМ:

а – схема; б – зовнішній вигляд

Мікрокатори застосовують для високоточних відносних вимірювань розмірів, а також відхилень форми виробів зі стояками С-I та С-II і пристосуваннями, що мають приєднувальний діаметр 28 мм. При настроюванні на нульове положення по блоку кінцевих мір використовується мікроподача столу стояка (рис. 2.103). Випускають також мікрокатори ИГПУ та ИГПР зі зменшеним і регульованим вимірювальним зусиллям, ИГПГ із герметизованим корпусом і ИГПВ вібростійкі.

Мікатори (рис. 2.101, б) можуть використовуватись як відлікові пристрої у різних приладах та пристосуваннях. Призначення вузлів і деталей та їх позначення на рис. 2.101 такі ж, як на рис. 2.100. Зважаючи на невеликий діаметр (8 мм) гільзи 5 (рис. 2.101, б), вимірювальний стрижень переміщується в кулькових напрямних 6 (рис. 2.101, а) і шарнірно зв'язаний із важелем 1, до якого прикріплено кінець пружини 2.

Настроювання і вимірювання мінікаторами та мікрокаторами здійснюється таким же чином, як і під час роботи з індикаторами.

Основні параметри пружинних вимірювальних головок наведено у табл. 2.3.

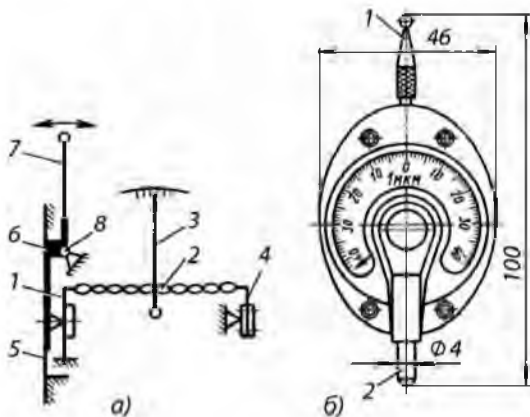


Рис. 2.102. Важільно-пружинна головка ИРП (мінікатор):

а – схема; б – зовнішній вигляд

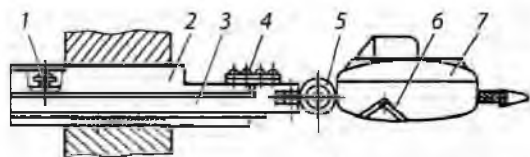


Рис. 2.103. Установлення мікатора в державку

Таблиця 2.3. Основні параметри пружинних головок різних типів

Тип головки	Ціна поділки шкали	Діапазон вимірювань	Допустима похибка на будь-якій ділянці шкали		Розмах показань у подіаках шкали
			мкм		
Мікрокатори			Число поділок		1/3
			Δо 30	> 30	
01 ИГП	0,1	±4	0,1	0,15	
02 ИГП	0,2	±6	0,15	0,2	1/4
05 ИГП	0,5	±15	0,25	0,4	
1 ИГП	1	±30	0,4	0,6	
2 ИГП	2	±60	0,8	1,2	1/4
5 ИГП	5	±150	2,0	3,0	
10 ИГП	10	±300	3,0	5,0	
Мікатори			Число поділок		1/2
			Δо 30	Δо 60	
02-ИПМ	0,2	±10	0,15	0,3	
05-ИПМ	0,5	±25	0,3	0,5	1/4
1-ИПМ	1	±50	0,5	1,0	1/5
2-ИПМ	2	±100	1,0	2,0	
Мінікатори			Число поділок		1/3
			Δо 20	Δо 40	
ИРП	1	±40	0,5	1	
	2	±80	1	2	

2.4.5. Важільні мікрометри і скоби з відліковим пристроєм

Для вимірювання зовнішніх розмірів із підвищеною точністю застосовують важільні мікрометри і скоби з відліковими пристроями.

Важільні мікрометри (ГОСТ 4381–80), на відміну від гладких мікрометрів, замість нерухомо запресованої п'яти мають рухомий вимірювальний наконечник, з'єднаний або із вбудованим у корпус відліковим пристроєм (рис. 2.104, а, б), або з вимірювальною головкою (рис. 2.104, в). Другим вимірювальним наконечником є торець з мікрогвинта. Таким чином, у важільних мікрометрах обидва вимірювальні наконечники пов'язані з відліковими пристроями.

Важільний мікрометр типу МР (рис. 2.104, б) складається з традиційної мікрометричної головки (стебла 4, барабана 6, мікрометричного гвинта 5 і мікрогайки 7) і важільно-зубчастого шкального відлікового пристрою, змонтованого в корпусі скоби. Ціна поділки шкали цьо-

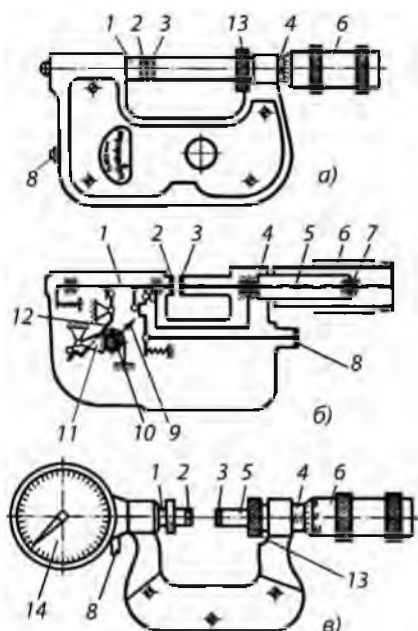


Рис. 2.104. Важільний мікрометр

го пристрою дорівнює 0,002 мм. При вимірюванні виробу стрижень 1 із вимірювальною поверхнею 2 передає рух через важіль 12 на зубчастий сектор 11, що зачіпляється з малим колесом (трибом) 10, на осі якого встановлено стрілку 9. Для відведення вимірювального стрижня 1 прилад забезпечений аретируючим пристроєм, що працює від кнопки 8. У важільному мікрометрі відсутній запобіжний механізм із тріскачкою. Його функції виконує важільно-зубчастий механізм, який створює вимірювальне зусилля.

Мікрометри типу МР мають діапазон вимірювання 0–25, 25–50, 50–75, ..., 150 мм. Ці мікрометри мають вбудовані відлікові пристрої із ціною поділки 0,002 мм і межами вимірювань $\pm 0,03$ мм (для конструкції, зображеної на рис. 2.104, а) і $\pm 0,14$ мм (рис. 2.104, б).

При вимірюванні розмірів понад 150 мм використовують індикаторні мікрометри типу МРІ з індикатором годинникового типу 14 із ціною поділки 0,01 мм (рис. 2.104, в). Діапазон вимірювання цих мікрометрів 150–200, 250–300, 300–400, ..., 900–1000, 1000–1200, ..., 1800–2000 мм.

Установлення на нуль важільних мікрометрів проводять за допомогою встановлювальних або кінцевих мір (для розмірів понад 25 мм). Міру вводять між вимірювальними поверхнями, обертають мікрогвинт 5 доти, доки стрілка відлікового пристрою не опиниться в нульовому положенні. Потім фіксують мікрогвинт стопорною гайкою 13 і встановлюють барабан у нульове положення щодо поздовжньої лінії на стеблі.

Вимірювання важільним мікрометром можна здійснювати методом безпосередньої оцінки і методом порівняння з мірою. У першому випадку барабан мікрометричної головки обертають так, щоб вимірювальні поверхні зіткнулися з поверхнею виробу, а стрілка відлікового пристрою встановилася на нуль. Після цього барабан повертають до збігу штриха кругової шкали барабана з поздовжньою лінією стебла. Відлік за стрілочним пристроєм додають або віднімають від відліку за мікрометричною голівкою залежно від знака.

Для вимірювання методом порівняння спочатку проводять настроювання важільного мікрометра на розмір за кінцевою мірою і фіксують мікрогвинт стопорною гайкою. Потім проводять вимірювання, знімаючи відхилення вимірюваних розмірів від установлювального значення за показаннями шкального пристрою. Незважаючи на додаткові витрати часу, пов'язані з установленням приладу на розмір, цей спосіб є більш продуктивним і точним порівняно з першим, і його рекомендують до застосування для вимірювання партії деталей.

Скоби з відліковим пристроєм відповідно до ГОСТу 11098–75 виготовляють двох типів: СР – важільні із вбудованими в корпус відліковими пристроями та індикаторні, оснащені вимірювальними головками.

Важільні та індикаторні скоби застосовують для перевірки розмірів партії деталей, відхилень форми (овальності, конусоподібності і т. ін.), сортування деталей за групами. Рекомендують також застосовувати ці скоби для контролю розмірів тонкостінних деталей, що легко деформуються. Важільними скобами контролюють деталі, виготовлені за 7-м квалітетом, а індикаторними – за 9-м і грубішим. Скоби типу СР мають ціну поділки 0,002 мм і діапазон вимірювання від 0 до 150 мм (0–25, 25–50, ..., 125–150 мм).

На рис. 2.105, а показано важільну скобу, що складається з корпусу 1, у який вставлено плату, із зібраним на ній важільно-зубчастим механізмом, аналогічним механізму важільного мікрометра, і шкалою 4. На шкалі розміщені рухомі покажчики-обмежувачі 3 нуля допуску. Покажчики-обмежувачі встановлюють у необхідне

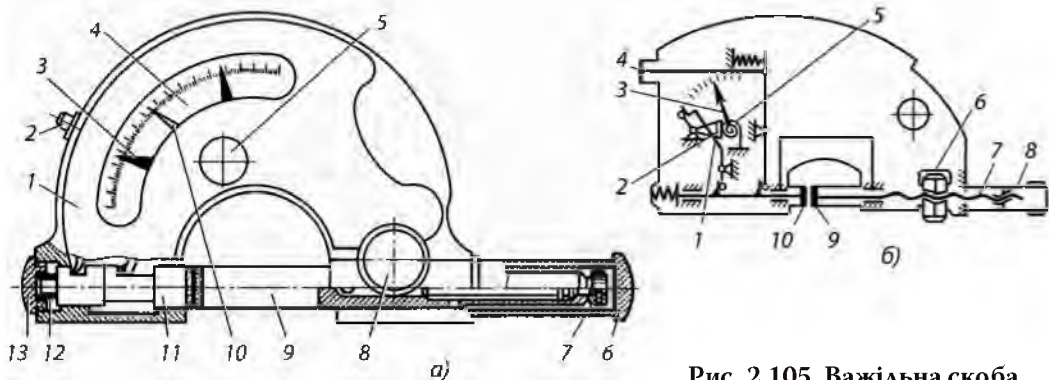


Рис. 2.105. Важільна скоба

положення спеціальним ключем, знявши верхню кришку 5. У напрямних корпусу 1 можуть переміщуватися регульована вимірювальна п'ята 9, яка в процесі вимірювання залишається нерухома, і п'ята 11. Пружина 12 створює вимірювальне зусилля. Для регулювання вимірювального зусилля при збиранні і ремонті скоби в конструкції передбачений ковпачок 13.

Перед вимірюванням скобу настроюють на розмір за блоком кінцевих мір. Для цього регульовану п'яту 9 переміщують, обертаючи головку 7 гвинта подачі, до контакту п'ят 9 та 11 із настроювальним блоком і встановлення стрілки 10 у нульове положення. Фіксують регульовану п'яту 9 стопорним затискачем 5 і закривають гвинт 7 захисним ковпачком 6. Регульована п'ята 9 має діапазон переміщень 25 мм.

З метою зменшення зношування і запобігання пошкодженню вимірювальних поверхонь при установці деталі рухому п'яту 11 відводять від деталі за допомогою аретира 2.

Є важільні скоби, що мають збільшений діапазон показань. У корпус цих скоб уставлено уніфікований важільно-зубчастий механізм. Схему такої скоби наведено на рис. 2.105, б. Скоба складається з регульованої (нерухомої під час вимірювань) п'яти 9 і рухомої п'яти 10. Переміщення рухомої п'яти 10 через важіль 1 і зубчастий сектор 2 передається на центральне зубчасте колесо 5, на осі якого посаджено стрілку 3. Скоба має аретир 4.

При настроюванні скоби на розмір гвинт 7 за допомогою гайки 6 переміщує регульовану п'яту 9. Після встановлення на розмір на гвинт 7 нагвинчують ковпачок 5, який виконує роль контргайки і стопорить гвинт 7 у необхідному положенні.

Окрім збільшеного діапазону показань, скоба має низку переваг порівняно з попередньою моделлю. У конструкції нової скоби контактні елементи важільної передачі виконані з твердого сплаву. До корпусу скоби вставлені загартовані сталеві втулки, що виконують роль напрямних рухомої вимірювальної п'яти 10. Корпус скоб оснащено ефективними теплоізоляційними накладками. Усе це дало змогу суттєво збільшити надійність та довговічність скоби.

Індикаторні скоби (рис. 2.106) як відліковий пристрій мають індикатор годинникового типу. Ціна поділки у цих приладах становить 0,01 мм, а межі вимірювань 0–50, 50–100, 100–200, ..., 600–700, 700–850, 850–1000 мм. Регульована п'ята у них може переміщуватися на 50 мм. Деякі типорозміри індикаторних скоб мають у наборі дві або три змінні регульовані п'яти. Діапазон показань цих приладів достатньо великий

і становить при використанні індикаторів годинникового типу 10 мм.

У корпусі індикаторної скоби 9, оснащеному теплоізоляційними накладками 10, встановлено радіатор годинникового типу 6. Є дві вимірювальні п'яти – регульована 2 і рухома 4. Для правильного встановлення контрольованих деталей прилад забезпечений регульованим упором 3. При вимірюванні великих розмірів цим упором, як правило, не користуються. Вимірювальне зусилля створює пружина 5. Кріплять індикатори і регульовану п'яту 2 відповідно затискними гвинтами 7 та 11. Установлення скоби на розмір проводять у такому порядку. Відкрутивши стопорний гвинт 11, відводять регульовану п'яту 2 вниз приблизно на значення встановлюваного розміру. Потім аретиром 8 відводять рухому п'яту 4 у крайнє положення. Між вимірювальними поверхнями обох п'ят уводять блок кінцевих мір, відповідний номінальному розміру виробу, і відпускають аретир 8. Після цього переміщують регульовану п'яту 2, щоб створити попередній натяг вимірювального наконечника індикатора, на один оберт стрілки до нульового положення. Цей прийом необхідний для вимірювання від'ємних відхилень. Настроївши прилад на розмір, фіксують положення п'яти 2 стопорним гвинтом 11. За необережного користування скобою можна порушити настроювання, тому п'яту 2 закривають захисним ковпачком 1. Потім відводять аретиром 8 рухому п'яту 4 і знімають установлювальну кінцеву міру. У процесі вимірювання деталі за шкалою відлікового пристрою визначають відхилення розміру (зі знаком) від настроювального.

У скобах, які використовують для вимірювання малих діаметрів, вимірювальні поверхні п'ят – плоскі для полегшення настроювання приладу. Скоби для вимірювання великих розмірів мають регульовану п'яту з плоскою поверхнею, а рухому – зі сферичною.

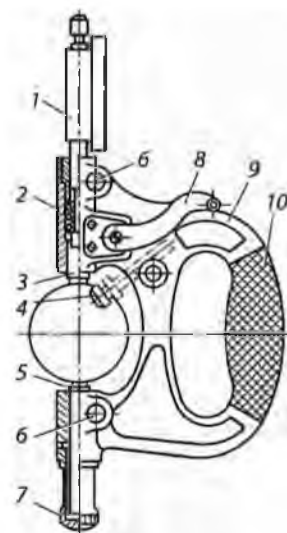


Рис. 2.106. Індикаторна скоба

2.4.6. Індикаторні нутроміри та глибиноміри

Для визначення дійсних розмірів діаметрів отворів широко застосовують індикаторні нутроміри (ГОСТ 868–82). Вимірювання цими приладами здійснюють методом порівняння з мірою, прочитуючи з відлікового пристрою відхилення (зі знаком) від нульового положення, відповідного номінальному значенню розміру.

Конструкція нутромірів залежить від меж вимірювання (рис. 2.107), розмірів, що знаходяться в діапазоні 0...1000 мм.

Показана на рис. 2.107 конструкція характерна для нутромірів із межею вимірювань понад 18 мм. Ціна поділки у цих приладах становить 0,01 мм, діапазон показань за шкалою – до 10 мм.

Регульований (нерухомий під час вимірювання) наконечник 11 вкручують у втулку 9 і контрять після настроювання на розмір гайкою 10. Із другого кінця втулки 9 розташований вимірювальний стрижень 14, переміщення якого через кутовий важіль 8 із запресованими кульками 13 і стрижень 7 передається на індикатор 1. Вимірювальне зусилля, що забезпечує надійний контакт п'ят наконечника і стрижня з по-

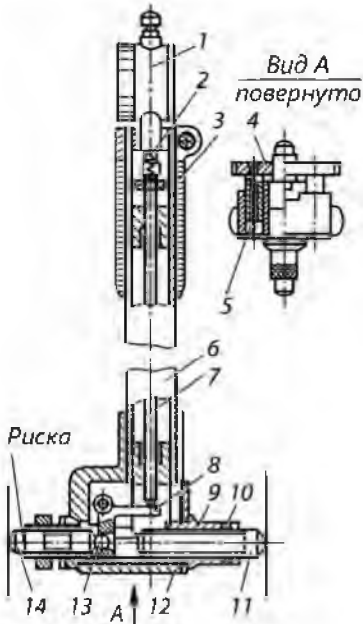


Рис. 2.107. Індикаторний нутромір

верхню вимірюваного отвору, створює пружина 2 та індикатор 1. Стрижень 7 розміщений усередині трубки 6, що має теплоізоляційну накладку 3.

У корпусі нутроміра 12 є отвори, куди входять напрямні стрижні центрального містка 4. Під дією пружин 5 центрувальний місток знаходиться в крайньому висунутому стані. Після введення нутроміра у вимірюваний отвір центрувальний місток під дією цих пружин притискається до поверхні, забезпечуючи розміщення п'ят по лінії діаметра отвору.

Нутромір укомплектовують змінними вимірювальними наконечниками (поз. 11), які підбирають та вкручують у корпус нутроміра залежно від розміру отвору і меж вимірювання. Наконечник має бути висунутий настільки, щоб риска, нанесена на вимірювальному стрижні, збіглася з торцем втулки 9. Це забезпечить установа плечей важеля 8 у положення, перпендикулярне осям стрижнів 14 та 7, і зменшить похибку вимірювання.

При вимірюваннях нутромірами виникають похибки внаслідок зсуву лінії вимірювання щодо діаметра отвору (рис. 2.108, а) і перекосу нутроміра в отворі (рис. 2.108, б). Лінію вимірювання встановлюють по діаметру отвору за допомогою центрального містка. Похибки центрування не перевищують 3 мкм. Похибки перекосу зменшують, похитуючи нутромір у площині осевого перетину отвору (рис. 2.109, а). За найменших показань приладу лінія вимірювання збігається з діаметральною площиною отвору.

Похибки форми отвору можна врахувати, якщо зміряти діаметри отвору за двома взаємно перпендикулярними напрямками у двох перерізах по висоті (рис. 2.109, б).

Підготовка до вимірювань внутрішніх розмірів передбачає підбір необхідного вимірювального наконечника за номінальним розміром виробу, встановлення його в нутромір, створення для індикатора годинникового типу натягу, що дорівнює 1 мм (один оберт великої стрілки) при встановленні нутроміра на номінальний розмір виробу.

Підготовка до вимірювань внутрішніх розмірів передбачає підбір необхідного вимірювального наконечника за номінальним розміром виробу, встановлення його в нутромір, створення для індикатора годинникового типу натягу, що дорівнює 1 мм (один оберт великої стрілки) при встановленні нутроміра на номінальний розмір виробу.

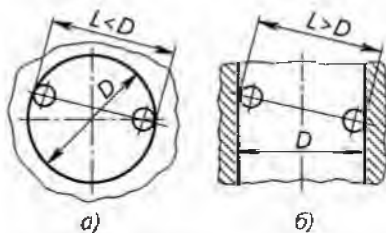


Рис. 2.108. Похибки при вимірюваннях нутромірами:

а – від зсуву лінії вимірювання; б – від перекосу нутроміра

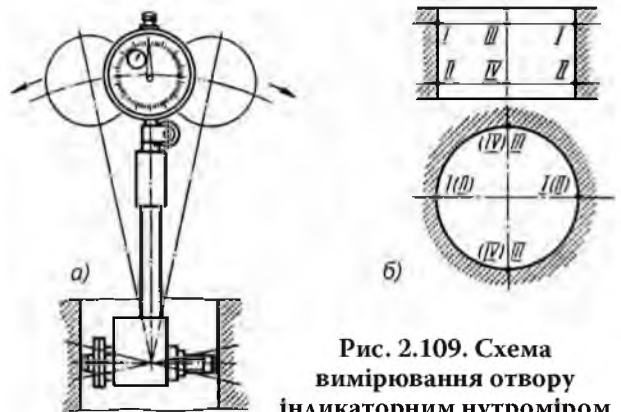


Рис. 2.109. Схема вимірювання отвору індикаторним нутроміром

Прилад устанавляють на заданий розмір (у нульове положення) одним із трьох способів: по атестованому калібру-кільцю (рис. 2.110, *а*); по блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини (ПКМД) заданого розміру, притертому до двох боковиків і закріпленому в державці (рис. 2.110, *б*); по мікрометру, встановленому на заданий розмір і закріпленому у стояку (рис. 2.110, *в*).

При встановленні нутроміра по атестованому встановлювальному кільцю центрувальний місток необхідно підтиснути і нутромір обережно ввести в кільце з таким розрахунком, щоб лінія вимірювання збіглася з відміченим осьовим перерізом кільця, розмір якого наперед виміряний. При встановленні нутроміра по блоку кінцевих мір (або мікрометру) вимірювальні поверхні нутроміра встановлюють між боковиками (вимірювальними поверхнями мікрометра).

Блок кінцевих мір потрібного розміру притирають до двох боковиків 1 (рис. 2.111, *а*) і закріплюють у державці 2. Потім нутромір уміщують між боковиками так, щоб вимірювальний стрижень 3 і вставка 4 торкалися площин боковиків 1. Похитуючи прилад у площині осьового перерізу (рис. 2.111, *б*), знаходять граничну точку руху стрілки індикатора і, обертаючи циферблат (за обідок), суміщають нульовий штрих шкали зі стрілкою. Після цього ще раз перевіряють правильність устанавлення нутроміра на нуль при заданому розмірі блоку плиток.

При встановлюванні по атестованому кільцю-калібру (встановлювальній мірі), підтиснувши центрувальний місток, нутромір уводять усередину атестованого кільця відповідного діаметра так, щоб лінія вимірювання збіглася з діаметром кільця. Нахилиючи нутромір у вертикальній площині, фіксують максимальне відхилення великої стрілки нутроміра, тобто момент, коли стрілка змінює напрям свого руху. Це

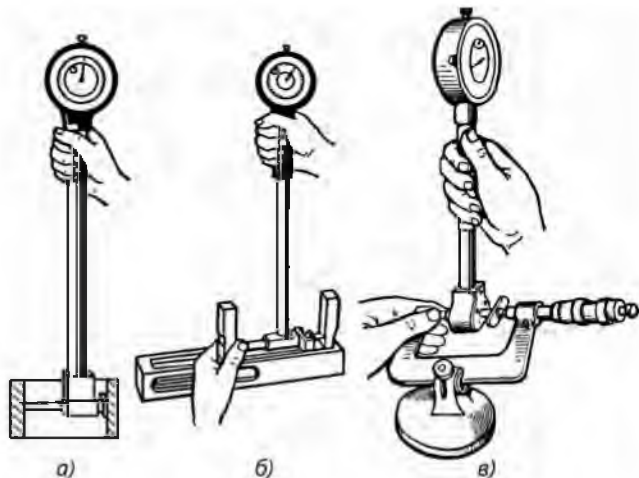


Рис. 2.110. Установлення індикаторного нутроміра на розмір по калібру-кільцю (*а*), блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини (*б*), мікрометру (*в*)

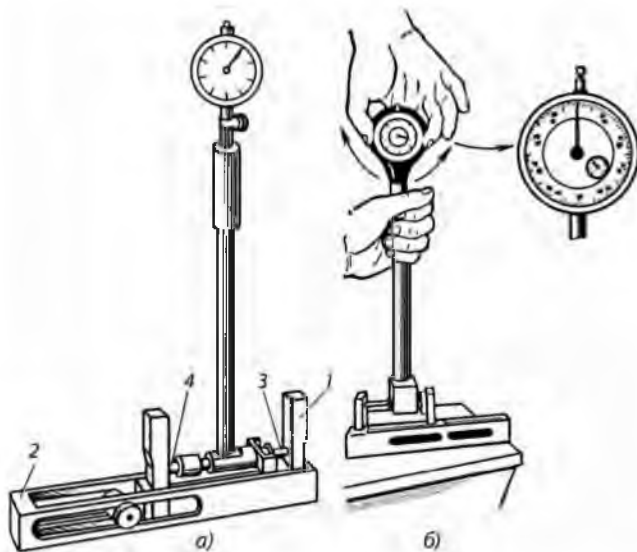


Рис. 2.111. Установлення нутроміра по ПКМД

свідчить про перпендикулярність лінії вимірювання вимірювальним поверхням (див. рис. 2.30), тобто про правильність встановлення нутроміра. У цьому положенні нутроміра повертають шкалу індикатора до збігу її нульової поділки зі стрілкою і затягують стопор, щоб шкала індикатора не змістилася під час вимірювання.

При вимірюванні внутрішнього розміру, після настроювання, нутромір вводять у контрольований отвір виробу і повторюють операції, які виконували під час настроювання нутроміра. Похитуючи нутромір у вертикальній площині, фіксують найбільше відхилення стрілки індикатора, яке відповідає діаметру отвору. При відліку відхилень розміру отвору виробу від номінального розміру керуються таким правилом. Відхилення приймають зі знаком «-» (мінус), якщо стрілка індикатора перейшла за нульову поділку. У цьому випадку діаметр отвору менший від діаметра атестованого кільця. Відхилення від номінального розміру приймають зі знаком «+» (плюс), якщо стрілка індикатора не дійшла до нульової поділки. Значення відхилення підраховують множенням числа поділок на ціну поділки, що дорівнює 0,01 мм.

Приклад. Нутромір був настроєний по атестованому кільцю діаметром $D = 100$ мм. При вимірюванні діаметра отвору виробу стрілка не дійшла до нульового штриха шкали на 24 поділки. Знайти дійсний розмір отвору D_d . Відхилення від нуля приймають зі знаком «+» (плюс), оскільки стрілка не дійшла до нуля. Відхилення $\Delta = +24 \cdot 0,01$ мм = +0,24 мм. Дійсний розмір отвору $D_d = D + \Delta = 100 + 0,24 = 100,24$ мм.

Нутроміри НИ-10 (рис. 2.112, а) і *НИ-18* забезпечені клиновою передачею переміщення від вимірювального стрижня 1 на шток 2.

Нутромір НИ-50 (рис. 2.112, б) для поєднання лінії вимірювання з діаметром виробу має оригінальний центрувальний місток, що складається зі скоби 5 із встановленими на її бічних сторонах роликів 3, що обертаються на осях, закріплених у скобі. Стакан 6 із розміщеною в ньому пружиною відтискує скобу 5 таким чином, що вона, повертаючись на осі 4, забезпечує через роликів 3 нормовану силу вимірювання. Переміщення вимірювального стрижня 1 передається через важіль 7 штоку 2.

Нутроміри типів НИ-700 і НИ-1000 (рис. 2.112, в) мають корпус 5, виконаний за формою скоби, з одного боку якої встановлено нерухомий вимірювальний стрижень 3, а з другого – індикатор 2 годинникового типу, на який передається переміщення рухомого вимірювального стрижня 1. На цій же стороні скоби змонтовано центрувальний місток 4.

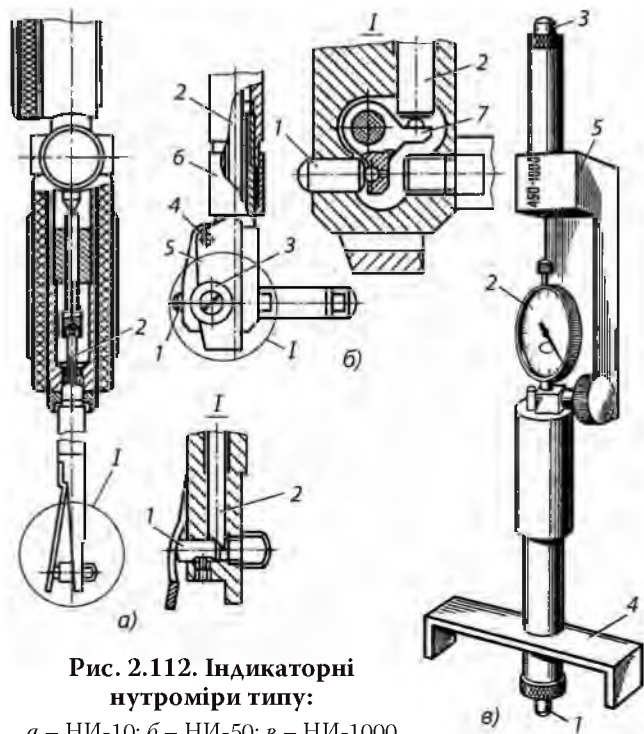


Рис. 2.112. Індикаторні нутроміри типу:

а – НИ-10; б – НИ-50; в – НИ-1000

Індикаторні нутроміри з ціною поділки 0,001 та 0,002 мм (ГОСТ 9244–75) призначені для вимірювань внутрішніх розмірів методом порівняння з мірою. У нутромірах мод. 106, 109, 154, 155 і 156 використовується важільно-зубчаста головка з ціною поділки 0,002 мм (рис. 2.113, а). Рухомий стрижень 1 має скіс під кутом 45°. Переміщення стрижня 1 через кульку 3 передається штоку 2 і вимірювальній головці 4. Центрувальний місток 5 аналогічний центрувальному містку нутроміра типу НИ-50, описаному вище.

У нутромірах мод. 103 і 104 (рис. 2.113, б) використано конусно-кулькову передачу від рухомого вимірювального стрижня до важільно-зубчастої головки. Вимірювальними і центрувальними елементами нутромірів є діаметрально розміщені кульки 7 та 6. Діаметр центрувальних кульок на 0,01 мм менший від діаметра вимірювальних кульок. Площини центрування та вимірювання розгорнені під кутом 90° одна до одної. Кульки розміщені в отворах змінної вимірювальної вставки 1 і стикаються з конічним кінцем голки (штоком) 2.

При введенні нутроміра в контрольований отвір виробу кульки перемічатимуться в радіальному напрямі. Це переміщення кульок перетвориться в осьове переміщення конічної голки (штока) 2, що впливає на вимірювальний стрижень важільно-зубчастої головки 5. Глибина вимірювання діаметра отвору залежить від розміщення в упорі 3 корпусу нутроміра, що фіксується за допомогою гвинта 4.

Настроювання на розмір і методика вимірювання діаметрів отворів аналогічні до настроювання нутромірів типу НИ.

Для встановлення на необхідний розмір нутромірів із ціною поділки 0,001 та 0,002 мм використовують набори встановлювальних кілець із номінальними розмірами (мм):

- мод. 928.2: 6; 6,3; 6,7; 7,1; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5 та 10;
- мод. 928.3: 10; 10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18;
- мод. 928.4: 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50;
- мод. 930: 50; 53; 56; 60; 63; 67; 71; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130; 140; 150 та 160.

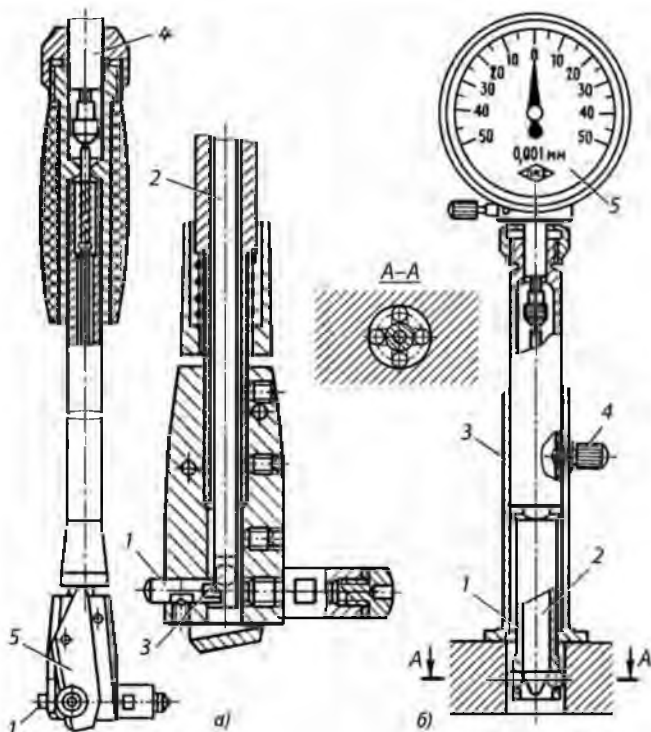


Рис. 2.113. Індикаторні нутроміри мод. 109 (а) і мод. 104 (б)

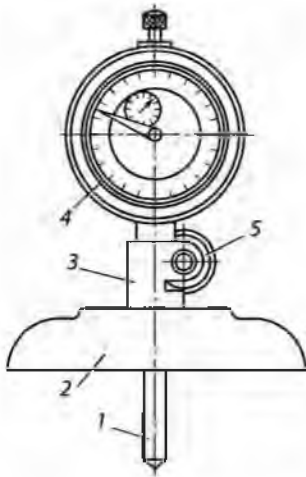


Рис. 2.114. Індикаторний глибиномір



Рис. 2.115. Вимірювання індикаторним глибиноміром

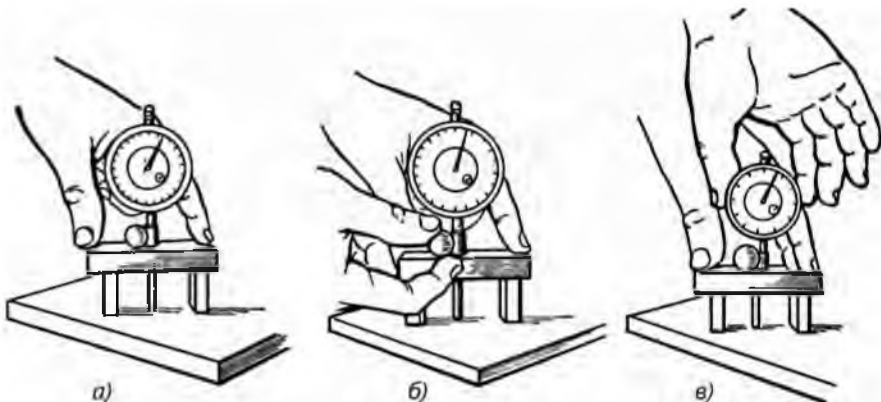


Рис. 2.116. Установлення індикаторного глибиноміра в нульове положення

Приклад позначення комплекту кілець: *Кільця встановлювальні моделі 928.2 ГОСТ 14865-78*; приклад позначення окремого кільця: *Кільце встановлювальне, модель 928.2-7,5 ГОСТ 14865-78*.

Індикаторні глибиноміри (ГОСТ 7661-67) застосовують для вимірювання методом порівняння глибин отворів, пазів, висоти уступів і т. ін. (рис. 2.114). Вони складаються з основи 2 з державкою 3, індикатора годинникового типу 4 і змінного вимірювального стрижня 1. Ціна поділки цих приладів 0,01, діапазон показань 10 мм. Діапазон вимірювання глибиноміра від 0 до 100 мм забезпечує набір змінних вимірювальних стрижнів, що дозволяють проводити вимірювання в піддіапазонах – 0–10, 10–20, ..., 90–100 мм. Для створення попереднього натягу змінні стрижні мають дещо більшу довжину, ніж потрібно для цього піддіапазону.

Для встановлення приладу на нуль користуються або двома однаковими мірами довжини (рис. 2.116), або атестованою втулкою, відповідною за висотою вимірюваному розміру. Поставивши глибиномір основою на торець втулки (або на кінцеві міри) (рис. 2.116, а), відпускають гвинт 5 затискача і переміщують індикаторну головку в державці так, щоб покажчик числа обертів зайняв положення 0,5–1 (для створення попереднього натягу), а стрілка приблизно стала на нуль (рис. 2.116, б). Після цього затискають гвинт 5 і обідком індикатора підводять нульовий штрих шкали під стрілку (рис. 2.116, в). Результат вимірювання (рис. 2.115) одержують шляхом складання показання індикатора (з урахуванням знака) з розміром установлювальної міри.

2.5. ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-МЕХАНІЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

2.5.1. Класифікація та призначення

До оптичних приладів належать засоби, що здійснюють вимірювання шляхом використання законів поширення світла в оптичних системах.

Оптична система – сукупність оптичних вузлів та деталей (лінз, призм, дзеркал, об'єктивів, окулярів і т. ін.), призначена для формування пучків світлових променів. У вимірювальних приладах використовують основні властивості оптичних систем:

- можливість одержувати дійсні та уявні збільшені зображення шкал приладів або об'єктів вимірювання за допомогою лінз;
- пропорційність кутів повороту дзеркал і відбитих від них променів;
- дисперсія, інтерференція та ін.

Як правило, у вимірювальних приладах оптична система пов'язана з механічною. Прилади такого типу називають оптико-механічними. Вони призначені для високоточних вимірювань розмірів виробів і відхилень від геометричної форми.

Оптико-механічні прилади – різноманітні за призначенням і принципом дії як оптичної, так і механічної вимірювальних систем. До них належать оптикатори, оптиметри, довжиноміри, вимірювальні машини, контактні інтерферометри, вимірювальні мікроскопи і проектори. У вимірювальному механізмі оптиметрів та оптикаторів поєднуються механічний і оптичний важелі, тому такі прилади іноді називають важільно-оптичними.

За положенням лінії вимірювань прилади поділяють на вертикальні (В) та горизонтальні (Г), а за способом відліку показань – на окулярні (О) та екранні (Э). Приклад маркування оптиметра: ОВО – оптиметр вертикальний окулярний. Метрологічні показники деяких типів оптиметрів (ГОСТ 5405–75) наведено нижче (табл. 2.4).

Таблиця 2.4. Метрологічні показники деяких типів оптиметрів

Показники	ОВЭ-02	ОВО-1, ОВЭ-1	ОГО-1, ОГЭ-1
Діапазон вимірювання, мм	0...100	0...200	0...500
Ціна поділки, мкм	0,2	1,0	1,0
Межі вимірювання за шкалою, мм	±0,025	±0,1	±0,1
Допустима основна похибка, мкм, на ділянці шкали, мм:			
від 0 до ±0,015	±0,07	–	–
вище ±0,015	±0,1	–	–
від 0 до ±0,06	–	±0,2	±0,2
вище ±0,06	–	±0,3	±0,3
Варіація показань, мкм	0,02	0,1	0,1

2.5.2. Основи оптичних методів вимірювань

Із погляду фізичної оптики видиме світло є електромагнітним випромінюванням у діапазоні довжин хвиль від $\lambda = 0,38$ мкм (фіолетовий колір) до $\lambda = 0,78$ мкм (червоний колір). Швидкість світла залежить від середовища, в якому воно поширюється. Показник заломлення характеризує оптичні властивості середовища і визначається відношенням $n = C/C_{\text{сп}}$, де C – швидкість світла в порожнечі; $C_{\text{сп}}$ – швидкість світла у певному середовищі. Вона залежить від довжини хвилі світла: чим більша довжина хвилі, тим менший показник заломлення. Це явище називається дисперсією світла і використовується для розкладання світла, наприклад, за допомогою призм.

Із погляду геометричної оптики джерелом світла є точка, промінь світла – лінія, по якій поширюється світло, світловий потік – сукупність світлових променів. У од-

норідному прозорому середовищі світло поширюється від джерела прямолінійно на всі боки з однаковою швидкістю. Світлові промені в пучку не впливають один на одного. Кут відбиття променя від поверхні дорівнює куту падіння, а кут падіння і заломлення на межі двох середовищ пов'язані залежністю $n_2 \sin \alpha \approx n_1 \sin \alpha^1$.

Кутом падіння називають кут між напрямом падаючого променя і перпендикуляром до межі розділу середовищ, відновленим із точки падіння.

Кутом відбиття називають кут між цим же перпендикуляром і напрямом відбитого променя. Якщо падаючі паралельні промені після відбиття залишаються паралельними, то таке відбиття називають *дзеркальним*, а якщо вони після відбиття не паралельні, то *дифузійним*.

Оптичні прилади містять дзеркала і лінзи. *Лінзою* називають прозоре тіло, обмежене двома криволінійними поверхнями. Існують лінзи, обмежені з одного боку криволінійною поверхнею (опуклою або увігнутою), а з другого боку – площиною. Пряма, що проходить через центри кривизни поверхонь лінзи, називається *головною оптичною віссю* лінзи. Якщо одна з поверхонь лінзи є площиною, то оптична вісь проходить перпендикулярно через центр кривизни другої поверхні. Точка лінзи, через яку проходять промені без зміни свого напрямку, називається *оптичним центром* лінзи. Через нього проходить і головна оптична вісь. У оптичному приладі лінза, звернена до предмета (об'єкта), називається *об'єктивом*, а лінза, звернена до ока спостерігача, – *окуляром*. Окуляр та об'єктив складаються з кількох лінз. Точка, в якій сходяться промені, називається *фокусом*. Площина, що проходить через фокус перпендикулярно головній оптичній осі, називається *фокальною площиною*, а відстань по головній оптичній осі від фокальної площини до оптичного центра лінзи – *фокусною відстанню* цієї лінзи. Будь-яка пряма, що проходить через оптичний центр лінзи, називається *побічною віссю* лінзи.

Вище розглядали групу приладів, що мають механічний важіль. В оптичних приладах теж є свої *оптичні важелі*.

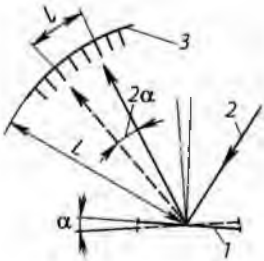


Рис. 2.117. Оптичний важіль

Принцип дії оптичного важеля, одержаного за допомогою дзеркала, показано на рис. 2.117. На дзеркало 1 падає промінь світла 2 і відбивається на шкалу 3 приладу. Якщо дзеркало нахилити на кут α , то відбитий промінь зміститься на відстань $l = 2\alpha L$, де L – відстань шкали від дзеркала.

Оптичний важіль можна одержати також за допомогою об'єктива і дзеркала (рис. 2.118, а). Предмет висотою AB , поміщений перед лінзою на відстані a , дасть своє зображення $A'B'$ на екрані, розміщеному на відстані a' . Із цієї схеми, за аналогією з механічним важелем, можна визначити переда-

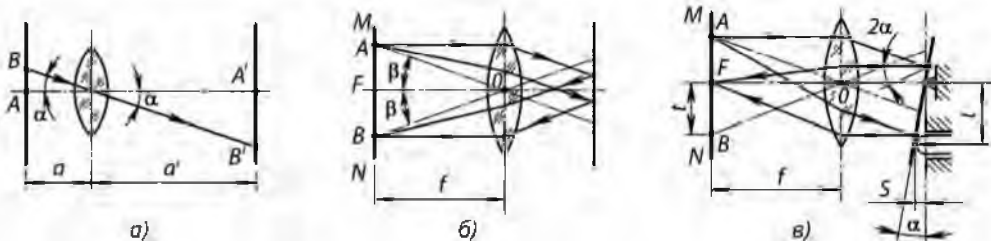


Рис. 2.118. Принципи оптичного важеля та автоколімації

точне відношення $i_{\text{об}} = A'B'/AB = a'/a$, де AB – висота предмета; $A'B'$ – висота зображення предмета; a і a' – мале та велике плечі оптичного важеля.

Оптичний важіль, порівняно з механічним, має низку переваг. У механічних важелях збільшення плеча важеля чи збільшення передаточного відношення передачі спричиняє або збільшення габаритів приладу, або значні складнощі, пов'язані з виготовленням малих плечей. У оптичному важелі можна міняти довжину плечей введенням у схему дзеркал для повторних віддзеркалень променів, не збільшуючи габаритів приладу.

Окрім оптичного важеля, в оптичних і оптико-механічних приладах широко використовуються *автоколімаційні системи*, які дозволяють підсилити відхиляючу дію оптичної системи шляхом багаторазових віддзеркалень (рис. 2.118, б).

Якщо у фокальній площині об'єктива поставити екран MN , помістити на ньому джерело світла в точці A , поставити за об'єктивом дзеркало перпендикулярно головній оптичній осі, то промені, відбившись від дзеркала і пройшовши через об'єктив, зберуться в точці B на площині екрана. У такому випадку точка B буде автоколімаційним зображенням точки A . Водночас точка B , виходячи з рівності трикутників AOF та BOF (прямокутні трикутники мають спільний катет і рівні кути β), буде розміщена симетрично точці A відносно головної оптичної осі ($AF = BF$).

Якщо за допомогою вимірювального стрижня, розміщеного на відстані l від осі повороту дзеркала, останнє відхилити на кут α (рис. 2.118, в), то напрям відбитих променів зміниться на кут 2α і зображення точки A буде вже не в точці B . При куті $2\alpha = \beta$ воно збігатиметься з головним фокусом оптичної системи. У загальному випадку переміщення t автоколімаційного зображення точки A при повороті дзеркала на кут α буде дорівнювати $ftg2\alpha$, де f – фокусна відстань.

Передаточне відношення такої системи визначається як відношення переміщення зображення точки A до відповідного переміщення S вимірювального стрижня:

$$i = t/S = ftg2\alpha/(ltg\alpha).$$

При малих кутах повороту дзеркала, близьких до нуля

$$tg\alpha = \alpha; tg2\alpha = 2\alpha; i = 2f/l.$$

Як видно з рівності, передаточне відношення автоколімаційної системи не залежить від відстані між дзеркалом та об'єктивом. Це дає змогу робити прилади з автоколімаційними системами достатньо компактними, такими, що мають високу чутливість, і отримувати значення ціни поділки до 0,0002 мм.

Оптичні важелі й автоколімаційні системи використовуються в оптиметрах і в пружинно-оптичних приладах – оптикаторах.

2.5.3. Оптикатори

Оптикатори є вимірювальними пружинно-оптичними головками, в яких механічна пружинна передача поєднується з оптичним важелем. Вони вирізняються високою точністю та стабільністю вимірювань, призначені для перевірки кінцевих мір та особливо точних вимірювань відповідальних виробів і застосовуються в універсальних стояках С-1 та пристосуваннях із приєднувальним діаметром 28 мм.

Оптикатор (рис. 2.119, а) має таку ж будову пружинної передачі, як мікрокатор, але замість стрілки у середині пружинної стрічки 1 приклеєне мініатюрне дзеркало 2. Світло від лампочки 6 проходить через конденсор 5 і щілину діафрагми 4, посередині

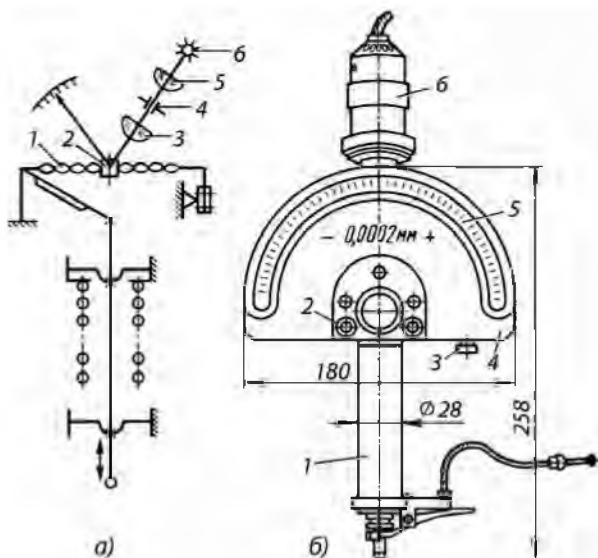


Рис. 2.119. Оптикатор:

а – схема; б – будова

якої натягнуто нитку. Конденсор – це оптична система, що служить для освітлення даного або проєктованого предмета паралельними променями світла. Зображення нитки проєктується об'єктивом 3 на дзеркало 2 і, відбившись від нього, потрапляє на шкалу приладу. Оскільки переміщення за шкалою дорівнює подвоєному куту повороту дзеркала, помноженому на відстань від дзеркала до шкали, передаточне відношення оптикатора у 2 рази більше, ніж у мікрокатора. Оптикатори мають більший діапазон показань та менші похибки вимірювань і варіації показань, ніж мікрокатори з тією ж ціною поділки шкали. Їхні основні показники наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Основні показники оптикаторів, мкм

Тип	Ціна поділки	Межі вимірювань	Допустима похибка на будь-якій ділянці шкали в межах		Варіація показань
			100 поділок	понад 100 поділок	
01П	0,1	±12	0,05	0,1	0,03
02П	0,2	±25	0,1	0,2	0,06
05П	0,5	±50	0,2	0,4	0,15
1П	1,0	±125	0,4	0,8	0,30

Оптикатор (рис. 2.119, б) має корпус 4, на якому встановлені освітлювач 6 і приєднувальна трубка 1. Положення шкали 5 у межах ±6 поділок регулюють гвинтом 3. Поворотом кнопок 2 переміщують два світлофільтри (зелений та червоний), які служать покажчиками поля допуску виробів.

Оптикатори використовують для відносних вимірювань методом порівняння з мірою. Порядок настроювання приладу і вимірювань такий самий, як для пружинних вимірювальних головок.

2.5.4. Вертикальний окулярний оптиметр

Вертикальні оптиметри застосовують для точного вимірювання зовнішніх розмірів виробів: довжини плоскпаралельних кінцевих мір, діаметрів гладких пробок калібру, нарізних калібрів, кульок і дроту, товщини тонких листів і т. ін.

Оптична схема вимірювальної трубки оптиметра з окулярним відліком та його шкала показані на рис. 2.120, а. Світловий потік від зовнішнього джерела світла А, відбившись від дзеркала 3, через призму 2 повного внутрішнього віддзеркалення освітлює шкалу, нанесену на лівому боці окулярної сітки 4, яка розташована у фокальній

площині об'єктива б. Сіткою називається скляна пластина, на якій різними способами нанесено штрихи, цифри, шкали, марки, профілі об'єктів різної конфігурації (різі, зубці) і т. ін. Призма 5 повертає хід променів на 90° і дозволяє надати трубці зручної форми коліна. Світловий потік проходить через об'єктив і, відбившись від дзеркала 7, дає автоколімаційне зворотне зображення шкали у правій частині окулярної сітки, на якій нанесено покажчик, що відповідає схемі автоколімації, показаній на рис. 2.118, б. Дзеркало 7 притискається двома пружинами до кульок 8 і вимірювального стрижня 9. При відхиленні дзеркала, викликаного переміщенням стрижня, зображення шкали на окулярній сітці зміщується щодо покажчика відповідно до схеми автоколімації, показаної на рис. 2.118, в. Збільшене зображення шкали можна спостерігати через окуляр 1. У трубках оптиметрів фокусна відстань $f = 200$ мм, а довжина механічного важеля $l = 5$ мм, що забезпечує передаточне відношення $i = 2f/l = 2 \cdot 200/5 = 80$. Шкала оптиметра має кількість поділок $n = 200$ з інтервалом поділок $a = 0,08$ мм. Ціна поділки $C = a/i = 0,08/80 = 0,001$ мм. Збільшення окуляра $e^X = 12$ забезпечує зручне спостереження шкали. Видимий інтервал поділки шкали становить $a' = a \cdot e^X = 0,08 \cdot 12 = 0,96$ мм. Межі вимірювань за шкалою $\pm Cn/2 = \pm(0,001 \cdot 200)/2 = \pm 0,1$ мм.

Усі деталі трубки оптиметра збирають і встановлюють у коліноподібній трубці (рис. 2.120, б). Вимірювальний стрижень із наконечником 15 і дзеркало 18, встановлене на основі 10, збирають на втулці 12, яку закріплюють у трубці гайкою 16 із зовнішньою нарізкою. Основу 10 притискають пружиною 17 до кульок на шайбі 11 і стрижня. Шайба 13 обмежує хід стрижня, впираючись у кришку 14. Лінзи 8 об'єктива зібрані у трубці 9. Призма 6 встановлена на платі 7. Окулярна сітка 4, на якій фотографічним шляхом нанесено шкали та покажчик, і освітлювальна призма 3 закріплені в тубусі 5, який трьома радіальними гвинтами укріплений у втулці 2. На втулку за допомогою багатоголової різи нагвинчують окуляр 1, що дозволяє регулювати чіткість зображення шкали.

Вертикальний оптиметр ОВО-1 (рис. 2.121) є поєднанням трубки 2 оптиметра зі стояком типу С-II. На трубку надітий аретир 5 для відведення вимірювального наконечника 6. Трубка затискається гвинтом 4 у розрізній муфті кронштейна 11, який переміщується по колонці під час обертання кільця 13 і фіксується гвинтом 12. Колонка запресована в стояк-основу 14, на якій розміщено предметний стіл 7.

В оптиметрі є система вертикального мікропереміщення столу і зміни нахилу його площини щодо осі вимірювання (осі вимірювального наконечника) (рис. 2.122).

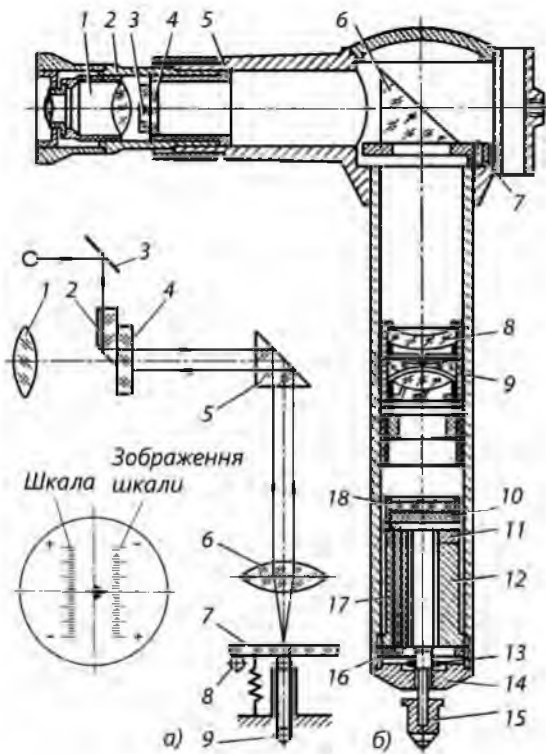


Рис. 2.120. Трубка окулярного оптиметра:
а – схема; б – будова

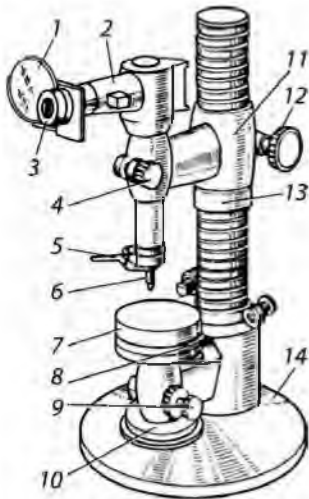


Рис. 2.121. Оптиметр ОВО-1

Вісь вимірювального наконечника має бути перпендикулярна площині столу, щоб уникнути похибок, виникнення яких схематично представлено на рис. 2.122, б.

Нахил столу встановлюють обертанням мікрогвинтів 8 (рис. 2.121). У вертикальному напрямі стіл переміщують у межах кількох міліметрів обертанням гайки 10 мікрометричного механізму і фіксують гвинтом 9.

Перпендикулярність осі вимірювального стрижня до площини столу перевіряють із надітим на стрижень плоским вимірювальним наконечником за допомогою плоскопаралельної кінцевої міри розміром приблизно 10 мм. Міру притирають до столу і, ослабивши гвинт 12, обертанням кільця 13 опускають кронштейн 11, поки наконечник б не торкнеться міри. Момент контакту відзначають за переміщенням зображення шкали в окулярі 3. Дзеркальцем 1 направляють світло в освітлювальну призму. Застопоривши кронштейн гвинтом 12, виконують ряд вимірювань, установлюючи міру відносно наконечника в положеннях I, II, III та IV (рис. 2.122, а). Якщо площина наконечника не паралельна площині столу (рис. 2.122, б), то показання оптиметра при різних положеннях міри відрізняться одне від одного. Обертанням мікрогвинтів 8 стіл установлюють так, щоб у всіх чотирьох положеннях міри показання були однакові.

Оптиметр установлюють на нуль (на розмір початкової міри) (рис. 2.123) у такому порядку. Міру заданого розміру притирають до столу з гладкою поверхнею. Стіл заздалегідь переводять у нижнє положення. Кронштейн 11 із трубкою 2 (рис. 2.121) плавно опускають до торкання без поштовху з поверхнею міри. Обертанням кільця 13 вста-

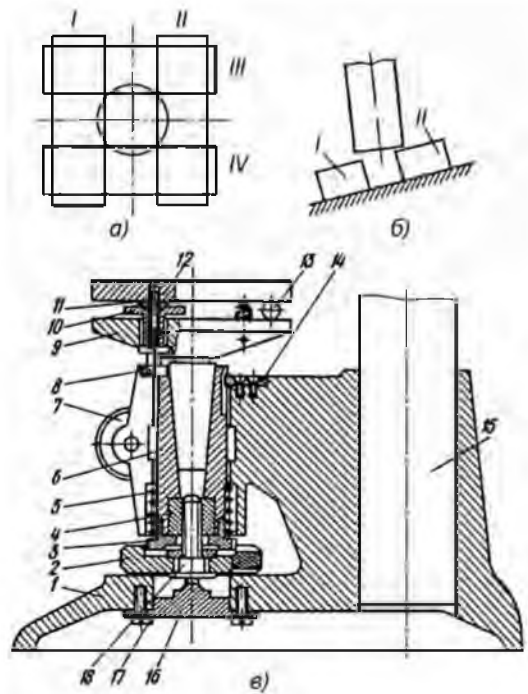


Рис. 2.122. Конструкція та схема встановлення столу оптиметра перпендикулярно до осі вимірювального стрижня:

1 – основа; 2 – гайка переміщення столу; 3 – мікрометрична гайка; 4 – упорна втулка; 5 – пружина; 6 – конічна втулка; 7 – гвинт затискача столу; 8 – гвинт; 9 – основа столу; 10 – накатані головки встановлення столу; 11 – шпилька; 12 – предметний стіл; 13 – кулька; 14 – шпонка; 15 – колонка; 16 – під'ятник; 17 – гвинти; 18 – мікрометричний гвинт

новляють зображення шкали так, щоб нульовий штрих був дещо нижчий за показчик, і кронштейн закріплюють гвинтом 12. Установлення приладу на нуль здійснюють, піднімаючи стіл обертанням гайки 10, і фіксують гвинтом 9. Установлення на нуль перевіряють, піднімаючи та опускаючи аретиром вимірювальний наконечник 2–3 рази. Якщо показання оптиметра нестабільні, то прилад знову встановлюють на нуль кільцем 13.

Під час вимірювань, піднявши наконечник аретиром, замінюють міру виробом. За показаннями оптиметра знаходять відхилення розміру виробу від розміру міри. Циліндричні вироби, наприклад, гладкі калібри-пробки, прокатують під вимірювальним наконечником; найбільше показання відповідає діаметру виробу у вимірюваному перетині (рис. 2.124).

Оптиметри комплектують змінними вимірювальними наконечниками. Сферичні наконечники використовують для вимірювання плоских та циліндричних виробів діаметром понад 10 мм, ножеподібні наконечники – для циліндричних виробів діаметром менше 10 мм, плоскі наконечники – для сферичних виробів, наприклад, кульок. Вимірювані вироби встановлюють або безпосередньо на предметний стіл, або на накладний стіл із ребристою поверхнею, який притирається до предметного столу. Площу ребристої поверхні легше довести до необхідної площинності, і вона менше, ніж гладка поверхня, схильна до забруднень, що призводять до похибок вимірювань.

2.5.5. Горизонтальний окулярний оптиметр

Горизонтальний оптиметр ОГО-1 (рис. 2.125, а) дозволяє вимірювати зовнішні розміри до 350 мм, зовнішні діаметри до 225 мм та внутрішні діаметри до 150 мм. Внутрішні вимірювання в межах 1...13 мм виконують за допомогою електроконтактної головки ГК-3, а понад 13,5 мм – за допомогою пристосування ИП-3. На масивній основі 1 закріплені горизонтальні напрямні 2, по яких переміщують і фіксують у потрібному положенні кронштейни 3. У кронштейнах гвинтами 7 затиснуті піноль 4 та трубка 12 оптиметра. Виріб встановлюють на стіл 11 між вимірювальними наконечниками 9, закріпленими на стрижнях пінолі та трубки. Стрижень пінолі переміщують мікрогвинтом 5 і фіксують гвинтом 6. Стіл 11 має механізм для переміщення у трьох взаємно перпендикулярних напрямках і для обертання навколо поперечної

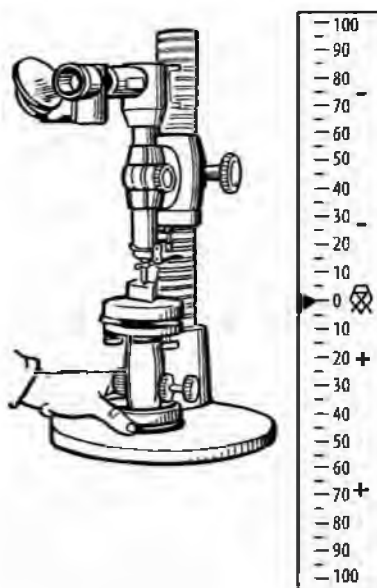


Рис. 2.123. Установлення приладу на нуль

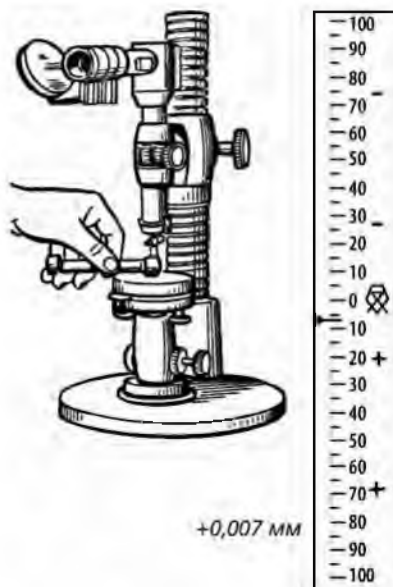


Рис. 2.124. Вимірювання деталі і відлік показань

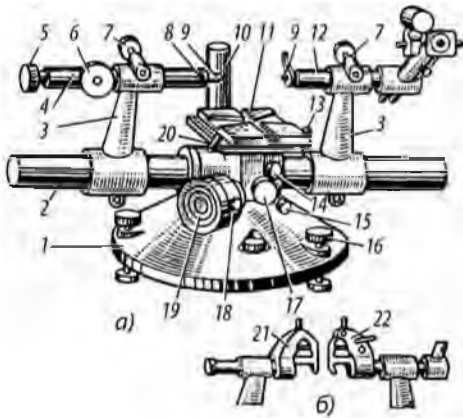


Рис. 2.125. Горизонтальний оптиметр ОГО-1:

а – будова; *б* – із пристосуванням ИП-3

горизонтальної та вертикальної осей. Вертикальне переміщення столу виконують обертанням ручки 19, обмежують гвинтом 14 та фіксують гвинтом 18. Поперечне переміщення столу здійснюють обертанням гвинта 13. У поздовжньому напрямі вільно переміщається тільки накладна верхня частина столу, встановлена на кулькових опорах. Навколо вертикальної осі стіл повертають рукою 20. Похитування щодо поперечної горизонтальної осі здійснюють ексцентриком 17. У встановленому положенні стіл фіксують гвинтом 15. Вертикальний штатив 10 слугує для встановлення пристосувань, наприклад, упору, при перевірці серій виробів однакового розміру або електроконтактної головки ГК-3. Регулювальними гвинтами 16 встановлюють стояк у горизонтальне положення за рівнем.

Перед вимірюванням взаємне положення наконечників регулюють так, щоб осі стрижнів пінолі та трубок знаходилися на одній прямій. Для цього між наконечниками на столі встановлюють кінцеву міру розміром 0,5...2 мм. Переміщуючи кронштейни 3 і піноль 4, наконечники доводять до стикування з поверхнями міри. Мікрогвинтом 5 установають шкалу оптиметра на певне показання. Регулювання виконують гвинтами 8, розміщеними під кутом 90°, які зміщують стрижень пінолі у радіальних напрямках. Обертаючи викруткою по черзі гвинти 8, добиваються найбільшого показання оптиметра для сферичних наконечників та найменшого показання – для плоских.

При встановленні оптиметра на нуль за блоком кінцевих мір довжини лінія вимірювання має проходити перпендикулярно до вимірювальних граней мір. Предметний стіл із блоком мір і кронштейни встановлюють у положення, за якого вимірювальні наконечники пінолі та трубки стикаються в серединній точці мір. Мікрогвинтом 5 встановлюють шкалу приладу в положення біля нульової точки. Почерговими поворотами столу навколо вертикальної осі рукою 20 і похитуваннями столу ексцентриком 17 досягають найменшого показання оптиметра. Потім, обертаючи гвинт 5 пінолі, встановлюють шкалу на нульове положення. Відводячи наконечник трубки аретиром, перевіряють правильність установаження нульового положення.

При вимірюванні зовнішніх розмірів установаження виробу в правильне положення стосовно лінії вимірювання здійснюють кількома способами залежно від форми виробу.

1. Вимірювання розмірів плоскопаралельних виробів, наприклад, перевірку кінцевих мір довжини, виконують так само, як установаження оптиметра на нуль. Поворотами та нахилами столу досягають найменших показань оптиметра, які відповідадуть відхиленню від довжини встановлювальної міри. При цьому лінія вимірювання є перпендикулярною до паралельних площин виробу.

2. При вимірюванні зовнішніх діаметрів циліндричних виробів, наприклад пробок калібру, лінія вимірювання має перетинати вісь виробу під прямим кутом. Циліндр слід установалювати так, щоб його вісь була паралельна або вертикальна до поверхні столу.

У першому випадку після встановлення оптиметра на нуль за блоком кінцевих мір вимірювальний наконечник трубки оптиметра відводять аретиром, міри знімають, стіл опускають униз і виріб закріплюють на столі в горизонтальному положенні за допомогою струбцини. Потім стіл встановлюють у положення, за якого вимірювальні наконечники торкаються циліндра за діаметром. Для цього рукою 19 (рис. 2.125) переміщують стіл у вертикальному положенні, добиваючись найбільших показань за шкалою оптиметра. При цьому лінія вимірювання має перетинати вісь виробу.

Потім поворотами столу рукою 20 досягають найменших показань оптиметра, за яких вісь виробу стає перпендикулярною до осі вимірювання. Оскільки попереднє встановлення при цьому може порушитися, вимірювання повторюють і продовжують, доки найбільше показання під час переміщення столу не збігатиметься з найменшим показанням при повороті. Якщо циліндр ставлять на стіл так, що його вісь перпендикулярна до площини столу, то стіл переміщують у поперечному напрямі перпендикулярно до осі вимірювання, обертаючи гвинт 13, і похитують стіл ексцентриком 17. Найбільше показання при переміщенні має збігтися з найменшим показанням при похитуванні.

3. При вимірюванні кульок лінія вимірювання має проходити через центр сфери. Стіл переміщують у вертикальному і поперечному напрямках доти, доки найбільші показання оптиметра за цих операцій не будуть збігатися.

Внутрішні розміри виробів (кілець калібру, скоб і т. ін.) на горизонтальному оптиметри вимірюють за допомогою пристосування ИП-3, яке складається з двох майже однакових дуг 21 та 22, що надягають на піноль і трубку оптиметра (рис. 2.125, 2.126).

На стрижні пінолі та трубки при цьому встановлюють плоскі наконечники. Дуга, яку надівають на трубку оптиметра (рис. 2.127), складається з кронштейна 4 і сережки 1, що є П-подібним важелем із вимірювальним наконечником 13 на кінці. Сережка кріпиться гвинтом 3 на осі 2, яка повертається на підшипникових опорах кронштейна 4. Кронштейн надівають на трубку 8 оптиметра до упору в нарізне кільце 10, положення якого у втулці кронштейна фіксується гвинтом 9. Пружина 6 через захват 7 притискує кульку 12 сережки 1 до плоского наконечника 11 трубки. Відведення сережки здійснюють важелем 5 аретира. Положен-

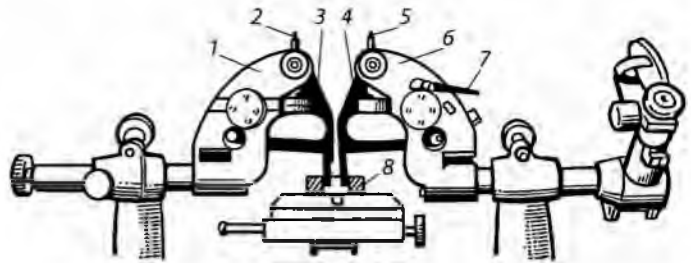


Рис. 2.126. Пристрій для вимірювання внутрішніх розмірів:

1 – лівий утримувач; 2 – гвинт кріплення дуги пінолі; 3, 4 – вимірювальні дуги; 5 – гвинт кріплення дуги трубки; 6 – правий утримувач; 7 – аретир; 8 – вимірювана деталь

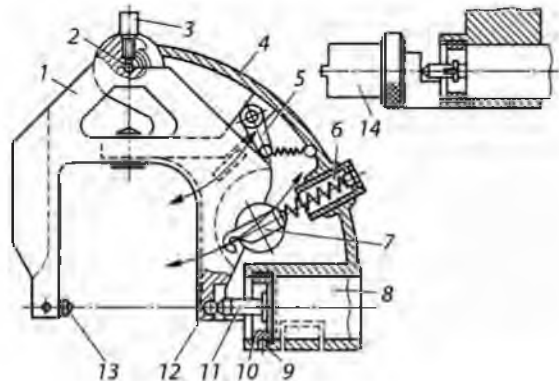


Рис. 2.127. Пристосування для вимірювання внутрішніх розмірів

ня кронштейна на трубі перевіряють установлювальним калібром 14. Калібр упирають у втулку кронштейна. Якщо показання оптиметра виходять за межі ± 5 мкм або зображення шкали не переміщується в полі зору, то звільняють стопорний гвинт 9 і, користуючись зворотним боком установлювального калібру 14 як торцевим ключем, регулюють положення нарізного кільця 10.

Перед вимірюванням внутрішніх розмірів оптиметр установлюють на нуль за блоком кінцевих мір із притертими боковиками або за атестованим кільцем. Послідовність переміщень столу при встановленні на розмір за блоком мір і в процесі вимірювання скоб калібру така сама, як і під час вимірювання зовнішніх розмірів виробів із плоскими поверхнями. При вимірюваннях внутрішніх діаметрів виробів і встановленні на нуль за кільцем стіл переміщують так само, як при вимірюваннях зовнішніх циліндрів.

2.5.6. Вертикальні екранні оптиметри

Оптиметри ОВЭ є вдосконаленою моделлю оптиметра ОВО-1. Найвність екрана полегшує процес вимірювання і підвищує його продуктивність. У оптичній схемі екранного оптиметра (рис. 2.128, а) промені світла від лампи 1 через конденсор 2, світлофільтр 3, лінзу 4 і призму 5 освітлюють правий бік скляної пластини 6, на якій нанесено шкалу, розміщену у фокальній площині об'єктива 8. Між об'єктивом і пластинною розміщене дзеркало 7, що змінює напрям ходу променів. Після об'єктива паралельні промені світла відбиваються від нерухомого 9 та хитного 10 дзеркал і, пройшовши зворотний шлях через об'єктив і дзеркало 7, дають зворотне автоколімаційне зображення шкали на лівій частині пластини 6 із покажчиком відліку. Зображення шкали і покажчика проектується об'єктивом 11 через систему дзеркал 12, 13 та 15 на матовий скляний екран 14. Дзеркало 10 зв'язане механічним важелем із вимірювальним стрижнем приладу. В оптиметрах ОВЭ-1 кут між дзеркалами 9 та 10 становить

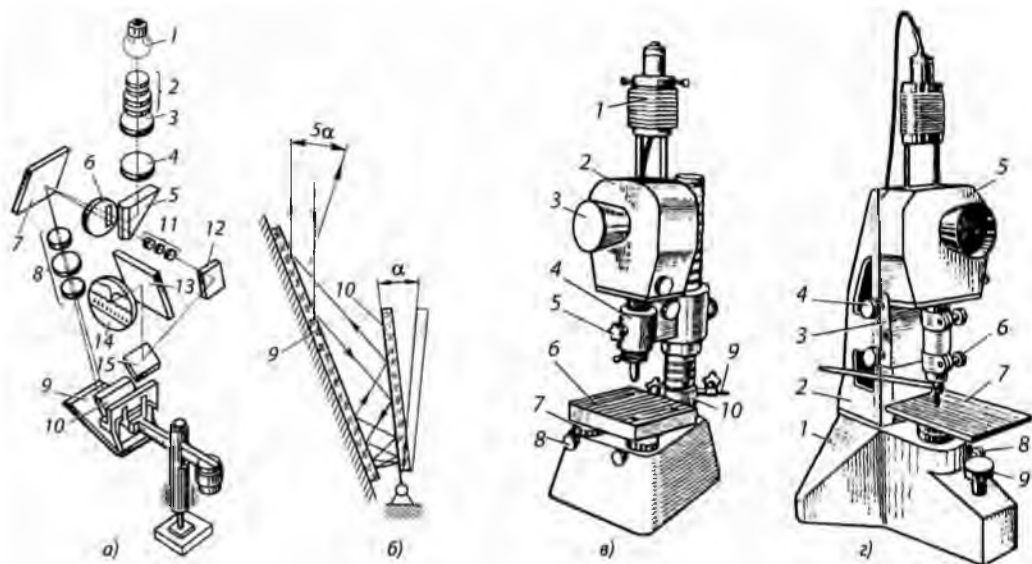


Рис. 2.128. Оптичні схеми (а, б) і загальний вигляд екранних оптиметрів ОВЭ-1 (в) та ОВЭ-02 (г)

37°30', і промені світла відбиваються від дзеркала, що коливається, один раз, тому чутливість приладу така ж, як у оптиметрів ОВО-1. В оптиметрах кут між оптичними елементами – 15°, а це забезпечує багаторазове відбиття променів від дзеркала, що коливається (рис. 2.128, б). За рахунок багаторазового відбиття у результаті досягають великого результуючого відхилення променів від дзеркала 10. Тому передаточне відношення оптичної системи – більше, а ціна поділки шкали (0,0002 мм) оптиметра ОВЭ-02 – менша, ніж у оптиметрі ОВЭ-1.

Оптиметр ОВЭ-1 (рис. 2.128, в) складається з вимірювальної головки 2 з освітлювальною системою 1. Усі оптичні частини приладу розміщені всередині корпусу, на передній частині якого встановлено екран, захищений від зовнішнього світла блендою 3. Головку закріплено гвинтом 5 у кронштейні 4 стояка С-П. Положення столу 6 із ребристою поверхнею регулюють маховичками 7 і фіксують гвинтами 8. Упор 9, закріплений у державці 10, використовують для перевірки партій сферичних та циліндричних виробів однакового розміру. На столі 6 є нарізні отвори для кріплення накладних столів і пристосувань. Для вимірювання виробів, установлення яких на стіл із ребристою поверхнею ускладнено, наприклад, калібрів-пробок і кульок, використовують стіл СТ-6 із гладкою поверхнею.

В **оптиметрі ОВЭ-02** (рис. 2.128, з) є стояк, який складається з жорсткої литої основи 1 і призматичної колонки 2. Кронштейн 3 переміщують по напрямних колонки за допомогою кремальєри і стопорять гвинтами 4. Головку 5 оптиметра кріплять у кронштейні гвинтами 6. Предметний стіл 7 із ребристою поверхнею можна переміщувати у вертикальному напрямі гвинтом 9 мікроподачі і стопорити у встановленому положенні гвинтом 8.

2.5.7. Оптичні довжиноміри

Оптичні довжиноміри призначені для абсолютних і відносних вимірювань розмірів виробів. Довжиноміри (ГОСТ 14028–78) випускають трьох типів: ДВО – вертикальні окулярні, ДВЭ – вертикальні з проєкційним екраном і ДГЭ – горизонтальні з екраном. Принцип дії довжиномірів полягає у вимірюванні переміщення зразкової лінійної шкали, встановленої на одній осі з вимірювальним стрижнем.

У **вертикальному окулярному довжиномірі ИЗВ-1** (тип ДВО) (рис. 2.129, а) міліметрова скляна шкала 3 встановлена в наскрізному отворі штока 2 з вимірювальним наконечником 1. Шток переміщується в корпусі приладу в кулькових напрямних 5. Він підвішений на гнучкій сталевій стрічці, перекинутій через блоки 7 та 8 і прикріпленій на іншому кінці до протизваги 11, яка переміщується в циліндрі 10, заповненому вазеліновим маслом. Це забезпечує плавне опускання штока, що виключає можливість ударів і пошкодження

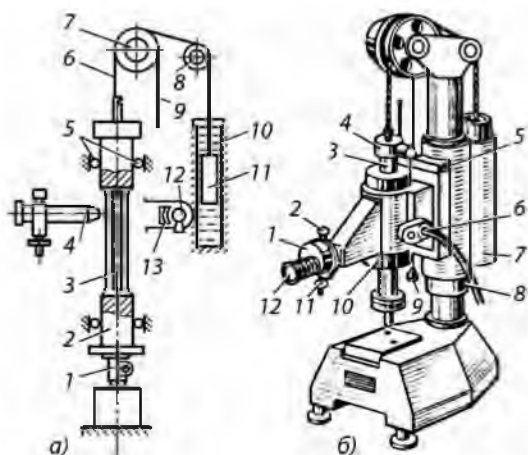


Рис. 2.129. Вертикальний довжиномір ИЗВ-1:

а – схема; б – зовнішній вигляд

наконечника 1. Шток піднімають за трос 9. Шкалу 3 освітлює лампочка 12 через конденсор 13. Переміщення шкали відносно виробу, який перевіряють, вимірюють за допомогою спірального відлікового мікроскопа 4 з ціною поділки 0,001 мм. Довжина шкали дорівнює 100 мм, що відповідає верхній межі абсолютних вимірювань.

Довжиномір ИЗВ-1 (рис. 2.129, б) складається з корпусу 7 і стояка С-II із предметним столом, що має ребристу поверхню. Стояк дозволяє вимірювати розміри в межах 100...250 мм методом порівняння з мірою. Корпус переміщують по колонці гайкою 8, а закріплений він гвинтами 5. На корпусі встановлені освітлювач 6 і спіральний мікроскоп 1 з окуляром 12. Шток 3 піднімають за кнопку 9 і фіксують у будь-якому положенні гайкою 10. Вимірювальне зусилля на штоку регулюють знімними вантажними шайбами 4.

Спіральний мікроскоп (рис. 2.130, а) складається з об'єктива 5, який фокусує зображення основної шкали довжиноміра в площину між поворотною 3 та нерухомою 2 шкалами, і окуляра 1. Збільшення об'єктива становить $5\times$, а збільшення окуляра – $12,8\times$. Ручка 4 слугує для обертання поворотної шкали 3. Гвинтом 6 окуляр разом із ноніусом переміщують щодо об'єктива. На поворотну шкалу 2 нанесено подвійну спіраль Архімеда з відстанню між нитками 0,012 мм і кроком спіралі 0,1 мм, а також кругову шкалу, що має 100 поділок (рис. 2.130, б). За один оберт поворотної пластини будь-яка точка спіралі зміщується для спостерігача на 0,1 мм по радіусу в напрямі від центра, а кругова шкала повертається від 0-ї до 100-ї поділки. На нерухому шкалу нанесені два паралельні штрихи, рівномірна шкала з діапазоном показань 1 мм і ціною поділки 0,1 мм і покажчик. В окуляр видно довгі штрихи основної міліметрової шкали і спіральний ноніус. Для відліку ручку 4 обертають доти, доки довгий штрих міліметрової шкали не опиниться між нитками спіралі. Цифра біля цього штриха показує число міліметрів у розмірі (46 мм). Десяті частки міліметра відлічують за лінійною окулярною шкалою відносно довгого штриха (0,3 мм). Соті й тисячні частки міліметра показує на круговій шкалі нерухомий покажчик (0,072 мм). Відлік за шкалою мікроскопа дорівнює 46,372 мм.

Перед вимірюванням довжиномір (рис. 2.129, б) встановлюють на нуль. При звільненому стопорі 10 шток приладу опускають до контакту з поверхнею вимірювального столу або з поверхнею кінцевої міри завдовжки 100 або 150 мм, притертої до столу.

Обертаючи ручку 11 відлікового мікроскопа, кругову шкалу переводять у положення 00 щодо покажчика (рис. 2.130, б). При цьому всі штрихи окулярної шкали (короткі штрихи) розташовуються між нитками подвійної спіралі. За правильного встановлення нульовий штрих або штрих 100 мм (при настроюванні за кінцевою мірою) також повинні лежати між нитками спіралі. Якщо останні умови не виконані, то гвинтом 2 (рис. 2.129, б) зміщують окуляр мікроскопа в потрібне положення. При вимі-

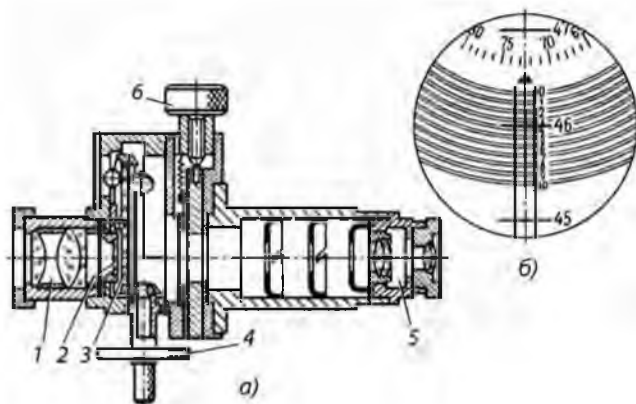


Рис. 2.130. Спіральний окулярний мікроскоп:

а – будова; б – шкала

рюваннях за кнопку 9 піднімають шток і встановлюють виріб на стіл, потім шток під дією сили тяжіння опускається на поверхню виробу, після цього здійснюють відлік показань.

Горизонтальний довжиномір ИКУ-2 (тип ДГЭ) створений на основі поєднання принципів дії вертикальних довжиномірів і оптиметра. Світло від лампи 1 (рис. 2.131, а) через освітлювальну систему 2 прямує дзеркалами 9 та 4 і призмою 5 на лінзу 6 і освітлює скляну міліметрову шкалу 3. Зображення шкали проектується об'єктивом 8 через призму 10 у площину нерухокої бісекторної шкали 11 із ціною поділки 0,1 мм. Шкалу 11 разом зі штрихом основної шкали через призму 12 проектує об'єктив 13 через дзеркала 14 та 25 на екран 7. Освітлювальна система 26 через призму 18 освітлює сітку 19, яка має шкалу з ціною поділки 0,001 мм на одній половині. Оптична система, що складається з призм 20, 21, 23, об'єктива 22, який розташований у фокальній площині сітки 19, і дзеркала 24, пов'язаного з вимірювальним стрижнем приладу, створює автоколімаційне зображення шкали на іншій половині окулярної сітки 19, на яку нанесено відліковий індекс. Зображення шкали та індекс проектується об'єктивом 17, дзеркалами 16 і 25 на екран 7. За допомогою допоміжної лінзи 15 регулюють правильне встановлення лампи 1.

Горизонтальний довжиномір (рис. 2.131, б) має станину 1, вимірювальну 10 та пінольну 2 бабки і предметний стіл 7. Вимірювальну піноль 8, у якій розміщені основна шкала, вимірювальний стрижень і дзеркало оптиметра, можна грубо перемістити маховиком 11, тонко – мікрогвинтом 12 і застопорити гвинтом 13. Пінольну бабку переміщують маховиком 4 і стопорять гвинтом 3. Тонку подачу наконечника 6 пінолі здійснюють мікрогвинтом 5. Предметний стіл 7 у вертикальному напрямі переміщують маховиком 17, у поперечному напрямі – гвинтом 14. Верхня частина столу вільно переміщується на кульках у поздовжньому напрямі. Стіл повертають навколо вертикальної осі маховиком 15, а навколо поперечної горизонтальної осі – маховиком 16.

При абсолютних вимірюваннях прилад установлюють на нуль, звівши вимірювальні наконечники до зіткнення і регулюючи їх співвісність так само, як на горизонтальному оптиметрі. Гвинтом 12 установлюють на нуль верхню шкалу екрана 9, а по-

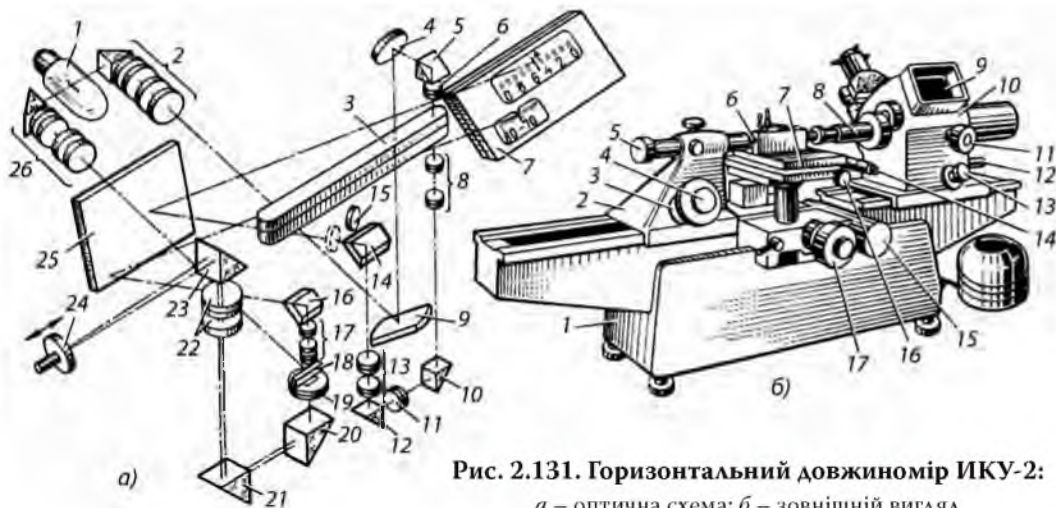


Рис. 2.131. Горизонтальний довжиномір ИКУ-2:

а – оптична схема; б – зовнішній вигляд

тім гвинтом 5 – нижню шкалу екрана. Під час вимірювання вимірювальну піноль відводять, на столі закріплюють виріб і потім переміщують вимірювальну піноль до тих пір, поки показання на нижній шкалі екрана 9 не стануть близькими до нуля. Мікрогвинтом 12 суміщають штрих основної шкали з найближчим бісектором – подвійним штрихом відлікової шкали з ціною поділки 0,1 мм. Потім предметний стіл переміщують залежно від виду виробу так само, як при вимірюваннях на оптиметрі. За верхньою шкалою екрана відлічують цілі та десяті частки міліметра, а за нижньою шкалою – соті й тисячні. Відлік на екрані довжиноміра становить 4,572 мм (рис. 2.131, *a*). Відносні вимірювання виконують так само, як на оптиметрі. Показань довжиноміра (верхня шкала) не враховують.

2.5.8. Оптико-механічні машини для вимірювання довжини

Оптико-механічні машини ИЗМ (ГОСТ 10875–76) мають ціну поділки 0,001 мм і межі вимірювань 0...1 м (ИЗМ-1), 0...2 м (ИЗМ-2) і 0...4 м (ИЗМ-4). Вони призначені для абсолютних та відносних вимірювань нутромірів, кінцевих мір довжини, калібрів-пробок, скоб, кілець та інших інструментів і точних виробів великих розмірів.

Принцип дії вимірювальних машин такий. Уздовж станини 1 (рис. 2.132, *a*) у вікнах розміщені зразкові оптичні шкали – метрова та міліметрова. Метрова шкала – це розміщені через 100 мм скляні пластини 6, на які нанесені подвійні штрихи (бісектори) і цифри, що показують число дециметрів. Міліметрова скляна шкала 10 має інтервал поділок 0,1 мм і діапазон показань 100 мм. Уздовж станини над метровою шкалою переміщується пінольна бабка 5 з освітлювачем, над міліметровою шкалою – вимірювальна бабка 7. Світло від лампи 2 через конденсор 3 і дзеркало 4 освітлює одну з пластин 6, яка розташована у фокальній площині об'єктива 13. Призми 11 та 14 відхиляють хід світлових променів на 90°. Об'єктив 13 направляє світловий потік із

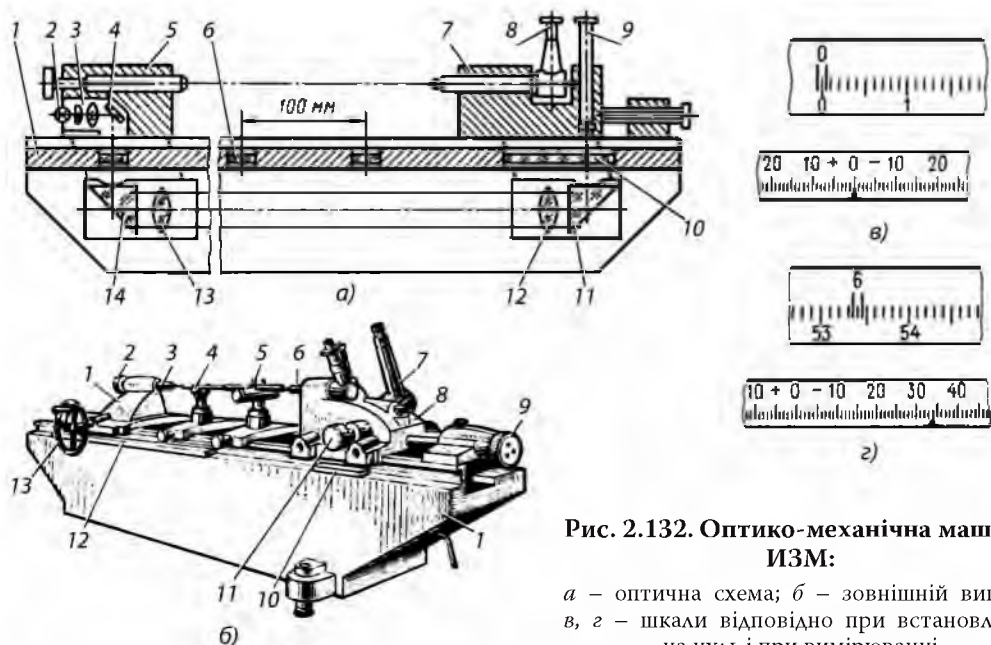


Рис. 2.132. Оптико-механічна машина ИЗМ:

a – оптична схема; *б* – зовнішній вигляд; *в*, *г* – шкали відповідно при встановленні на нуль і при вимірюванні

зображенням бісектора у вимірювальну бабку 7. Об'єктив 12 фокусує зображення на шкалу 10, за якою спостерігають у мікроскоп 9. Для відліку сотих і тисячних часток міліметра слугує шкала трубки оптиметра з окуляром 8.

Перед абсолютними вимірюваннями машину (рис. 2.132, б) встановлюють на нуль. Пінольну бабку 1 переміщують маховиком 13 і закріплюють над крайньою правою пластиною, що відповідає нулю дециметрів. Вимірювальну бабку 8 спочатку грубим маховиком 9, а потім мікрогвинтом 11 переміщують так, щоб зображення бісектора припадало на нульову поділку шкали (рис. 2.132, в). При цьому наконечники пінолі 3 і трубки оптиметра 6 стикаються. Вимірювальні стрижні встановлюють на одній осі (центрують) так само, як у оптиметрах. Потім, обертаючи мікрогвинт 2 пінольної трубки, встановлюють на нуль оптиметр.

Під час вимірювань пінольну бабку встановлюють орієнтовно по допоміжній металевій лінійці 12 із дециметровими поділками на необхідний розмір. Вимірювальну бабку відсовують праворуч і встановлюють виріб на предметний стіл або на люнети 4 та 5, які використовують при вимірюваннях довгих циліндричних виробів діаметром до 50 мм. Потім вимірювальну бабку, користуючись для орієнтації металевою лінійкою 10, переміщують маховиком 9 до зіткнення наконечників пінолі та оптиметра з виробом. Показання оптиметра не має вийти за межі шкали. Якщо виріб закріплений на предметному столі, то поверхні виробу встановлюють перпендикулярно до лінії вимірювання шляхом переміщень столу, як у горизонтальному оптиметрі (див. підрозділ 2.5.5). Потім вимірювальну бабку, спостерігаючи в окуляр мікроскопа 7, переміщують мікрогвинтом 11 до поєднання бісектора з найближчим штрихом міліметрової шкали і проводять відлік цілих та десятих часток міліметра. Відлік десятих часток міліметра в розмірі ведуть по штриху міліметрової шкали, розташованому між бісектором. За шкалою оптиметра відлічують соті й десяті частки міліметра. Позитивні показання оптиметра підсумовують із відліком мікроскопа, а негативні – віднімають. Відлік за шкалами вимірювальної машини (рис. 2.132, з) становить $653,4 - 0,034 = 653,366$ мм.

Відносні вимірювання розмірів на машинах проводять так само, як на горизонтальному оптиметрі. Оптичну систему машини при цьому не використовують. Вимірювальні машини комплектують різноманітними пристосуваннями, які дають змогу вимірювати зовнішні та внутрішні розміри різних виробів, наприклад пристосування з дугами.

2.5.9. Інструментальні та універсальні мікроскопи

Вимірювальні мікроскопи призначені для лінійних та кутових вимірювань різноманітних виробів у прямокутних і полярних координатах. На мікроскопах вимірюють зовнішні лінійні розміри виробів, діаметри валів та отворів, кути різального інструменту і шаблонів, основні елементи профілю нарізних інструментів і калібрів, радіуси закруглень профілів, розміри конусів, відстань між центрами отворів і т. ін. У машинобудуванні найбільш поширені малий (ММИ) та великий (БМИ) інструментальні мікроскопи (ГОСТ 8074–82) й універсальні мікроскопи УИМ-21 (ГОСТ 14968–69), УИМ-23 та УИМ-24. Вони мають спільний принцип вимірювання і відрізняються конструкцією, діапазоном вимірювань і сферою застосування.

Оптичну схему мікроскопа наведено на рис. 2.133. Освітлювач, що складається з лампи 16, змінного конденсора 15, зеленого світлофільтра 14 та ірисової діафрагми 13, освітлює через дзеркало 12 і об'єктив 11 виріб 9, встановлений на предметному склі 10.

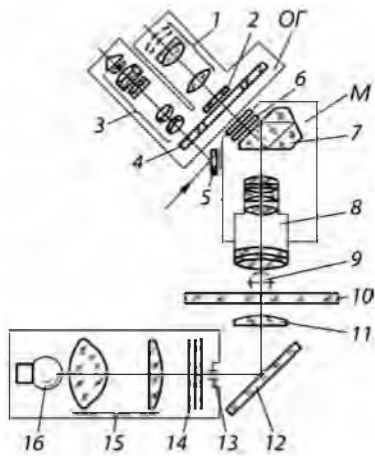


Рис. 2.133. Оптична схема мікроскопа

кріпленою на сітці 2 кутовою круговою шкалою – лімбом 4 з ціною поділки 1° . Лімба спостерігають в окуляр 3 мікроскопа зі значенням відліку 1'. Дзеркало 5 підсвічує лімба від зовнішнього джерела світла або освітлювального пристосування.

На поворотну окулярну сітку 1 кутомірної головки (рис. 2.134) нанесені дві суцільні лінії під кутом 60° одна до одної, штрихове перехрестя і чотири паралельні лінії, віддалені від центра на відстані 0,3 і 0,9 мм. На їхньому фоні видно тінювий контур виробу. Окуляр мікроскопа має градусну шкалу 2 та минутну шкалу 3. Відлік на рис. 2.133 становить $30^\circ 25'$.

Під час вимірювань тінювий контур граней виробу, які обмежують розмір l , що перевіряється, суміщають зі штрихами окулярної головки шляхом переміщень столу з предметним склом і повороту окулярної сітки. Значення переміщень визначають за відліковими пристроями.

Малий і великий інструментальні мікроскопи за ГОСТом 8074–82 (рис. 2.135) мають масивну основу 1, усередині якої змонтовані вузли оптичної системи, а на задньому боці розташований освітлювач 16. Освітлювач має накатне кільце для регулювання діафрагми, правильний вибір якої підвищує точність вимірювань. На основі

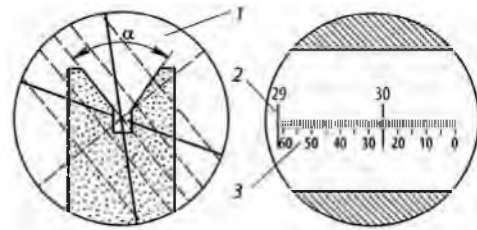


Рис. 2.134. Сітка і шкала кутомірної головки

Змінний об'єктив 8 візирного мікроскопа M проєктує тінювий контур виробу у фокальну площину окуляра 1 кутомірної головки, в якій розташовано поворотну сітку 2. Стекла 6 оберігають об'єктив від бруду та пошкоджень при заміні окулярної головки OG . Обертальна призма 7 дозволяє спостерігати в окуляр пряме зображення контура виробу. Кут повороту окулярної сітки 2 вимірюють за жорстко за-

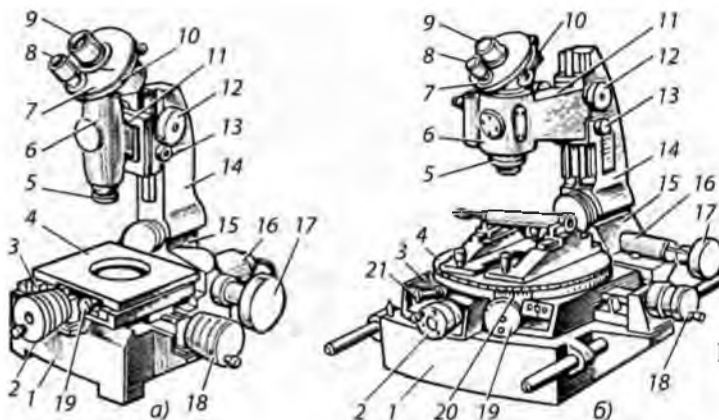


Рис. 2.135. Інструментальні мікроскопи:
а – ММИ; б – БМИ

встановлені полозки 3 з предметним столом 4, що має наскрізний отвір, закритий склом. Мікрометричні головки 2 та 18 із ціною поділок 5 мкм і межами вимірювань 0...25 мм переміщують полозки у поздовжньому та поперечному напрямках. Для розширення діапазону вимірювань між торцями мікрогвинтів і опорними площадками полозків встановлюють кінцеві міри довжини. Полозки притискаються до мікрогвинтів пружинами. Поворот столу навколо вертикальної осі здійснюють маховиком 19. У ММИ кут повороту столу становить $\pm 5^\circ$.

Кути повороту столу БМИ у межах 0...360° відлічують за лімбом 20 із ноніусом. Гвинт 21 загіскає стіл у потрібному положенні. Під час вимірювань стіл повертають так, щоб лінія його переміщень збігалася з лінією вимірювань. На основі встановлено опору 15 з колонкою 14. Колонка повертається на кут у межах $\pm 12^\circ 30'$ від вертикалі маховиком 17, який має кутомірну шкалу з ціною поділки 30'. Кронштейн 17 із тубусом 6 візирного мікроскопа переміщується на колонці маховиком 12 і загіскається гвинтом 13. На тубусі закріплено кутомірну головку 7 з окуляром 9, у який спостерігають виріб, встановлений на столі. Окулярну сітку наводять на контур виробу поворотом кільця 10. Кут повороту окулярної сітки спостерігають в окуляр 8 мікроскопа. Різкість зображення тіншового контуру регулюють поворотом кільця 5.

Межі вимірювань ММИ становлять 0...75 мм – у поздовжньому та 0...25 мм – у поперечному напрямках, а межі вимірювань БМИ – відповідно 0...150 мм та 0...50 мм. На інструментальних мікроскопах вимірювання здійснюють за допомогою комплекту пристосувань, до якого входять змінні об'єктиви зі збільшенням 1...5^x, призматичні стояки, центрові бабки, V-подібні підставки, призми, притискачі та струбцини для кріплення виробів на столі, кінцеві міри довжиною 25, 50, 75 та 100 мм, контрольний валик для виставляння осі виробу вздовж лінії вимірювання, освітлювальний пристрій для вимірювань у відбитому світлі. Можуть поставляти також револьверну головку з дугами різної кривизни і набором профілів різі, пристосування для фотографування, проєкційну насадку з екраном, комплект вимірювальних ножів для контактних вимірювань із пристосуванням для їх кріплення, контактне пристосування для вимірювання отворів і т. ін.

Універсальний мікроскоп УИМ-21 за ГОСТом 14968–89 (рис. 2.136) має станину 1, поздовжню 3 та поперечну 13 каретки. На поздовжній каретці закріплюються спеціальні предметні столи, центрові бабки 12 та інше приладдя для встановлення виробів. На поперечній каретці змонтовані освітлювальна система і колонка 8, на кронштейні якої закріплено головний мікроскоп 9 із кутомірною окулярною головкою. Маховик 10 слугує для нахилу головки, маховик 11 – для регулювання діафрагми освітлювача. Каретки переміщуються мікрогвинтами 4 та 15. Переміщення вимірюють за скляними міліметровими шкалами 5, укріпленими на каретках, за допомогою нерухомих відлікових мікроскопів 6 та 7 із ціною поділки 1 мкм. Кожний

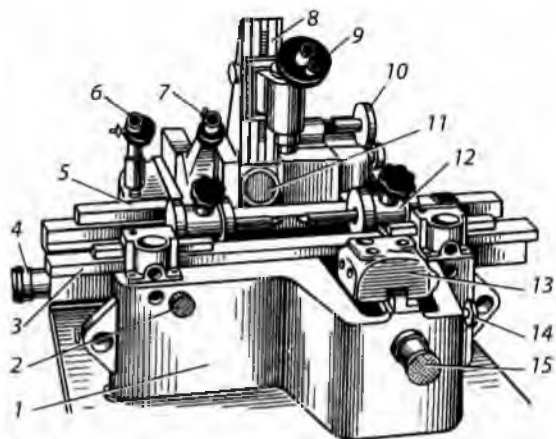


Рис. 2.136. Універсальний мікроскоп УИМ-21

мікроскоп оснащений малим освітлювачем. Межі вимірювань становлять 0...200 мм – у поздовжньому та 0...100 мм – у поперечному напрямках. Каретки можна пересувати вручну, якщо ослабити стопорні гвинти 2 та 14.

Універсальний мікроскоп УИМ-23 (рис. 2.137, а), на відміну від розглянутих вище мікроскопів, має відлікові пристрої проєкційного типу. Усередині основи 1 розміщено більшість деталей оптичної системи, а зовні встановлені на точних напрямних поздовжня 3 та поперечна 2 каретки. Поздовжня каретка має циліндричне ложе, в яке можуть бути встановлені центрові бабки 4, що слугують для закріплення циліндричних деталей. На опорних площинах цієї каретки можуть бути закріплені пристосування, плоский і круглий стіл, планки для вимірювальних ножів та ін. На поперечній каретці розташовані колонка 5 і освітлювальний пристрій (усередині). Шкали візирного мікроскопа 6, що наводиться на вимірюваний виріб, проєктуються на екран 7. На кожній каретці жорстко закріплено скляну шкалу, за якою вимірюють переміщення виробу в поздовжньому або поперечному напрямках. Зображення штрихів скляних шкал разом зі шкалами відлікових пристроїв проєктуються на екран 8. За міліметровим штрихом, розташованим між подвійним штрихом лінійної шкали, знаходять цілі та десяті частки міліметра, а за індексом на рухомій круговій шкалі – соті й тисячні частки. Відліки за шкалами мікроскопа становлять для поперечної каретки 93,030 мм, для поздовжньої каретки 192,661 мм.

Універсальні мікроскопи відрізняються від інструментальних ширшим діапазоном і більшою точністю вимірювань. УИМ-24 має підйомний пристрій для деталей із масою до 100 кг; діапазон вимірювань у поздовжньому напрямі становить 0...500 мм, а у поперечному – 0...200 мм; ціна поділки відлікових пристроїв проєкційного типу дорівнює 1 мкм. Універсальність забезпечують різноманітні пристосування, у комплект яких входять круглий предметний стіл СТ9, стіл із високими центрами СТ-2, вимірювальна бабка ИБ-21 та ін.

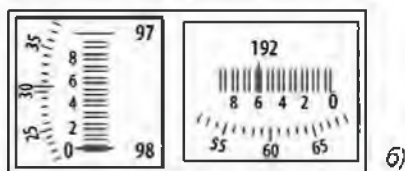
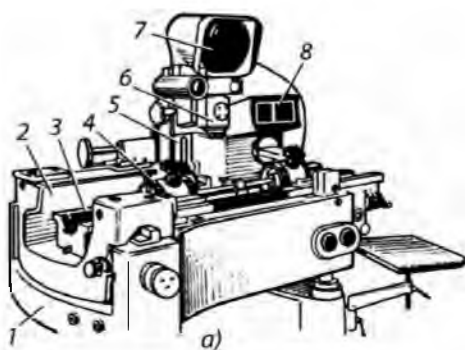


Рис. 2.137. Універсальний мікроскоп УИМ-23:

а – зовнішній вигляд; б – шкали

Вимірювання на мікроскопах можна проводити *тіньовим методом* у світлі, що проходить, *контурним методом* у відбитому світлі та *методом осевого перетину* за допомогою вимірювальних ножів. У відбитому світлі за допомогою знімного освітлювача вимірюють розміри виробів, які виступаючими частинами перекриваються від світла, що проходить. Під час вимірювань плоскі вироби закріплюють на предметному столі, а циліндричні вироби – у центрових бабках, на призмах та інших пристосуваннях. Перед вимірюванням плоских виробів діафрагму освітлювача встановлюють на діаметр 20...25 мм. При вимірюванні циліндричних виробів діаметр діафрагми вибирають за спеціальною таблицею. Об'єктив наводять на площину, в якій виконують вимірювання. Положення виробу регулюють так, щоб вимірюваний розмір можна було оглянути в окулярну головку, а напрям розміру

збігався з напрямом переміщення столу. Для циліндричних (гладких і нарізних) виробів фокусування об'єктива і вивірювання напрямку осі виробу здійснюють за контрольним валиком, установленим у центрах.

Процес вимірювань полягає в поєднанні штрихових ліній окулярної сітки з лініями контуру виробу, що обмежують розмір, який перевіряють. Точність поєднання штрихових ліній значно вища, ніж суцільних. При поєднанні одна половина лінії має бути в межах тіньового контуру, а інша – поза ним. При лінійних вимірюваннях, наприклад діаметра калібру-пробки, поєднання досягають шляхом послідовних переміщень столу в поперечному або поздовжньому напрямках. Вимірювана довжина дорівнює різниці показань мікрометричних пристроїв або відлікових мікроскопів при двох поєднаннях із кожної сторони розміру. Під час кутових вимірювань поєднання забезпечують поворотом окулярної головки візирного мікроскопа і переміщеннями столу (див. рис. 2.134). Наприклад, лінійні та кутові вимірювання на мікроскопах виконують при перевірці основних розмірів різі.

Для перевірки нарізних, радіусних та інших профілів на мікроскопах застосовують револьверні головки, окулярні сітки яких показано на рис. 2.138. Суміщаючи контур виробу з відповідним профілем на окулярній сітці, можна перевірити правильність параметрів різі 1 або радіус кривизни виробу 2.

На мікроскопах вимірюють плоскі вироби, наприклад, шаблони зі складним контуром, розміри яких на кресленні задаються у вигляді координат, відлічуваних від будь-якої точки. Такі вимірювання проводять у прямокутних або полярних координатах. При вимірюваннях у прямокутних координатах виріб $OABC$ встановлюють базовими сторонами OA та OC паралельно напрямом переміщення столу (рис. 2.139, *a*). Точку O суміщають із центром перехрестя окулярної сітки і записують показання відлікових пристроїв. Переміщуючи стіл, суміщають перехрестя з точками 1, 2, 3... профілю. За різницею показань відлікових пристроїв визначають дійсні розміри профілю: $x_1, x_2, x_3, \dots, y_1, y_2, y_3, \dots$. Отримані значення координат порівнюють із заданими на кресленнику. При вимірюваннях

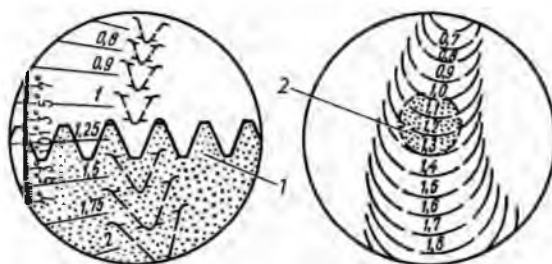


Рис. 2.138. Окулярні сітки револьверної головки

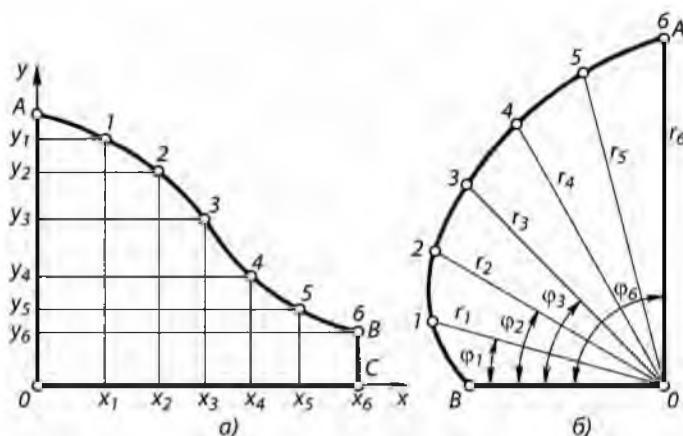


Рис. 2.139. Вимірювання профілів шаблонів у координатах:

a – прямокутних; *б* – полярних

у полярних координатах (рис. 2.139, б) виріб OAB встановлюють так, щоб початкова точка O збіглася з центром столу і перехрестям окулярної сітки. Стіл повертають на кути $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ так, щоб напрями ліній O_1, O_2, O_3, \dots збігалися з поздовжнім переміщенням столу. За різницею показань мікрометра визначають довжину радіусів r_1, r_2, r_3, \dots . Отримані значення координат ϕ та r порівнюють із заданими.

Вимірювання мікроскопами параметрів зовнішньої різі. При підготовці приладу до роботи на столі мікроскопа встановлюють бабку з центрами. У центрах її укріплює контрольний валик.

Шкалу лімба кутомірної головки за допомогою маховика 10 (див. рис. 2.135) виставляють на нульові відмітки. Штрихова лінія перехрестя сітки кутомірної головки має бути суміщена з твірною зображення контрольного валика. Перевіряють паралельність установлення ліній центрів бабки з валиком у такій послідовності: стіл 4 мікроскопа відводять ліворуч, а потім, спостерігаючи в окуляр, звільняють його. Під дією пружини стіл переміщуватиметься в початкове положення до зіткнення з мікрометричним гвинтом. Контур зображення профілю контрольного валика повинен бути при цьому паралельний штриховій лінії перехрестя сітки окулярної головки. Необхідне регулювання здійснюють переміщенням упорного гвинта, розташованого під окулярною головкою. Контрольний валик замінюють нарізним виробом. Установлюють різкість зображення, для чого за допомогою маховика колонку з візирним мікроскопом нахиляють на кут підйому різі. Інструментальний мікроскоп дозволяє обміряти всі параметри зовнішньої різі: зовнішній діаметр d , внутрішній діаметр d_1 , середній діаметр d_2 , крок P та половину кута профілю $\alpha/2$.

Зовнішній діаметр різі вимірюють не менш ніж у двох перетинах. Обертанням мікрогвинта мікрометричної головки поперечного переміщення столу суміщають горизонтальну лінію перехрестя сітки із зображенням вершин профілю різі (рис. 2.140, а) і здійснюють відлік по стеблу і барабану мікрометричної головки. Обертанням мікрогвинта переводять зображення контуру виробу на протилежну сторону профілю різі і встановлюють горизонтальну лінію сітки за всіма вершинами профілю (рис. 2.140, б); здійснюють другий відлік. Різниця відліків є дійсним зовнішнім діаметром, який повинен перебувати в полі допуску на виготовлення різі.

Результати вимірювання великою мірою залежать від того, як було наведено штрихову лінію сітки на край зображення профілю різі. При встановленні (наведенні) лінії сітки на край зображення виробу, як показано на рис. 2.140, в, будуть отримані результати з великими похибками. Необхідно прагнути, щоб вісь штрихової лінії сітки збігалася з краєм зображення виробу (рис. 2.140, г).

Внутрішній діаметр вимірюють аналогічно до вимірювання зовнішнього діаметра (рис. 2.140, в, з). Оскільки допуск на внутрішній діаметр зовнішньої різі не встановлений, то дійсний внутрішній діаметр має бути завжди менший від номінального внутрішнього діаметра.

При вимірюванні виробів циліндричної форми, зокрема нарізних, застосовують діафрагму. Необхідний діаметр отвору встановлюють за зовнішньою шкалою діафрагми. У разі правильно вибраних діафрагми і нахилу колонки зображення має бути різке, а поле зору – добре освітлене.

Під час вимірювання середнього діаметра різі для забезпечення різкого та чіткого зображення витків різі колонка мікроскопа повинна бути нахилена на кут, що дорівнює куту підйому різі. Перехрестя сітки за допомогою мікрометричних головок встановлюють на будь-яку точку приблизно на середині, наприклад, правої сторони профілю (рис. 2.140, д).

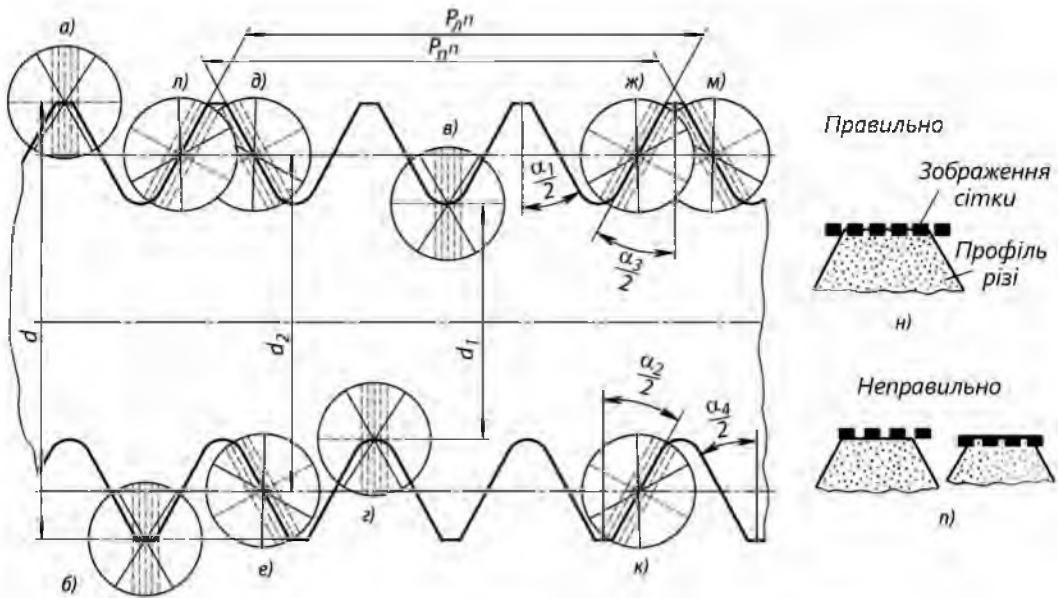


Рис. 2.140. Положення сітки зі штрихами окулярної головки при вимірюванні параметрів зовнішньої різі на інструментальному мікроскопі

Обертанням маховика кутомірної головки суміщають середню вертикальну штрихову лінію сітки окулярної головки з вимірюваною стороною профілю різі. Проводять відлік за мікроголовкою поперечного переміщення столу. Переміщуючи стіл у поперечному напрямі, переводять і вимірюваний профіль на протилежну сторону і суміщають із перехрестям сітки, не змінюючи положення (кута) вертикальної штрихової лінії, яка має збігтися з протилежною стороною профілю (рис. 2.140, e), здійснюють другий відлік. Різниця двох відліків визначає дійсний середній діаметр.

Середній діаметр вимірюють також за іншою, наприклад, лівою стороною профілю (рис. 2.140, ж та к). Різкість зображення профілю встановлюють поворотом колонки мікроскопа у протилежну сторону від вертикалі на кут підйому різі. Вимірювання середнього діаметра за двома сторонами профілю дозволяє виключити похибки від перекосу осі щодо напрямку поздовжнього ходу вимірювального столу.

Середній діаметр обчислюють як середнє арифметичне дійсних розмірів середнього діаметра за правою та лівою сторонами профілю.

Крок різі вимірюють за правою та лівою сторонами профілю на довжині згвинчення. Так само, як і при вимірюванні середнього діаметра, перехрестя сітки кутомірної головки встановлюють на точку приблизно на середині сторони профілю лівого витка різі і здійснюють перший відлік за мікроголовкою поздовжнього переміщення столу. Переміщують у поздовжньому напрямі стіл на вибране число витків n , суміщають із перехрестям сітки лівий виток різі (не міняючи положення середньої штрихової лінії), здійснюють другий відлік. Розмір кроку $P_{\lambda n}$ на довжині згвинчення визначають як різницю другого та першого відліків. Повторюють ті самі вимірювання за правою стороною профілю. Дійсний розмір кроку профілю різі дорівнює середньому арифметичному двох значень кроку, обміряних за правою та лівою сторонами профілю, поділеному на число витків n на довжині згвинчення.

Кут профілю вимірюють окремо за двома його половинами, щоб перевірити не тільки величину кута, а й перпендикулярність бісектриси кута до осі різи. Половину кута профілю вимірюють на двох сусідніх витках у діаметрально протилежних сторонах контуру нарізного виробу (рис. 2.140, ж та к). Рекомендують кожну половину кута вимірювати кілька разів, наприклад, 5 разів – при кроці $P = 0,5 \dots 1$ мм; 4 рази – при $P = 1,25 \dots 1,5$ мм і 3 рази – при P понад 1,5 мм.

Обертанням маховика кутомірної головки суміщають середню штрихову лінію сітки кутомірної головки з контуром правої сторони профілю різи і за кутомірною шкалою відлічують значення правої половини кута у верхньому положенні. Наприклад, одержаний відлік $\alpha_1 / 2 = 29^\circ 56'$. Аналогічно, переміщуючи зображення профілю різи за допомогою поздовжнього мікрогвинта головки, суміщають перехрестя сітки кутомірної головки з контуром лівої сторони профілю різи, а потім обертанням маховика з накаткою суміщають середню штрихову лінію сітки з контуром лівої сторони різи. Одержаний відлік $\alpha_3 / 2 = 329^\circ 58'$. Отже, значення вимірюваного кута $\alpha_3 / 2$ дорівнює $360^\circ - 329^\circ 58' = 30^\circ 02'$.

Обертаючи мікрогвинт поперечного переміщення столу, переводять зображення протилежної, тобто нижньої, сторони профілю різи у поле зору окулярної головки і за вищеписаною методикою знімають відліки половини кута лівої та правої сторін профілю різи. Припустимо, одержані відліки: $\alpha_4 / 2 = 29^\circ 58'$ та $\alpha_2 / 2 = 330^\circ 06'$ (значення кута $\alpha_2 / 2 = 360^\circ - 330^\circ 06' = 29^\circ 54'$).

Розраховують середнє арифметичне значення половини кута за результатами вимірювання для правої та лівої сторін профілю зверху і знизу різи.

Отримуємо

$$\alpha_2 / 2_{\text{прав}} = (29^\circ 56' + 29^\circ 54') / 2 = 29^\circ 55'; \quad \alpha_2 / 2_{\text{лів}} = (30^\circ 02' + 29^\circ 58') / 2 = 30^\circ.$$

Визначають похибку $\Delta\alpha/2$ правої та лівої половин кута профілю як різницю дійсного і номінального значень половини кута профілю різи:

$$\Delta\alpha / 2_{\text{прав}} = 29^\circ 55' - 30^\circ = -0^\circ 05'; \quad \Delta\alpha / 2_{\text{лів}} = 30^\circ - 30^\circ = 0^\circ.$$

$$\text{Похибка кута } \Delta\alpha / 2 = (|0^\circ 05'| + |0^\circ|) / 2 = 0^\circ 02' 30''.$$

2.5.10. Проектори

Вимірювальні проектори (ГОСТ 19795–82) призначені для вимірювань і контролю лінійних та кутових розмірів виробів зі складним контуром: профільних шаблонів, дрібномодульних зубчастих коліс, різального інструменту, нарізних виробів і т. ін. Проектори дозволяють одержувати на екрані збільшене зображення контуру виробу при вимірюваннях у світлі, що проходить (діаскопічна проекція), або зображення повернті виробу при вимірюваннях у відбитому світлі (епіскопічна проекція).

Другий метод менш точний, його застосовують, наприклад, коли необхідно обміряти розмір на поверхні виробу.

У проекторах об'єктив дає збільшене в 10, 20, 50 та 100 разів зображення предмета на екрані. Від джерела світла 1 (рис. 2.141) через конденсор 2 паралель-

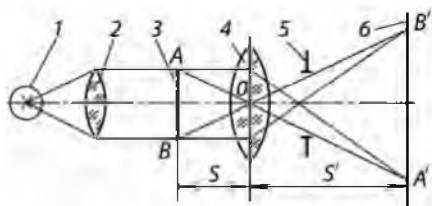


Рис. 2.141. Принципова оптична схема проектора

ний пучок променів освітлює вимірюваний предмет 3. Об'єктив 4 дає перевернуте збільшене зображення предмета на екрані 6. Для усунення помилки вимірювання, яка могла б виникнути за невеликого розфокусування, апертурну діафрагму 5 установлюють у задній фокальній площині об'єктива 4. Із подібності трикутників AOB та $B'O'A'$ виходить, що збільшення проектора визначається співвідношенням

$$u = s' / s.$$

Вимірювання і контроль на проекторах загального призначення можна виконувати двома методами: порівнянням контуру виробу, спостережуваного на екрані, з кресленником, виконаним у масштабі збільшення, і координатним методом за допомогою мікрометричного переміщення предметного столу і послідовного поєднання меж зображення предмета з маркою, нанесеною на екрані.

Великий проектор БП має освітлювальну і проекційну оптичні системи (рис. 2.142, а). Освітлювач складається з лампи 1, конденсора 2, світлофільтра 3, змінного конденсора 4 і дзеркала 5. Паралельні промені освітлюють вимірюваний виріб 7, установлений на предметному склі 6. Тіньовий контур виробу відбивається від дзеркала 8 і проектується об'єктивом 9 через призму 10 і дзеркало 11 на екран 12. Збільшення змінних об'єктивів 9 становить 10, 20 та 50^x. Кожному об'єктиву відповідає свій змінний конденсор 4, що забезпечує рівномірне освітлення об'єктива.

При вимірюваннях у відбитому світлі, замість дзеркала 8, використовують напівпрозоре скло. Промені світла проходять через скло, відбиваються від поверхні виробу 7 і поверхні напівпрозорого скла і потрапляють в об'єктив 9. Зображення на екрані виходить менш чітке.

Проектор БП (рис. 2.142, б) має станину 1 зі стояком 3, всередині якої штурвалом 5 при звільненому стопорі 4 переміщується вертикальна колонка 2. На колонці встановлено основу 6 вимірювального столу 8 з освітлювачем 7. На середній частині станини є патрубок, у якому кріпляться об'єктиви 9 і револьверний пристрій 10 зі змінними дзеркалами 11. У верхній частині станини на кронштейні встановлено дзеркало 12 і передбачено драпірування 13 для затемнення екрана 14. Діаметр екрана дорівнює 600 мм. Конструкція та основні метрологічні показники відлікових пристроїв вимірювального столу проектора такі ж, як у мікроскопа БМИ.

Освітлювач 7 проектора можна встановити так, щоб виріб освітлювався збоку горизонтальними потоками світла, спрямованими безпосередньо в об'єктив 9. Револьверний пристрій при цьому повертають на 90° і відкривають об'єктив. При вимірю-

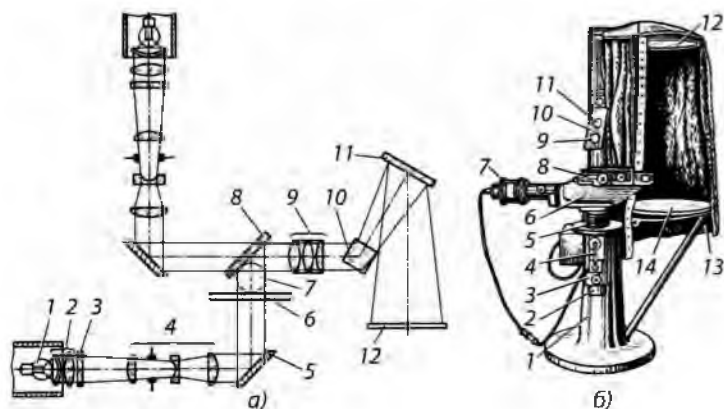


Рис. 2.142. Великий проектор БП:

а – оптична схема; б – зовнішній вигляд

вання у відбитому світлі освітлювач 7 встановлюють вертикально над револьверним пристроєм, у якому дзеркало 11 замінюють напівпрозорим дзеркалом, що пропускає світло на поверхню виробу. Промені, відбиті напівпрозорим дзеркалом від виробу, прямують в об'єктив 9.

Фокусування об'єктива 9 на виріб перед вимірюванням здійснюють вертикальними переміщеннями столу штурвалом 5. Різкість зображення тіньового контуру виробу на екрані регулюють, змінюючи діаметр діафрагми конденсора 4. Для вимірювання довжини та кутів виробів на екран 14 нанесено штрихові перехрестя, напрям ліній яких збігається з напрямом переміщень столу, і дві суцільні лінії, що проходять через центр перехрестя під кутом 60° одна до одної.

Годинниковий проектор типу ЧП використовують для контролю та вимірювань дрібних виробів. Лампа 1 (рис. 2.143, а) через конденсор 2 зі світлофільтром 3 освітлює виріб, установлений на предмет-

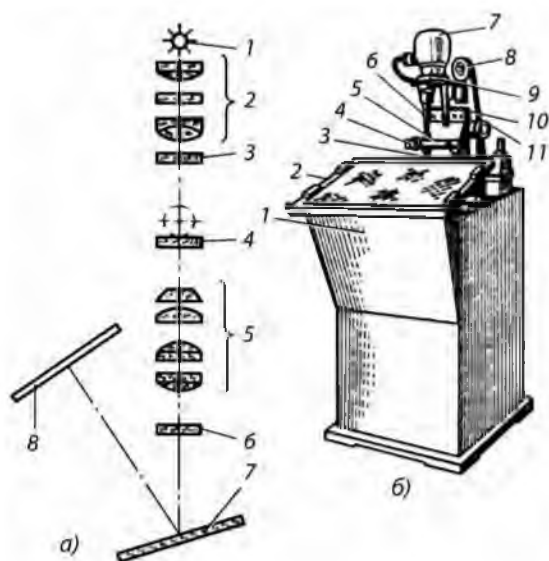


Рис. 2.143. Годинниковий проектор ЧП:

а – оптична схема; б – зовнішній вигляд

- 1) поєднання проєктованого контуру з номінальним контуром виробу, виконаним у масштабі, відповідному збільшенню об'єктива;
- 2) порівняння зображення з креслеником, на який нанесені два контури виробу, відповідні його граничним розмірам; профіль додаткового виробу повинен лежати між його граничними контурами;
- 3) вимірювання розмірів контуру виробу за допомогою мікрометричних пристроїв вимірювального столу;
- 4) вимірювання відхилень зображення контуру від зразкового профілю за допомогою вимірювального столу або масштабної лінійки.

Кресленики виробу виготовляють на ватмані, кальці, целофані, плексигласі і закріплюють на екрані. Збільшення об'єктива слід вибирати так, щоб можна було спостерігати весь вимірюваний розмір. Процес вимірювань на проекторах аналогічний до вимірювань на мікроскопах.

ному столі 4. Об'єктив 5 із захисним склом 6 через дзеркало 7 проєктує тіньовий контур виробу на екран 8. Під час роботи у відбитому світлі виріб освітлюється знизу через предметне скло спеціальним освітлювачем. На корпусі 1 проектора (рис. 2.143, б) встановлені змінний об'єктив 3 і стояк 10, на який закріплені освітлювач 7 і рухомий вимірювальний стіл 5 із предметним склом. Стіл має поздовжній 11 та поперечний 4 мікростави. Маховик 8 переміщує стіл вертикально при фокусуванні об'єктива. Змінні конденсори 6 встановлені на поворотному револьверному пристрої 9. Вони мають збільшення 10, 20, 50, 100 та 200^x. Розміри екрана 2 становлять 560×460 мм.

Для контролю та вимірювання виробів на проекторах використовують такі методи:

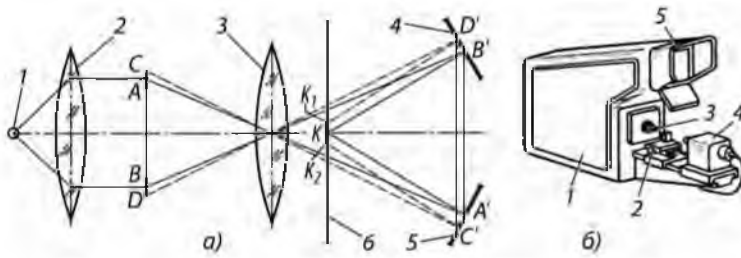


Рис. 2.144. Проектор масового контролю ПМК:

a – оптична схема; *б* – зовнішній вигляд

Проектори масового контролю ПМК виробів працюють на основі методу поєднання. Промені світла від лампи *1* (рис. 2.144, *a*) через конденсор *2* освітлюють виріб *AB*. Об'єктив *3* проектує тіньовий контур через дзеркала *4* та *5* на екран *6*, розташований над об'єктивом. Якщо поверхня дзеркал перпендикулярна до осі об'єктива, то на екран проектується тіньовий контур *A'B'* виробу і екран затемнений. За зразковим виробом кут повороту дзеркал вибирають так, щоб лінії контуру *A'* та *B'* зійшлися на одній лінії *K* екрана. При цьому екран освітлюється рівномірно півтінню: одна половина екрана освітлена дзеркалом *4*, а друга – дзеркалом *5*. Після заміни зразка виробом, що перевіряється, *CD* великого розміру на екрані з'явиться темна смуга K_1K_2 . Відповідно, якщо розмір виробу менший, ніж зразок, то на екрані з'являється світла смуга за рахунок накладення світлових потоків від двох дзеркал. Ширина затемнених та освітлених смуг на екрані $l = \Delta l \Gamma$, де Δl – відхилення розміру виробу зразка; Γ – збільшення проектора. Для контролю використовують дві пари дзеркал, першу з яких настроюють за найменшим граничним розміром виробу, другу – за найбільшим. Світла смуга для першої пари дзеркал і темна смуга для другої пари свідчать про брак.

Проектор (рис. 2.144, *б*) складається з корпусу *1*, предметного столу *2*, освітлювача *4*, об'єктива *3* та екрана *5* із козирком. У середині корпусу біля задньої стінки встановлені дві вертикальні штанги, по яких можна переміщувати і фіксувати в потрібному положенні утримувачі дзеркал. На проекторі можна одночасно контролювати до п'яти розмірів. Для кожного розміру використовуються дві пари дзеркал. Дзеркала можна повертати навколо горизонтальної осі для зближення окремих зображень на екрані і навколо вертикальної осі – для настроювання за розміром.

2.5.11. Основи інтерференційних методів вимірювань

Світло поширюється у вигляді електромагнітних хвиль, тому параметри світла, наприклад освітленість, у кожній точці простору безперервно змінюються. *Інтерференція світла* – складання когерентних світлових потоків, за якого відбувається посилення або ослаблення сумарного світлового потоку. Когерентними називають хвилі, що зберігають постійну різницю фаз при взаємодії. У техніці, як правило, когерентні світлові потоки одержують шляхом розкладання світла, що йде від одного джерела, на окремі промені.

Хвилі, які в точці зустрічі мають різницю фаз $\Delta\phi$, кратну парному значенню числа π (числу півхвиль), збігаються за фазою: $\Delta\phi = 2k\pi$, де $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ – будь-яке ціле число. Амплітуди таких хвиль складаються (рис. 2.145, *a*), і відбувається посилення освітленості. Якщо хвилі коливаються в різних фазах (рис. 2.145, *б*), тобто $\Delta\phi = (2k + 1)\pi$, то вони взаємно гасяться, і освітленість зменшується.

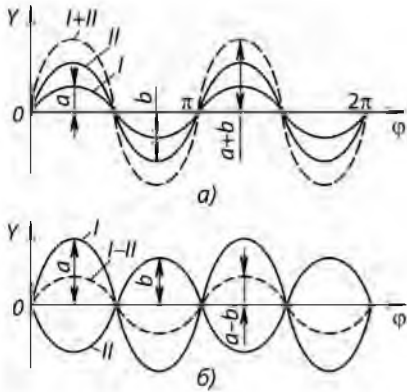


Рис. 2.145. Схеми складання когерентних світлових потоків:
a – з посиленням освітленості; *b* – з ослабленням освітленості

Різниця фаз світлових хвиль у точці зустрічі пов'язана з оптичною різницею ходу ΔL світлових променів і довжиною λ світлових хвиль співвідношенням $\Delta\phi = 2\pi\Delta L/\lambda$. Тому посилення освітленості відбувається в точках простору, в яких оптична різниця ходу когерентних світлових хвиль дорівнює парному числу півхвиль:

$$\Delta L = (\lambda/2\pi) \cdot \Delta\phi = (\lambda/2\pi) \cdot 2k\pi = 2k(\lambda/2) = 0; 2(\lambda/2); 4(\lambda/2); 6(\lambda/2); \dots$$

Ослаблення освітленості відбувається в точках простору, в яких оптична різниця ходу дорівнює непарному числу півхвиль:

$$\Delta L = \lambda/2; 3\lambda/2; 5\lambda/2; 7\lambda/2; \dots$$

Інтерференційна картина виникає при нахваленні плоскої скляної пластини *I* на дзеркальну поверхню *2* під кутом α , близьким до нуля (рис. 2.146, *a*). Промінь світла *I* ділиться на нижній грані пластини на два промені. Відбитий промінь *II* виходить із пластини, а заломлений промінь *III* проходить повітряний зазор, відбивається від поверхні і знову проходить крізь скляну пластину. Після виходу з пластини промені *II* та *III* інтерферують. Інтерференційну картину можна спостерігати візуально або через окуляр.

Промені *II* та *III* проходять у пластині однаковий шлях. Оптична різниця ходу променів у повітрі $\Delta L' = (CD + DE - GL)$. За кутів, близьких до нуля, $\Delta L' = 2h$. На межі більш густого оптичного середовища з менш густим оптичним середовищем при віддзеркаленні відбувається зрушення оптичної різниці ходу на довжину світлової півхвилі $\Delta L'' = \lambda/2$, тому для променів *II* та *III* повна різниця ходу $\Delta L = \Delta L' + \Delta L'' = (2h + \lambda/2)$. Таким чином, оптична різниця ходу променів змінюється вздовж пластини.

За висоти повітряного зазору, що дорівнює цілому числу півхвиль, $h = 0; \lambda/2; 2\lambda/2; 3\lambda/2$ і т. ін., різниця оптичного ходу променів становитиме непарне число півхвиль: $\Delta L = \lambda/2; 3\lambda/2; 5\lambda/2; 7\lambda/2$ і т. ін. і на пластині спостерігатимуться темні інтерференційні смуги 0, 1, 2, 3 ... (рис. 2.146, *b*). За висоти повітряного зазору $h = (1/2)\lambda/2; (3/2)\lambda/2; (5/2)\lambda/2; (7/2)\lambda/2$ і т. ін. різниця оптичного ходу становитиме парне число півхвиль $\Delta L =$

$= 2\lambda/2; 4\lambda/2; 6\lambda/2; 8\lambda/2; \dots$ і на пластині спостерігатимуться світлі смуги. Першу темну смугу, що збігається з ребром повітряного клину, прийнято називати нульовою смугою, а подальші – першою, другою і т. ін.

Інтерференційні методи лінійних вимірювань ґрунтуються на тому, що зазор між пластинною і віддзеркалювальною поверхнею можна визначити як добуток довжини півхвилі світла на номер смуги. При інтерференційних вимірюваннях використовують біле (складне) або моно-

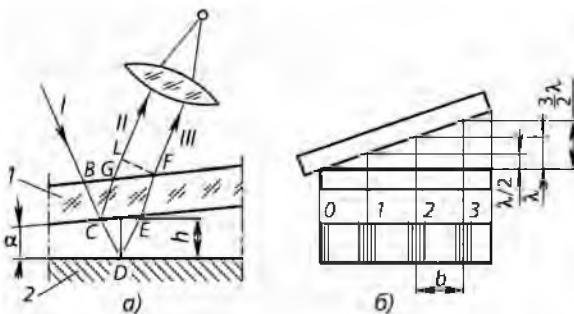


Рис. 2.146. Інтерференція світла на скляних пластинках:

a – схема руху променів; *b* – інтерференційна картина

хроматичне світло. При освітленні білим світлом інтерференційна картина у міру віддалення від ребра клину розпливається: темні смуги яснішають, а світлі (веселкового забарвлення) – втрачають яскравість. Практично вимірювання в білому світлі можна проводити тільки до 6-ї або 7-ї смуги. Найбільша висота вимірюваного повітряного зазору становитиме $h = 6(\lambda/2) = 6(0,6/2) = 1,8 \approx 2$ мкм, де $\lambda = 0,6$ мкм – довжина хвилі білого світла.

Ширина b інтерференційних смуг (рис. 2.146, б) – відстань між серединами двох сусідніх смуг – залежить від довжини світлової хвилі λ і кута клину α : $b = (\lambda/2\alpha)$. За шириною смуг визначають кут між поверхнями, що накладаються. На цьому ґрунтуються інтерференційні методи контролю площинності поверхонь.

Монохроматичне світло при технічних вимірюваннях одержують, пропускаючи біле світло через світлофільтр. Світлі смуги мають колір фільтра, а темні – абсолютно чорні. Чіткість інтерференційної картини зберігається для більшої кількості смуг, тому розмір вимірюваного зазору може перевищувати 2 мкм.

2.5.12. Плоскі скляні пластини

Плоскі скляні пластини (ГОСТ 2923–75) застосовують для інтерференційних вимірювань площинності та притирання поверхонь розміром до 120 мм. Пластини випускають двох типів: 1) нижні пластини (рис. 2.147, а) для притирання кінцевих мір довжини при вимірюваннях інтерференційними методами, а також для перевірки притирання та площинності поверхонь кінцевих мір довжини і кутових мір; 2) верхні пластини (рис. 2.147, б) для вимірювання кінцевих мір довжини технічним інтерференційним методом.

Нижні пластини випускають чотирьох типорозмірів і класів точності 1 та 2 (табл. 2.6). Верхні пластини мають скіс під кутом $10...12^\circ$ від ребра AB ; їх випускають одного типорозміру. На робочу поверхню верхніх пластин, що має допустиму площинність не більше ніж 0,3 інтерференційної смуги, нанесені дві тонкі лінії CD та EF перехрестя.

Повірка притирання та площинності мір. При повірці притирання скляну пластину притирають до вимірювальної поверхні міри і спостерігають інтерференційну картину. На поверхні кінцевих мір довжини і кутових мір 1-го та 2-го розряду, а також мір класів точності 00 та 0 не повинно спостерігатися інтерференційних смуг і кольорних відтінків. У кінцевих мір довжини 3-го та 4-го розряду

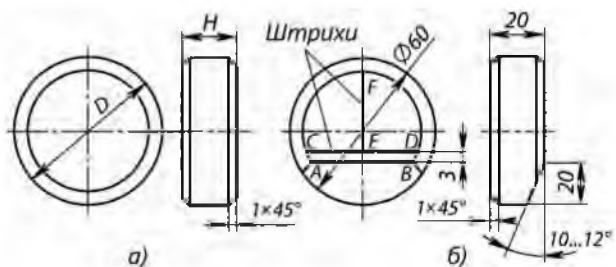


Рис. 2.147. Скляні пластини для інтерференційних вимірювань:

а – нижня; б – верхня

Таблиця 2.6. Основні дані нижніх пластин

Тип пластини	D	H	Допуск площинності в інтерференційних смугах	
	мм		клас 1	клас 2
ПИ 60	60	30	0,1	0,3
ПИ 80	80	25		
ПИ 100	100			
ПИ 120	120	30	0,2	0,4

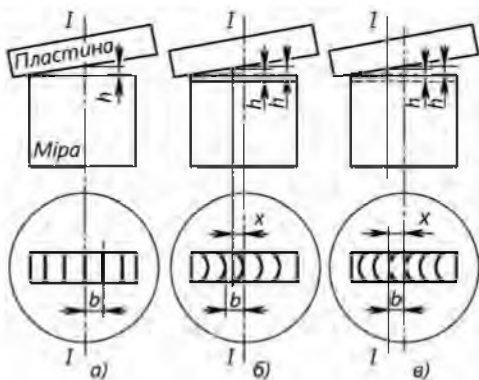


Рис. 2.148. Інтерференційні картини на різних поверхнях:

a – ідеально плоска; *б* – опукла; *в* – увігнута

3-го, 4-го та 5-го розрядів і кутових мір (окрім багатогранних призм) визначають за допомогою нижніх скляних пластин. Пластину накладають на ребро міри під кутом, що забезпечує появу інтерференційної картини на поверхні міри. За характером викривлення інтерференційних смуг судять про площинність поверхні. У разі ідеально плоскої поверхні смуги будуть прямі (рис. 2.148, *a*), оскільки висота повітряного клину в перетинах, паралельних перетину $I-I$, – постійна. Якщо поверхня опукла (рис. 2.148, *б*), то висота повітряного клину дорівнює h , по краях лежить ближче до ребра міри, ніж перетин $I-I$, і смуги будуть зігнуті до ребра клину. Відхилення від площинності Δl можна визначити за відношенням відхилення x кінців ліній від серединних точок до ширини смуги b :

$$\Delta l = \pm(x/b)(\lambda/2).$$

Для опуклої поверхні (рис. 2.148, *б*) $x/b = 0,5$ і $\Delta l = -0,5 \cdot 0,6/2 = -0,15$ мкм. Для увігнутої поверхні (рис. 2.148, *в*) смуги будуть зігнуті від ребра клину: $x/b = 1$ і $\Delta l = 1 \cdot 0,3 = 0,3$ мкм.

Площинність мір повіряють у поздовжньому та поперечному напрямках. Знайдені відхилення порівнюють із тими, що допускаються за ГОСТом 9038–83 для кінцевих мір і за ГОСТом 2875–75 для кутових мір. Відхилення від площинності кінцевих мір довжини 1-го та 2-го розряду і багатогранних призм перевіряють аналогічно на інтерферометрах, які дозволяють одержати чіткішу інтерференційну картину. Для вимірювання відхилень від площинності кінцевих мір довжини 3-го, 4-го та 5-го розрядів можна також використовувати вимірювальні прилади, наприклад мінікатори або мікатори з малим вимірювальним зусиллям.

Технічний інтерференційний метод перевірки кінцевих мір довжини. Міру II , що повіряється, і початкову міру I притирають до нижньої скляної пластини 1 (рис. 2.149, *a*) у положеннях I та II так, щоб вони щільно стикалися вздовж довгого ребра, а короткі ребра лежали на одній прямій. На поверхні мір з боку пластини не повинно бути брудно-жовтих розводів, які свідчать про наявність шару повітря або невіддаленого шару змащувального матеріалу між мірами і пластиною. Довжину міри повіряють у серединній O' і кутових $1', 2', 3', 4'$ точках. У положення II , в якому повіряють кутові точки $2'$ та $4'$, міру II переводять із положення I , повертаючи на 180° без відриву від пластини.

і класів точності 1, 2 та 3, а також у кутових мір 3-го розряду і класу точності 2 допускається поява на поверхні відтінків у вигляді світлих плям. У кінцевих мір довжини 5-го розряду і класів точності 2 допускаються відтінки жовтого кольору в робочій зоні вимірювальної поверхні.

Сила зсуву кінцевих мір довжини, що відповідає вимогам до притирання, становить 29,4... 78,5 Н. Кількісний критерій притирання кутових мір полягає в тому, що кутова міра типу II з кутом $\alpha = 60^\circ$, притерта до міри, що повіряється, не повинна відриватися під дією власної ваги за горизонтального положення мір.

Відхилення від площинності вимірювальних поверхонь кінцевих мір довжини

При вимірюваннях серединної довжини на поверхні мір 3 під дуже малим кутом накладають верхню скляну пластину 2 (рис. 2.149, б). Штрих перехрестя CD має бути паралельний коротким ребрам, а точка перехрестя має збігатися із серединною точкою O . Злегка натискаючи на верхню пластину і змінюючи її нахил, домагаються того, щоб на мірі, яку повіряють, інтерференційні смуги розташувалися паралельно штриху CD . При вимірюваннях найчастіше зустрічаються три випадки:

1. Серединні довжини міри Π та I – рівні (рис. 2.150, а). Перші інтерференційні смуги рівновіддалені від ребра AB клину. У цьому випадку, похитуючи пластину, можна добитися, щоб смуга 1 на мірі I проходила через точку перехрестя CD та FE , а смуга 1 на мірі Π збігалася з лінією CD .

2. Серединна довжина міри Π – менша, ніж у міри I (рис. 2.150, б). Смуга 1 на мірі Π – ближча до ребра AB . Суміщають точку перехрестя зі смугою 1 на мірі I , на око оцінюють відношення відстані x між лінією CD і смугою 1 на мірі Π до ширини смуг b . Відхилення довжини міри Π від довжини міри I становить $\Delta l = -(x/b)(\lambda/2)$. У цьому випадку $x/b = 0,5$ і $\Delta l = -0,5 \cdot 0,3 = -0,15$ мкм.

3. Серединна довжина у міри Π – більша, ніж у міри I (рис. 2.150, в). Смуга 1 на мірі Π – ближча до ребра AB . Лінію CD суміщають зі смугою 1 міри Π і зсув x оцінюють уздовж лінії EE' . У цьому випадку $x = 0,3b$ і $\Delta l = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09$ мкм.

Якщо між лінією CD і ребром AB лежать не смуги 1, то при визначенні серединної довжини потрібно враховувати не тільки дробову частину x/b довжини хвилі, а й порядок інтерференційних смуг.

При вимірюваннях по кутових точках мір можна використовувати пластини без скосу. У цьому випадку відлік здійснюють за лінією стику мір від ребра клину. Якщо міри притерті в положенні I (рис. 2.149, а) і верхня пластину притиснута до ребер мір, на яких розташовані точки 3 та 4 (рис. 2.149), то відхилення довжини міри Π (рис. 2.149, а) у точці 3' від довжини міри I у точці 4 становить

$$\Delta l = [(n_{II} - n_{II}) - x/b](\lambda/2) = (1 - 2 - 0,8) \cdot 0,3 = -0,54 \text{ мкм,}$$

де $n_{II} = 1$ та $n_{II} = 2$ – номери смуг на мірах I та Π , між якими відлічується дробова частина $x/b = 0,8$.

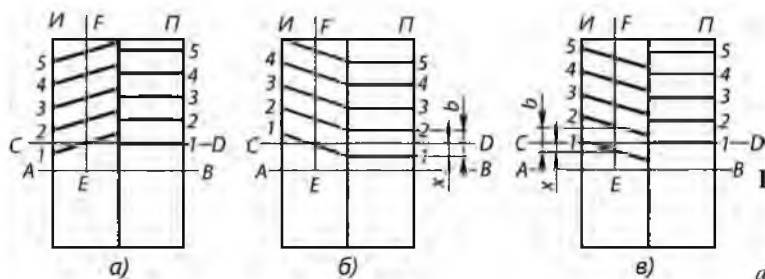


Рис. 2.150. Вимірювання серединної довжини кінцевих мір:

а – $\Delta l = 0$; б – $\Delta l < 0$; в – $\Delta l > 0$

У положенні *I* (рис. 2.149, *a*) повіряють також відхилення довжини міри L у точці I' від довжини міри I у точці 2, притиснувши верхню пластину до протилежного ребра. У положенні *II* повіряють довжину міри у точках $2'$ та $4'$.

Різниця між найменшою та найбільшою вимірними довжинами дорівнює відхиленню кінцевої міри від плоскопаралельності.

2.6. ПНЕВМАТИЧНІ ПРИЛАДИ

2.6.1. Принцип дії і класифікація

Пневматичні вимірювання довжини можна виконувати безконтактним та контактним методами. За першим методом (рис. 2.151, *a*) повітря під постійним тиском P_1 проходить через вхідне сопло 1 у камеру 2, з якої виходить через вимірювальне сопло 3.

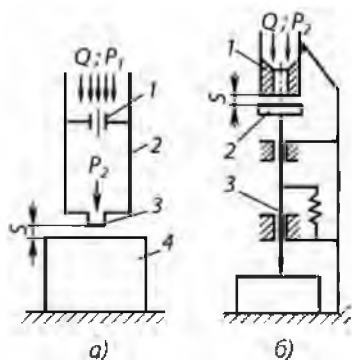


Рис. 2.151. Методи пневматичних вимірювань довжини:
a – безконтактний; *б* – контактний низького тиску

Тиск P_2 і витрата повітря Q у камері залежать від відстані S між соплом 3 і поверхнею деталі 4; значення S визначається відхиленнями розміру деталі і може бути зміряно витратоміром або манометром, градуйованими в одиницях довжини. Під час вимірювань контактним методом (рис. 2.151, *б*) прилад реагує на зміну відстані між соплом 1 і заслінкою 2, сполученою з вимірювальним наконечником 3. Похибки пневматичних вимірювань залежать від чистоти стисненого повітря і коливань його тиску, конструкції вимірювальних сопел і виробів. Тому повітря ретельно фільтрують, а його тиск підтримують строго постійним. Для вимірювань використовують спеціальні насадки – сопла, пробки, встановлювальні кільця, контактні головки і т. ін.

Розрізняють пневматичні довжиноміри *низького та високого тиску*, за вимірювальним механізмом – *манометричні та ротаметричні*, за методом вимірювань – *диференціальні та недиференціальні*. Вони мають такі переваги:

- 1) високу точність вимірювань (до 0,1 мкм);
- 2) можливість безконтактних вимірювань;
- 3) зручність вимірювань у важкодоступних місцях;
- 4) можливість одночасного контролю кількох розмірів та ін.

У пневматичних довжиномірах низького тиску, як правило, застосовують манометричний вимірювальний механізм, а у довжиномірах високого тиску – ротаметричний.

2.6.2. Довжиноміри низького тиску

У пневматичних довжиномірах низького тиску чутливим елементом є водяний манометр. Повітря через вентиль 1 (рис. 2.152) надходить у прилад, потім через фільтр 2 і попередній стабілізатор тиску 3 проходить у камеру 6 і далі через вхідні сопла 7 і робочу камеру 8 спрямовується до вимірювального оснащення, наприклад, сопла 10. Надлишок повітря з камери 6 виходить в атмосферу через трубку 5, яка занурена на глибину 500 мм у воду, що заповнює корпус 4, тому тиск у камері 6 строго постійний і

рівний 5 кПа. Тиск у камері 8 визначається за рівнем води в манометричній трубці 9, сполученій із корпусом 4. За постійною міліметровою шкалою 13 перевіряють заповнення приладу водою. Змінна шкала 12 слугує для вимірювання відхилень вимірюваного розміру виробу 11.

Довжиноміри виготовляють із числом манометричних трубок 1...7 для одночасного або роздільного вимірювання двох і більше розмірів. Ціна поділки шкали 12 змінюється в межах 0,5...20 мкм. Діапазон вимірювань, залежно від оснащення, становить 0,02...0,63 мм. Межа основної допустимої похибки приблизно дорівнює ціні поділки шкали.

На рис. 2.153, а показано прилад із двома відсічними шкалами і вимірювальною пробкою зі зразковим кільцем для установлення приладу на нуль. Межі вимірювання можна міняти від 0,02 до 0,20 мм, оскільки вони залежать від розмірів сопел, які застосовуються у приладі. При межі вимірювання 0,02 мм гранична похибка показань дорівнює 0,0005 мм, а при найбільшій межі вимірювання 0,20 мм похибка відповідно дорівнює 0,005 мм.

Пневматичний довжиномір низького тиску. Чутливим елементом довжиноміра є чашковий водяний манометр, об'єднаний із водяним стабілізатором тиску. Характеристики пневматичних довжиномірів низького тиску (ГОСТ 11198-75) наведено у табл. 2.7. Стиснене повітря після відкриття напрямного пневморозподільвача 1 (рис. 2.153, б) проходить через фільтр і стабілізатор тиску 2, а потім надходить до резервуара 3, заповненого водою. Робочий тиск стисненого повітря залежить від глибини занурення повітряної трубки 8 у воду. Зазвичай він дорівнює $0,005 \pm 0,0005$ МПа (500 ± 5 мм вод. ст.). Якщо тиск повітря, що надходить до стабілізатора, перевищить вказане значення, то надлишки повітря виходитимуть через стовп рідини у навколишнє середовище. Повітря під робочим тиском надходить до вхідного сопла 7 і від нього – до вимірювального оснащення 6 і до манометричної трубки 4 чашкового манометра зі шкалою 5. Манометрична трубка за допомогою каналу сполучається з резервуаром, заповненим водою.

Довжиноміри поставляють секціями; вони можуть мати від одного до семи відділкових пристроїв, що дозволяють контролювати від одного до семи параметрів одночасно.

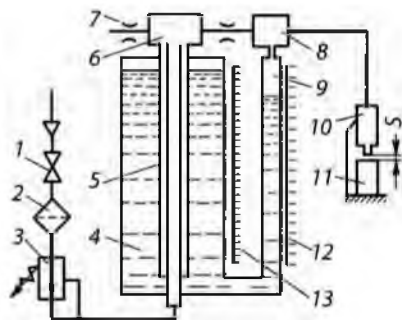


Рис. 2.152. Пневматичний довжиномір

Таблиця 2.7. Характеристики пневматичних довжиномірів низького тиску, мкм

Ціна поділки	Межа вимірювання довжиноміром, оснащеним			Межа основної допустимої похибки	Розмах показань довжиноміра	
	соплом	пробкою	головкою		із соплом та головкою	із пневмопробкою
0,5	20	—	—	0,5	1/2 поділки	1/3 поділки
1	40	20	40	1		
2	80	40	80	2		
5	160	80	160	3		
10	—	160	320	8		
20	—	—	630	15		

Примітки: 1. Робочий тиск довжиноміра $0,005 \pm 0,0005$ МПа (500 ± 5 мм вод. ст.). 2. Витрата повітря при вимірюванні одного параметра не більше 10 л/хв. 3. Тиск повітря у мережі живлення має бути 0,2–0,6 МПа ($2\text{--}6$ кгс/см²).

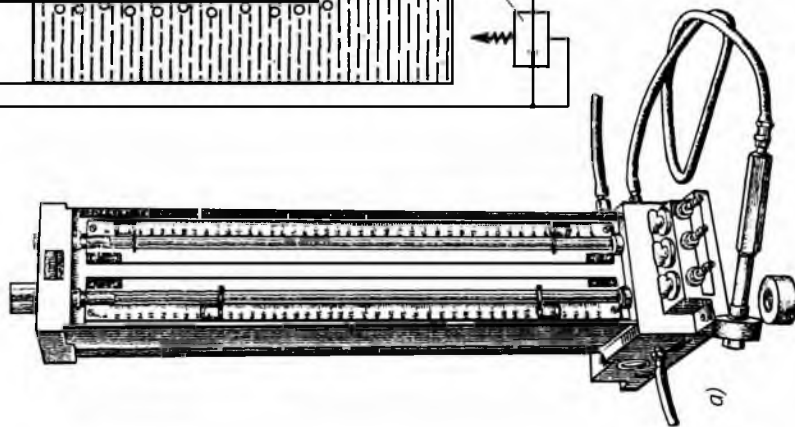
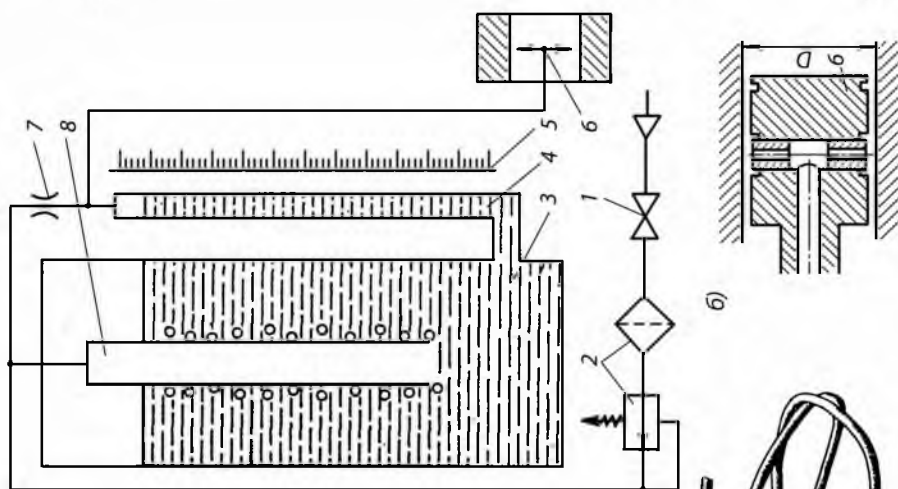
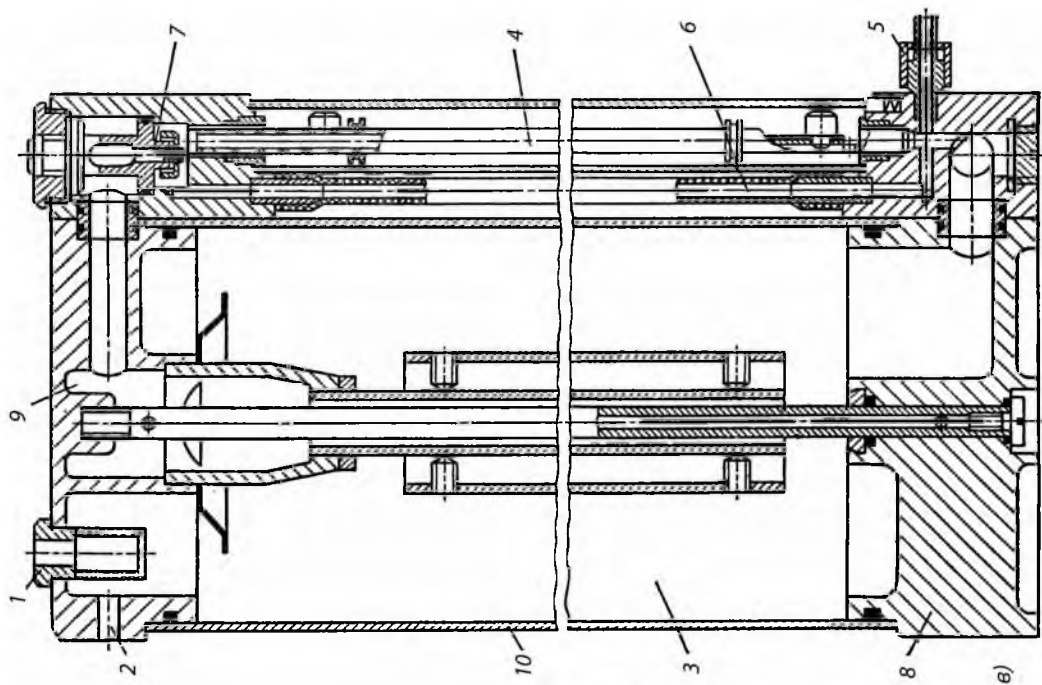


Рис. 2.153. Пневматичний довжиномір мод. 330 (а), його принципова схема (б) та будова (в)

Резервуар 3 (рис. 2.153, в), заповнений водою, утворений основою 8, циліндричною трубою 10 і кришкою 9. У кришці є два отвори: отвір 1 слугує для заливання води до резервуара, а отвір 2 – для сполучення резервуара з навколишнім середовищем.

Водяний манометр 4 розміщений поряд із резервуаром 3. Камера вимірювального тиску через вхідне сопло 7 сполучена з манометром, а через шланг 6 і штуцер 5 – із вимірювальним оснащенням.

При підготовці довжиноміра до вимірювань резервуар 3 до відмітки заповнюють підфарбованою водою і під'єднують до штуцера 5 вимірювальне оснащення. Довжиномір має бути приєднаний до повітряної мережі. Стабілізатор тиску регулюють так, щоб був чутний шум бульбашок повітря, що виходять, а при закритих вхідних соплах воду в манометричній трубці слід встановлювати на рівні нижньої відмітки.

Настроювання довжиноміра на розмір проводять по встановлювальних кільцях. Установлювальні кільця виготовляють п'яти класів точності номінальних діаметрів 2–160 мм. Кільця 1-го та 2-го класів точності мають по зовнішньому діаметру теплоізоляційний захист.

До вузлів та елементів пневматичних засобів вимірювання належать також фільтри, стабілізатори, блоки фільтрів зі стабілізаторами, вимірювальні сопла (з діаметром отвору 2 мм, посадочним діаметром 8 h7 мм і довжиною 76 мм) і пневматичні пробки (ГОСТ 14864–78). Пробки мод. 347 призначені для вимірювань діаметрів отворів 3–160 мм; вони мають хромовану напрямну частину. Пробки мод. 334 армовані твердим сплавом. Пробки з діаметром менше 27 мм виготовляють як одне ціле з вимірювальним соплом.

2.6.3. Довжиноміри високого тиску

Пневматичний довжиномір мод. 320 високого тиску (рис. 2.154, б). Основним елементом його є ротаметр – конічна скляна трубка 4, яка розширюється догори. У трубці є поплавець 5, який під час надходження стисненого повітря знизу трубки піднімається в ній і утримується в динамічній рівновазі. Зі збільшенням витрати повітря висота підйому поплавця зростає. Перед надходженням у трубку ротаметра повітря з мережі фільтрується у фільтрі 1, а потім проходить через стабілізатор 3. Фільтр призначено для остаточного очищення повітря від механічних домішок, мастила і вологи. Стабілізатор знижує тиск повітря до робочого тиску і підтримує його на заданому рівні. Повітря, пройшовши через конічну трубку і постійний дросель 6, змішується з повітрям, відведеним повз трубку 4 ротаметра через вентиль 7 паралельного пропуску повітря. Основний потік повітря надходить до вимірювального оснащення (пневматична пробка 2 або скоба (кільце) зі встановленими в ній вимірювальними соплами). Частина повітря через вентиль 8 викидається у навколишнє середовище. Вентилі 7 та 8 призначені для зміни положення поплавця в конічній трубці за незмінного значення робочого тиску і постійних параметрів вимірювального оснащення. Як вимірювальне оснащення, окрім пневматичних пробок, застосовують також вимірювальні сопла, контактні головки і вхідні сопла.

Характеристики пневматичних довжиномірів високого тиску (ГОСТ 14866–76) наведені у табл. 2.8. Пневматичний довжиномір мод. 320 побудовано за секційним принципом. У комплект секції з переналаджуваною шкалою або ціною поділки входить блок фільтрів зі стабілізатором тиску повітря і вимірювальне оснащення (вимірювальне сопло, пневматична пробка, скоба чи кільце).

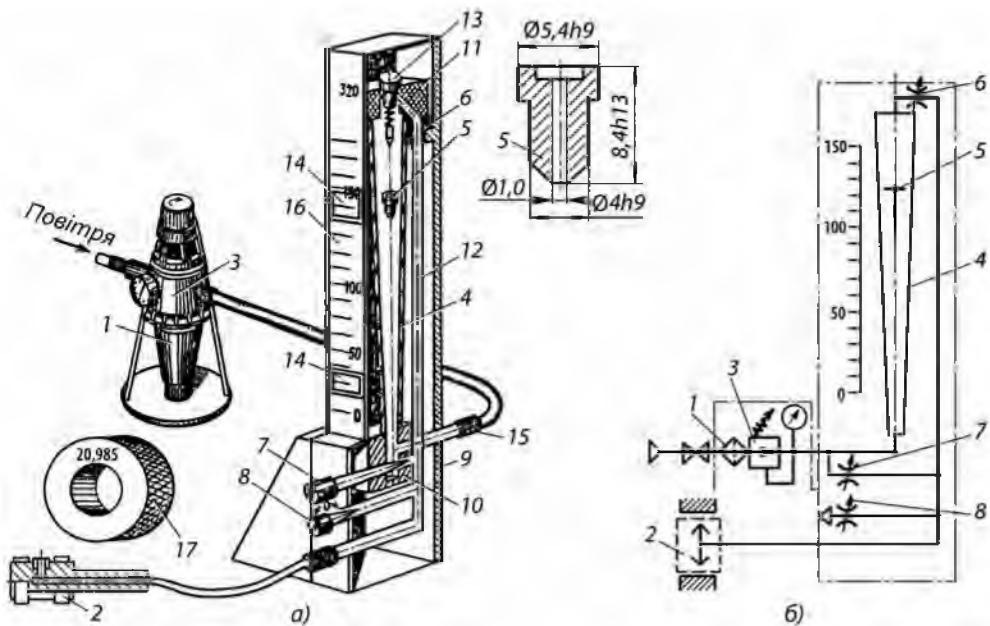


Рис. 2.154. Пневматичний довжиномір мод. 320 (а) і його принципова схема (б)

У металевому корпусі 9 (рис. 2.154, а) укріплені блок 10 регулювань і місток 11, між якими встановлені скляна конічна трубка 4 і шланг 12 із повітропроводом. У місток 11 вкручено обмежувач 13 переміщення поплавця 5, що складається зі штиря та пружини. Призначення обмежувача – амортизація удару поплавця, коли він різко піднімається при знятті вимірювального оснащення з контрольованого виробу. За трубкою 4 встановлено екран. Дросель 6 закріплено у виступі корпусу. У блоці регулювань розміщені вентилі 7 та 8 і штуцер 15 підведення стисненого повітря від блоку фільтра 1 зі стабілізатором 3. Прозору з поділками та цифрами шкалу 16 встановлено в пазах, виконаних у містку 11 і в блоці регулювань 10. Показчики 14 поля допуску утримуються в пазах, наявних у корпусі 9 довжиноміра.

Таблиця 2.8. Характеристики довжиномірів ротаметричного типу (ГОСТ 14866–76)

Розміри, мкм

Ціна поділки шкали	Діапазон вимірювань	Довжина поділки шкали, мм	Допустима основна похибка при вимірювальному оснащенні з діаметром сопла, мм				Розмах показань	Похибка повторного ввімкнення	Діаметр сопла, мм
			1	2	1	2			
			Сопло		Пробка				
0,2	10	4	—	±0,2	—	—	0,1	0,1	2
0,5	20	5	±0,5	±0,35	—	—	0,2	0,2	1; 2
1	35	5	±0,8	±0,6	±1,2	±1,2	0,4	0,4	1; 2
2	60	6	±1,5	±1,5	±2,5	±2,5	0,6	0,6	1; 2
5	100	9	±2,5	±2,5	±4	±4	1,2	1,2	1; 2
10	160	10	—	±6	—	±8	2	2	2

Перед вимірюваннями довжиномір з оснащенням, наприклад із пневматичною пробкою 2, настраюють на розмір по двох установлювальних кільцях 17, розміри яких повинні відповідати граничним розмірам контрольованого отвору. Вводять пробку в перше кільце, діаметр якого має дорівнювати найменшому граничному розміру контрольованого отвору, і вентилям 8 виводять поплавець 5 на нульову відмітку шкали (під час вигвинчування вентиля поплавець піднімається). Потім пневматичну пробку вводять у друге кільце, діаметр якого має дорівнювати найбільшому граничному розміру отвору, і вентилям 7 виводять його до відмітки шкали, яка відповідає верхній межі поля допуску контрольованого отвору або різниці діаметрів обох установлювальних кілець. Під час вигвинчування вентиля 7 поплавець опускається, а під час нагвинчування – піднімається.

Настроювання на розмір по кільцях повторюють, досягаючи точності настроювання не менше $\pm 1/3$ поділки для шкал із ціною поділки 0,2 та 0,5 мкм і $\pm 1/5$ поділки – для шкал із ціною поділки 1; 2,5 та 10 мкм. Після закінчення настроювання покажчики 14 меж поля допуску підводять до відповідних відміток шкали 16 довжиноміра. Після настроювання довжиноміра вводять пневматичну пробку 2 у контрольований отвір і знімають відлік показань за шкалою довжиноміра.

Для забезпечення надійної роботи довжиноміра вимірювальні сопла рекомендують промивати бензином із подальшим продуванням стисненим повітрям не рідше 1 разу на тиждень.

2.6.4. Пневматичні прилади диференціального типу

Найбільш зручні та ефективні пневматичні прилади диференціального типу. Окрім звичайних вимірювань лінійних розмірів, вони дають змогу оцінювати різницю двох розмірів, наприклад визначати овальність, конусність і т. ін.

Розглянемо принцип роботи диференціального приладу (рис. 2.155). Як чутливі елементи у цьому приладі застосовані сильфони 10 та 6, у яких один кінець запаяний, а інший пов'язаний із відповідною вимірювальною гілкою. Запаяні торці сильфонів зв'язані жорсткою рамкою 2, встановленою на плоских пружинах.

Перед вимірюванням прилад виставляють у нульове положення. Для цього під вимірювальне сопло 8 поміщають або зразкову деталь, або блок кінцевих мір 9, розмір якого дорівнює номінальному розміру вимірюваної деталі. Стабілізоване й очищене від домішок та вологи повітря подається в центральну гілку приладу, надходить у сильфони і виходить із них в атмосферу через вимірювальне сопло і сопло протитиску, переріз якого міняється гвинтом 7. Цим гвинтом здійснюють вирівнювання тиску в камерах сильфонів, тобто добиваються однакової витрати повітря на вимірювальній позиції та у вузлі протитиску.

Під час вимірювання, замість блоку кінцевих мір, ставлять вимірювану деталь. Зміна її розміру, порівняно з установлювальною мірою, викликає зміну зазору h і, отже, порушує рівність тиску у сильфонах. Різниця тиску спричинює зсув рамки 2 і зміну показань важільно-зубчастого механізму 3 зі стрілкою 4 за шкалою 5.

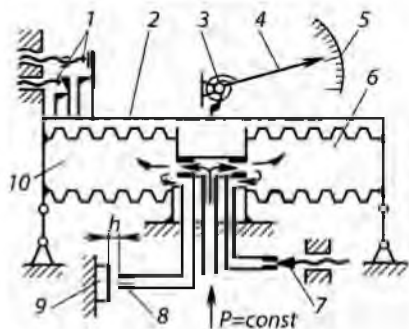


Рис. 2.155. Диференціальний сильфонний прилад

Цей пристрій можна використовувати для автоматичного або активного контролю. У схемі з цією метою передбачено регульовані електричні контакти 1, що дають змогу знімати і передавати інформацію про розмір контрольованої деталі.

Якщо правильно вибрати параметри схеми і пружинних елементів, то похибка диференціальних сильфонних приладів не перевищить десятих часток мікрометра.

Диференціальну схему вимірювань покладено в основу роботи приладу моделі 318. Замість стрілочного приладу, в ньому використовується оптико-механічна система індикації, як і в оптикаторі (див. підрозділ 2.5).

Пневматичний вимірювальний прилад мод. 318 (табл. 2.9) призначений для вимірювання лінійних розмірів (зовнішніх та внутрішніх розмірів, відхилень форми і розташування поверхонь) шляхом перетворення зміни тиску повітря, пов'язаного з вимірюваним параметром, у переміщення світлового індексу щодо шкали приладу. Прилад поставляють із вертикальним (рис. 2.156, а) або горизонтальним розташуванням шкали з вимірювальним соплом або пневматичною пробкою (ГОСТ 14864–78) з комплектом із двох установлювальних кілець (ГОСТ 14865–78).

Прилад мод. 318 – диференціальний пневматичний манометричного типу з оптичним відліковим пристроєм. Сильфони 1 (рис. 2.156, б) сполучені з рухомою рамкою 2, укріпленою на металевих мембранах 3. Рамка 2 пов'язана через кульку з важелем 4, на якому закріплено дзеркало 5.

Таблиця 2.9. Характеристики пневматичного приладу мод. 318

Розміри, мкм

Ціна поділки шкали	Діапазон вимірювань за шкалою	Похибка при оснащенні			Розмах показань	Варіація показань
		Одне сопло	Два сопла	Пневматична пробка		
0,1	10	0,1	0,2	0,15	0,08	0,1
0,2	20	0,2	0,4	0,3	0,16	0,2
0,5	50	0,5	1	0,8	0,40	0,5

Примітки: 1. Діаметр вимірювального сопла 2 мм. 2. Робочий тиск 0,117–0,157 МПа (1,2–1,6 кгс/см²). 3. Тиск повітря у живильній мережі 0,31–0,69 МПа (3,2–6 кгс/см²).

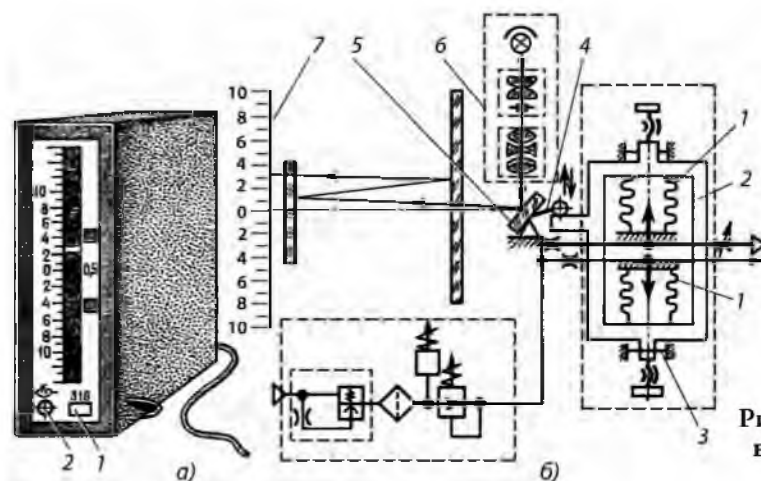
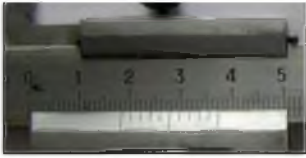


Рис. 2.156. Пневматичний вимірювальний прилад мод. 318

12. Яка область застосування штангенприладів?
13. Що таке шкала ноніуса і який її принцип роботи?
14. Перелічіть основні частини штангенприладів.
15. Які прилади належать до мікрометричних?
16. Із чого складається і як працює гладкий мікрометр?
17. Як здійснюють налагодження мікрометра для вимірювань?
18. Які особливості конструкції мікрометричного нутроміра?
19. Як налагоджують мікрометричний нутромір для проведення вимірювань?
20. Які похибки виникають у разі неправильного встановлення нутромірів і як їх позбутися?
21. Як поділяють важільно-механічні прилади на групи? Назвіть їхні характеристики.
22. Яка будова і принцип дії індикатора годинникового типу?
23. Яку ціну поділки шкали мають індикатори годинникового типу?
24. Яким чином застосовують індикатор годинникового типу?
25. Яка будова і принцип дії індикаторного нутроміра?
26. Як виконують налагодження і вимірювання індикаторним нутроміром?
27. За допомогою яких засобів вимірювання можна виконати настроювання індикаторного нутроміра на вимірювання?
28. Як влаштовані і який принцип дії мають однообертові і багатообертові індикатори?
29. Яку ціну поділки мають однообертові і багатообертові індикатори?
30. Яку будову, принцип дії і ціну поділки шкали мають важільні скоби?
31. Яку будову і принцип дії мають індикаторні скоби?
32. Як налаштовують важільні та індикаторні скоби для проведення вимірювань і як проводять вимірювання?
33. Яку будову, принцип дії і ціну поділки мають пружинні головки?
34. Як здійснюють контроль виробів пружинно-вимірювальними головками?
35. Яка сфера застосування засобів вимірювання і контролю з оптичним і оптико-механічним перетворенням?
36. Які прилади належать до оптико-механічних?
37. Які будова, принцип дії та ціна поділки у шкали оптикаторів?
38. Які будова, принцип дії та ціна поділки в оптиметра?
39. Як налаштовують на вимірювання вертикальний і горизонтальний оптиметри?
40. Які призначення, принцип дії та будова оптичних довжиномірів? Які довжиноміри ви знаєте?
41. Що передбачає методика проведення вимірювань на оптичних довжиномірах?
42. Які призначення, будова та принцип дії оптико-механічних машин? Що передбачає методика проведення вимірювань?
43. Які будова і принцип дії в інструментальних мікроскопів?
44. Які інструментальні мікроскопи ви знаєте?
45. Які вимірювання виконують на інструментальних мікроскопах?
46. Які будова і принцип дії проєкторів? Які проєктори ви знаєте?
47. У чому суть інтерференційних методів контролю?
48. Із якою метою застосовують плоскі скляні пластини?
49. Який принцип дії засобів вимірювання і контролю з пневматичним перетворюванням?
50. Що таке манометричні і витратомірні вимірювальні прилади?
51. Як виконують налаштування пневматичних приладів на вимірювання і як визначають ціну поділки шкали?
52. У чому полягають переваги і недоліки пневматичних приладів вимірювання розмірів?

53. Визначте показання штангенциркуля:



А



Б



В



Г



Д

А =
 Б =
 В =
 Г =
 Д =

54. Визначте показання мікрометра:



А



Б



В



Г



Д

А =
 Б =
 В =
 Г =
 Д =

3.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ВІДХИЛЕНЬ ПОВЕРХОНЬ

Кожна поверхня деталей виконує свою службову функцію з ефективністю, залежною від точності розташування відносно бази, форми та рельєфу. Цю точність із міркувань її нормування, контролю та технологічного забезпечення характеризують чотирима видами похибок виготовлення: відхиленнями розташування, відхиленнями форми, хвилястістю та шорсткістю поверхні. Ці види взаємно доповнюють один одного. На рис. 3.1, *а* показано деталь, що має номінально форму прямокутного паралелепіпеда. Її верхня вільна поверхня *П* має такі особливості: відхилення від паралельності щодо бази (рис. 3.1, *б*), відхилення від прямолінійності у поздовжньому перерізі (рис. 3.1, *д*), хвилястість (рис. 3.1, *г*) та шорсткість (рис. 3.1, *в*), виділену з профілю за допомогою базової довжини *l*. Якщо обмежитися геометричними чинниками, то експлуатаційні властивості поверхні *П* і взаємозамінність разом із розмірами деталі визначаються сукупністю показаних на

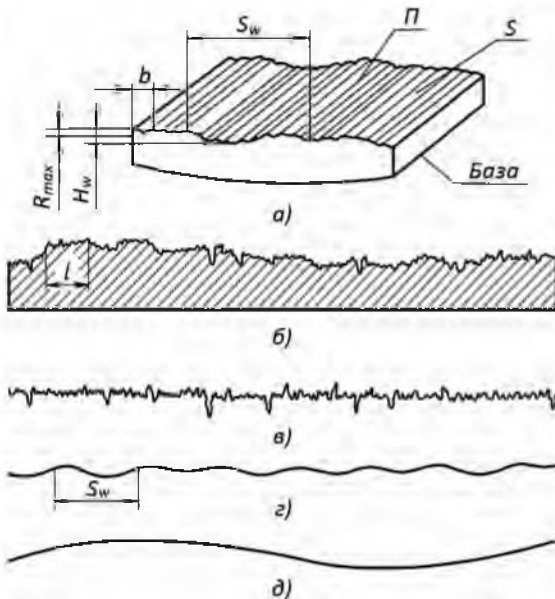


Рис. 3.1. Розкладання профілю (б) номінально плоскої поверхні *П* (а) на шорсткість (в), хвилястість (г) і відхилення форми (д):

R_{\max} – найбільша висота профілю; H_w – висота хвилястості; S – крок місцевих виступів профілю; S_w – крок хвилястості; l – базова довжина

значаються сукупністю показаних на рис. 3.1 видів похибок виготовлення.

Відповідно до ГОСТу 24642–81 відхилення форми поверхні або профілю визначають за допомогою прилеглих площин чи прямих.

Спосіб виділення шорсткості поверхні (рис. 3.1, *в*) з профілю поверхні (рис. 3.1, *б*) за допомогою базової довжини l показано на рис. 3.2, де профіль підрозділений на кілька однакових відрізків (на малюнку п'ять відрізків) довжини l . На кожному з них окремо визначено шорсткість, потім профіль випрямлений, як показано на рис. 3.1, *в* (ГОСТ 25142–82).

Базову довжину l вибирають з ряду 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм (ГОСТ 2789–73); вона визначає ступінь виключення з профілю довгохвильової частини нерівностей – відхилень форми та хвилястості. Різновиди відхилень розташування і форми та їх значення Δ показано на рис. 3.3–3.5.

Відхилення розташування поділяють на конкретні різновиди. До них належать відхилення від паралельності площин, а також відхилення, наведені на рис. 3.3. Із рис. 3.3, в, г, д видно, що відхилення розташування реальних поверхонь відлічують від відповідних прилеглих поверхонь (площин, циліндрів).

Відхилення форми також підрозділяють на конкретні різновиди. До них належать, разом із відхиленням від круглості, відхилення, зображені на рис. 3.4.

До сумарних (сумісних) відхилень розташування і форми належать відхилення, показані на рис. 3.5.

Класифікацію характеристик елементів деталей машин (поверхонь, ліній, точок) наведено на рис. 3.6. На цьому рисунку разом із назвами відхилень розташування і форми подано їхні умовні позначення у вигляді графічних символів, що вказуються на креслениках.

На рис. 3.6 нахил розглядається аналогічно до перпендикулярності у разі, коли номінальний кут між площиною та базовою площиною чи базовою віссю відрізняється від прямого кута (90°). Позичйне відхилення є найбільшою відстанню між реальним розташуванням елемента (його центра, осі або площини симетрії) і його номі-

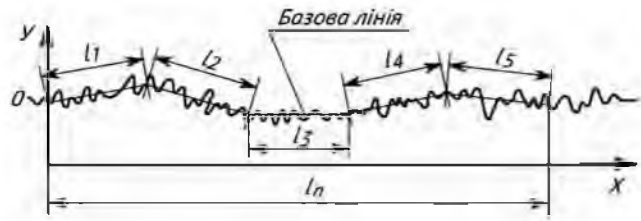


Рис. 3.2. Спосіб виділення шорсткості поверхні, розглянутої на відрізках $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = l, \dots, l_n$:

l – базова довжина; l_n – довжина оцінки

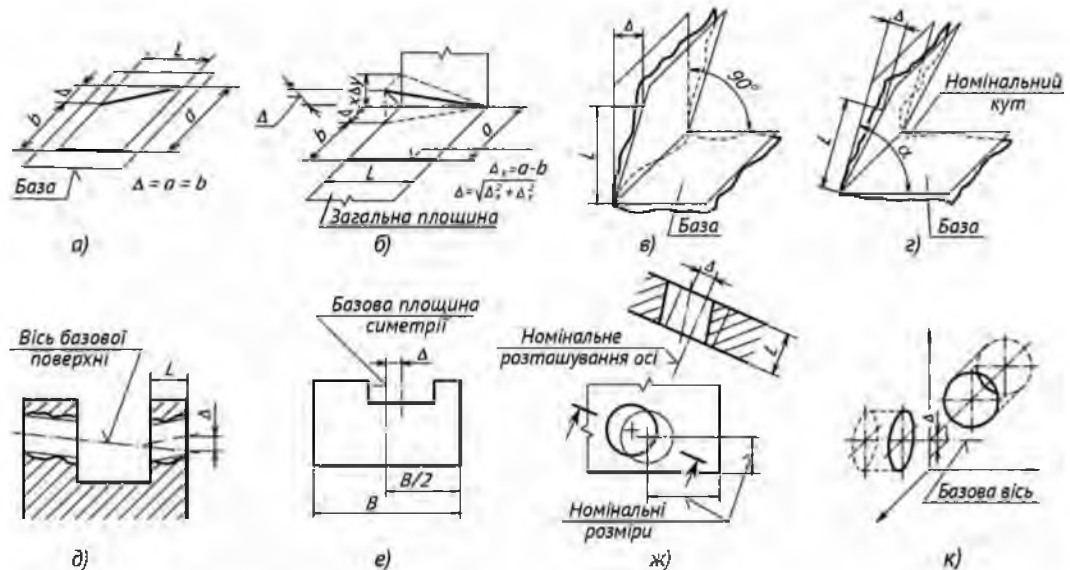


Рис. 3.3. Відхилення розташування:

a – від паралельності прямих у площині; b – від паралельності прямих у просторі; v – від перпендикулярності площин; g – від нахилу площини відносно площини або осі; d – від співвісності щодо осі базової поверхні; e – від симетричності щодо базового елемента; $ж$ – позиційне; $к$ – від перетину осей; Δ – відхилення розташування; L – довжина нормованої ділянки; a – найбільша відстань; b – найменша відстань; B – ширина номінально симетричного елемента

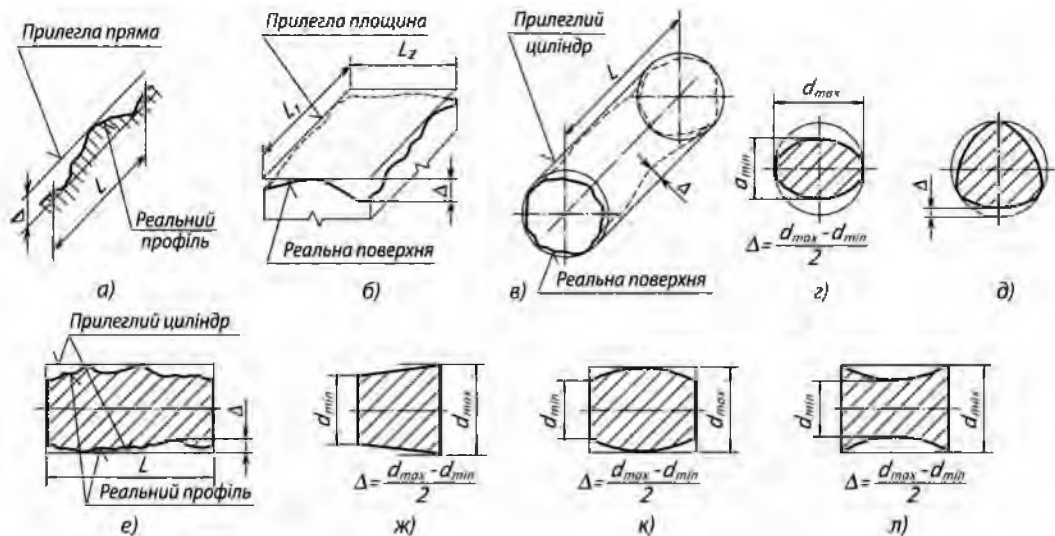


Рис. 3.4. Відхилення форми:

a – від прямолінійності у площині; *б* – від площинності; *в* – від циліндричності; *г* – овальність; *д* – огранка; *е* – від профілю поздовжнього перерізу; *ж* – конусоподібності; *к* – бочкоподібності; *л* – сідлоподібності; Δ – відхилення форми; L_1 та L_2 – розміри нормованої ділянки; L – довжина нормованої ділянки; d_{\min} та d_{\max} – найменший та найбільший діаметри у взаємно перпендикулярних напрямках (або у поздовжньому напрямі в межах нормованої ділянки)

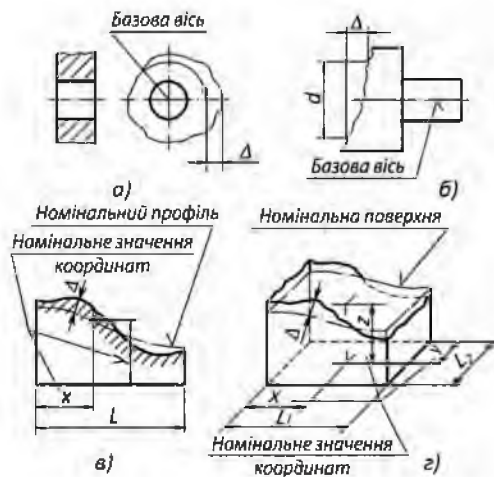


Рис. 3.5. Сумарні відхилення розташування і форми:

a – радіальне биття; *б* – торцеве биття; *в* – відхилення форми заданого профілю; *г* – відхилення форми заданої поверхні; Δ – сумарне відхилення розташування і форми; d – діаметр зрізаного циліндра, співвісного з базовою віссю; L – довжина нормованої ділянки; L_1 та L_2 – розміри нормованої ділянки

нальним розташуванням у межах нормованої ділянки.

Вищезгаданими окремими видами відхилень від круглості є овальність та огранка.

Овальність – відхилення від круглості, за якого реальний профіль є овалоподібною фігурою, найбільший та найменший діаметри якої розташовані у взаємно перпендикулярних напрямках.

Огранка – відхилення від круглості, за якого реальний профіль є багатогранною фігурою.

Радіальне биття є різницею найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі у перерізі площиною, перпендикулярною базовій осі. Якщо ця різниця розглядається на всій поверхні нормованої ділянки, то вона називається повним радіальним биттям.

Торцеве биття є різницею найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю торцевої поверхні до

площини, перпендикулярної базовій осі. Воно визначається в перерізі торцевої поверхні циліндром заданого діаметра. Якщо ж така різниця визначається для всієї торцевої поверхні, то вона називається повним торцевим биттям.

Точність розташування і форми поверхонь деталей з'єднань мають першорядне значення щодо безпригінного збирання і, отже, *взаємозамінності*.

Відхилення форми і хвилястість поверхні є визначальними щодо жорсткості контактів, причому, наприклад у металорізальних верстатах, контактні деформації становлять від 15 до 90 % у балансі пружних переміщень, від яких залежить точність виготовлення деталей на цих верстатах.

Хвилястість та шорсткість поверхні належать до найважливіших чинників довговічності, витривалості, зносостійкості та інших експлуатаційних властивостей машин та їхніх елементів. Тому ці похибки є важливим об'єктом вимірювань.

Розташування	Пр	//	Паралельність
	Пп	⊥	Перпендикулярність
	Нк	∠	Нахил
	Со	◎	Співвісність
	См	≡	Симетричність
	По	○	Позиційне відхилення
	Пс	×	Перетин
Форма	Пл	—	Прямолінійність
	Пк	▭	Площинність
	Кр	○	Круглість
	Цл	∩	Циліндричність
	Сп	=	Поздовжній переріз
Розташування і форма	Брит	↗	Биття радіальне і торцеве
	ПБрит	↗↗	Повне биття радіальне і торцеве
	ЗПП	⤴	Заданий профіль та поверхня
Хвилястість			
Шорсткість $\sqrt{\quad}$			

Рис. 3.6. Класифікація характеристик елементів (поверхонь, ліній, точок) деталей машин

3.2. ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕНЬ ВІД ПРЯМОЛІНІЙНОСТІ ТА ПЛОЩИННОСТІ

Форма плоских поверхонь характеризується прямолінійністю та площинністю. *Відхилення від прямолінійності* (Δ) – найбільша відстань від точок реального профілю 2 до прилеглої прямої 1 у межах нормованої ділянки (рис. 3.7, а, б). *Відхилення від площинності* – найбільша відстань від точок реальної поверхні 2 до прилеглої поверхні 1 у межах нормованої ділянки (рис. 3.7, в). Окремими видами відхилення від прямолінійності та площинності є *опуклість* (рис. 3.7, а), за якої відхилення зменшуються від країв до середини, і *увігнутість* (рис. 3.7, б) – характер відхилень зворотний.

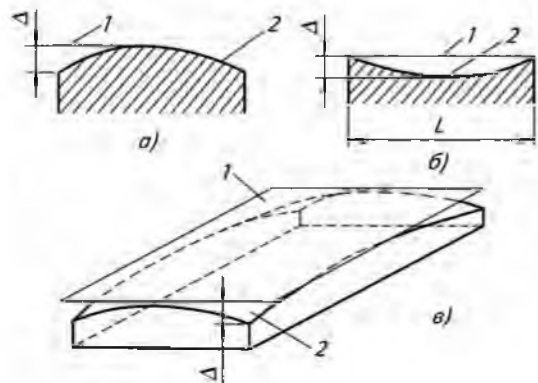


Рис. 3.7. Види відхилень:

а, б – від прямолінійності; в – від площинності

За значенням відхилень плоскі поверхні поділяють на 16 ступенів точності відповідно до встановлених допусків площинності та прямолінійності в межах нормованої ділянки. Зі збільшенням ступеня точності розмір допуску збільшується.

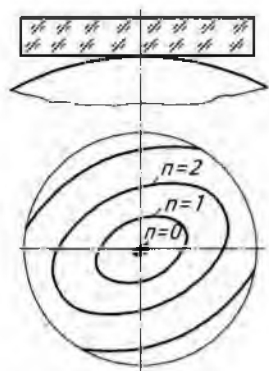


Рис. 3.8. Контроль площинності інтерференційним методом

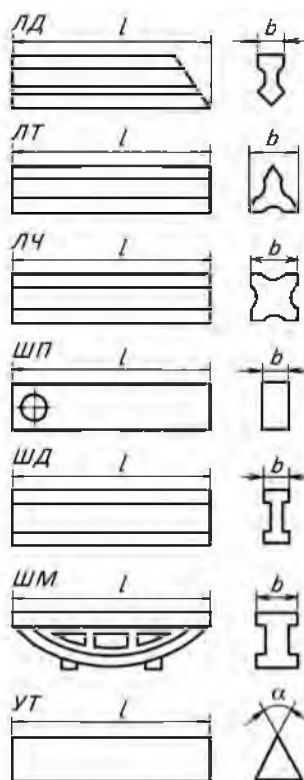


Рис. 3.9. Повірочні лінійки

Як робочі засоби вимірювань застосовують повірочні лінійки та плити, оптичні лінійки та площиноміри, інструментально-повірочні блоки ІПБ, автоколіматори, автоматичні автоколімаційні та гравітаційні прилади, оптичні струни, гідростатичні рівні, мікронівеліри та рівні.

При контролі площинності вимірювальних поверхонь калібрів, приладів, інструментів і прецизійних деталей розміром до 120 мм не грубіших за 2-й ступінь точності застосовують плоскі скляні пластини для інтерференційних вимірювань (див. рис. 2.147, а). Пластини накладають на поверхню, що перевіряється, і спостерігають інтерференційну картину. Площинність виробів прямокутної форми визначають за опуклістю та увігнутістю інтерференційних смуг так само, як під час перевірки площинності кінцевих мір довжини (див. рис. 2.148). Площинність поверхонь виробів, що мають форму круга, визначають за кількістю замкнутих інтерференційних кілець. На рис. 3.8 кількість замкнутих кілець дорівнює 2, отже, $\Delta = 2 \cdot 0,3 = 0,6$ мкм.

Повірочні лінійки (рис. 3.9) виготовляють за ГОСТом 8026-75 таких типів: ЛД – лекальні з двостороннім сколом; ЛТ – лекальні тригранні; ЛЧ – лекальні чотиригранні; ШП – із широкою робочою поверхнею прямокутного перерізу; ШД – із широкою робочою поверхнею двотаврового перерізу; ШМ – із широкою робочою поверхнею, містки; УТ – кутові тригранні.

Лекальні лінійки випускають двох класів точності: 0 та 1. Лінійки класу точності 0 застосовують для повірки поверхонь 2-го та 3-го ступенів точності, а класу точності 1 – 4-го ступеня точності. Довжина l лез лінійок типу ЛД становить 50...500 мм, а лінійок типів ЛТ та ЛЧ – 200...500 мм.

Лекальні лінійки призначені для контролю прямолінійності методом «на просвіт». Лезо лінійки l накладають на поверхню виробу 2 (рис. 3.10, а). Позаду, на рівні очей контролера, поміщають джерело світла і спостерігають просвіт між лінійкою та виробом. Відхилення від прямолінійності дорівнює найбільшому просвіту Δ_{\max} , розмір просвіту визначають за зразком просвіту.

Лінійки із широкою робочою поверхнею випускають трьох класів точності: 0, 1 та 2. Лінійки класу 0 застосовують для перевірки поверхонь 4-го ступеня точності, класу 1 – для 6-го та 7-го ступенів точності та класу 2 – для перевірки поверхонь 7-го та 8-го ступенів точності. Розміри

$l \times b$ лінійок різних типів мають такі значення: для лінійок типу ШЛ – 205×5...630×10 мм; для лінійок типу ШД – 630×4...4000×30 мм; для лінійок типу ШМ – 400×50...3000×110 мм. Лінійки із широкою робочою поверхнею застосовують для перевірки прямолінійності методом лінійних відхилень і для перевірки площинності вузьких поверхонь методом «на фарбу».

При контролі прямолінійності методом лінійних відхилень (рис. 3.10, б) лінійку 1 укладають робочою поверхнею на дві однакові кінцеві міри 3 розміром b_0 , встановлені на поверхню 2, яку перевіряють. Для зменшення похибок вимірювань унаслідок прогинів лінійки опори розташовують у точках найменшого прогину (точки Ері), які відмічені рисками на бічній поверхні лінійок. Точки Ері лежать на відстані $0,233l$ від кінців лінійки. На бічну поверхню лінійки наносять крейдою відмітки на відстанях, що дорівнюють $0,1l$. У відмічених точках 0, 1, 2, i , ..., 10 вимірюють відстань b_i між поверхнями лінійки та виробу, вводячи між ними блоки кінцевих мір або щупи 4. Використовують також спеціальні пристосування з індикаторними приладами. За наслідками вимірювань визначають різницю $\Delta_i = (b_0 - b_i)$. Побудувавши графік $\Delta_i = f(l)$ (рис. 3.10, в), через крайні точки ламаної лінії проводять пряму АВ. Відхилення від прямолінійності поверхні Δ_{\max} знаходять як найбільшу відстань від ламаної лінії до прямої АВ.

Кутові лінійки типу УТ виготовляють довжиною 400, 630 та 1000 мм із двома шабреними робочими поверхнями, які створюють кут α , що дорівнює 45, 55 та 60°. За відхиленнями граней від площинності ці лінійки поділяють на класи точності 0, 1 та 2. Кутові лінійки використовують для одночасного контролю площинності поверхонь 7-го та 8-го ступенів точності методом «на фарбу», наприклад при контролі напрямних типу «ластівчин хвіст».

Повірочні та розмічальні плити. Повірочні та розмічальні плити (ГОСТ 10905–75) випускають у двох виконаннях: I – з ручним шабруванням робочих поверхонь класів точності 00, 0 та 1; II – з механічно обробленими поверхнями класів точності 1, 2 та 3. Плити класів 00 та 0 застосовують для контролю площинності поверхонь особливо точних деталей, а класів 1 та 2 – точних деталей. Плити класу III використовують для розмічальних робіт.

Плити (рис. 3.11) виготовляють із чавуну та із твердих гірських порід: граніту, діориту, діабазу. Розміри $l \times b$ поверхні плит становлять 160×160...2500×1600 мм. Плити розміром 1000×630 мм та більші мають регульовані опори. Під час установлення плит опори регулюють так, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження на всі опорні точки і вирівнювання поверхні плити.

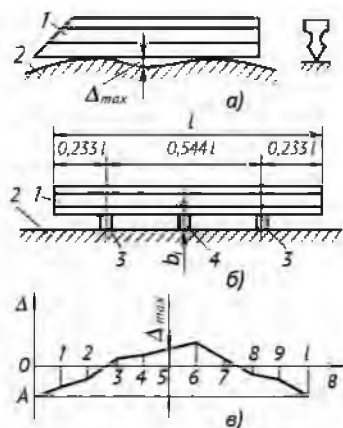


Рис. 3.10. Методи контролю прямолінійності:

а – на просвіт; б, в – лінійних відхилень

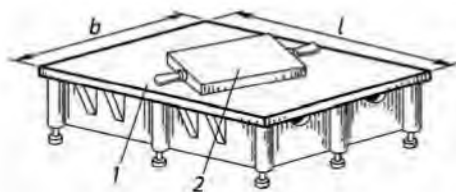


Рис. 3.11. Плити повірочні:

1 – чавунна; 2 – з гірської породи

Плити призначені для контролю площинності виробів методом «на фарбу» і методом лінійних відхилень. У першому випадку робочу поверхню покривають тонким шаром фарби. Рекомендують застосовувати друкарську фарбу № 219 або берлінську блакить і турбуленову синь, розведені в машинному мастилі. Товщину шару фарби для плит класу точності 00 рекомендують 0,4...1 мкм; класу 0 – 0,6...1,6 мкм; класу 1 – 1,0...2,5 мкм та класу 2 – 2,5...10 мкм. Товщину шару фарби контролюють за зразком інтенсивності забарвлення.

Плиту з нанесеною фарбою накладають на поверхню, що контролюється, і злегка переміщують. Відхилення від площинності визначають за кількістю плям у квадраті зі стороною 25 мм, що залишилися на виступаючих частинах поверхні, яку перевіряють. Для підрахунку використовують пластини з вікном 25×25 мм. Контроль «на фарбу» не дозволяє визначити значення неплщинності. За кількістю плям судять про ступінь точності поверхні. При хорошій площинності плями розташовуються рівномірно, і чим більше плям, тим менша неплщинність.

При контролі площинності методом лінійних відхилень виріб установлюють поверхню, що контролюється, на три опори одного розміру, які розміщуються на повнорічній плиті і не лежать на одній прямій. Відхилення від площинності визначають за різницею показань спеціального індикаторного приладу, який вводять між плитою і виробом. Прилад установлюють у наперед намічених точках. Найбільше показання приладу, заздалегідь настроеного на розмір опор, дорівнює відхиленню від площинності поверхні. Це значення порівнюють із допуском площинності.

Вимірювання рівнями. Вимірювання відхилень від площинності брусковими рівнями виконують кроковим методом. Поверхню виробу, який перевіряють, 1 встановлюють грубо в горизонтальне положення (рис. 3.12, а). На поверхню в заданому напрямі наносять відмітки 0, 1, 2, 3, ..., 10 з інтервалом $l = 0,1$ довжини, що контролюється. Рівень 2 закріплюють на підставці 3 з опорами 4, відстань між якими дорівнює вибраному інтервалу l . Підставку послідовно встановлюють на ділянки 0-1, 1-2, 2-3...

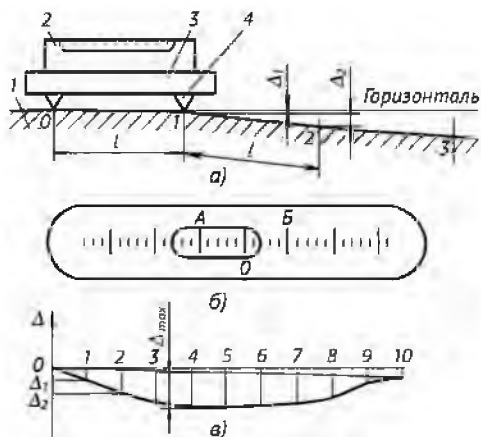


Рис. 3.12. Контроль прямолінійності рівнем:

а – установка рівня; б – відлік за ампулою;
в – діаграма вимірювань

нок щодо горизонтальної лінії, проведеної через точку 0, прийняту за початок відліку.

Нахил ділянки поверхні визначають за рівнем (рис. 3.12, б). Відліки виконують за зсувом бульбашки щодо штрихів А і Б на ампулі рівня, які розташовані симетрично щодо нуль-punkту на відстані один від одного, що дорівнює довжині бульбашки. За показання рівня беруть алгебричну напівсуму обох відліків. Відлік вважають додатним, якщо бульбашка зміщується за ходом переміщення рівня, що відповідає підйому поверхні. На рис. 3.12, б відлік $n = -0,5(3 + 3,2) = -3,1$ поділки шкали.

Зсув по вертикалі суміжних точок поверхні $\Delta_i = Cn/l$, де C – ціна поділки шкали ампули, мм/м.

Результати вимірювань зводять у таблицю і за нею будують графік (рис. 3.12, в)

відхилень точок поверхні від горизонталі. Через першу та останню точки графіка проводять пряму лінію, що враховує загальний нахил поверхні. Відхилення від прямолінійності поверхні дорівнює найбільшому відхиленню Δ_{\max} точок графіка від прямої лінії.

Контроль площинності рівнем здійснюють аналогічно до контролю прямолінійності.

Схему переміщення рівня по площині показано на рис. 3.13. Спочатку вимірювання проводять по замкнутому контуру в точках 0, 1, 2, 3, ..., 15, 0. Потім перевіряють точки 15, 16, ..., 6 та 14, 20, 21, 22, 23. Підставку переміщують послідовно на всі ділянки поверхні. Показання відлічують за обома кінцями бульбашки у двох положеннях рівня, що відрізняються на 180° . Результуюче показання визначають за чотирма відліками. При обробці результатів вимірювань ураховують нахил поверхні як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках.

Гідростатичні рівні (див. розд. 6) застосовують для контролю горизонтально розташованих поверхонь великої протяжності (рис. 3.14). При контролі прямолінійності та площинності одну вимірювальну головку встановлюють нерухомо на поверхню, а іншу послідовно переміщують по заданих точках поверхні. Відхилення Δ різних ділянок поверхні щодо горизонту знаходять за різницею показань мікрометрів. Результати вимірювань обробляють так само, як при вимірюваннях рівнями.

Для контролю прямолінійності та площинності також використовують мікрометричні та електронні рівні.

013	012	011	010	09	80
014	020	021	022	023	70
015	016	017	018	019	60
00	01	02	03	04	50

Рис. 3.13. Схема встановлення рівня при контролі площинності

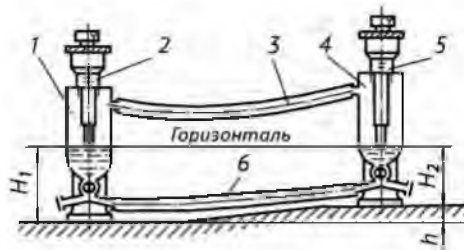


Рис. 3.14. Контроль прямолінійності гідростатичними рівнями

3.3. КОНТРОЛЬ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Відповідно до ГОСТу 24642–81 комплексним показником відхилення форми циліндричних деталей є *відхилення від циліндричності* – найбільша відстань Δ від точок реальної поверхні 1 до прилеглого циліндра 2 в межах нормованої ділянки (рис. 3.15, а). Проте на сьогодні не існує приладів, здатних виміряти відхилення від циліндричності. Тому в технічній документації у процесі виробництва і контролю користуються іншими показниками: відхиленням від круглості та відхиленням профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні.

За *відхилення від круглості* приймають найбільшу відстань Δ від точок реального профілю 1 до прилеглого кола 2 (рис. 3.15, б). Окремими видами відхилень від круглості є *овальність* (рис. 3.15, в) та *огранка* (рис. 3.15, д). Огранка поділяється за числом граней (три, чотири і т. ін.), тобто буває з парним та непарним числом граней.

За *відхилення від профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні* приймають найбільшу відстань Δ від точок, які створюють реальну поверхню 1 й лежать у площині, що проходить через її вісь, до відповідної сторони прилеглого профілю в межах нормованої ділянки (рис. 3.15, в). Окремими видами відхилення профілю поздовжнього перерізу є *конусоподібність* (рис. 3.15, е), *бочкоподібність* (рис. 3.15, ж),

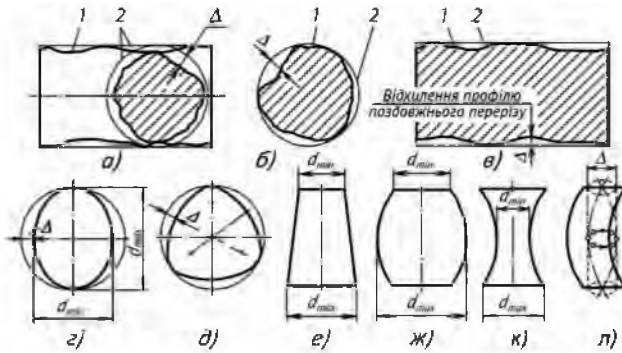


Рис. 3.15. Відхилення форми циліндричних деталей

верхні обертання (для отвору).

Прилеглий циліндр – циліндр мінімального діаметра, описаний навколо реальної зовнішньої поверхні (для вала), або циліндр максимального діаметра, вписаний у реальну внутрішню поверхню.

Прилеглий профіль поздовжнього перерізу – дві паралельні прямі, дотичні з реальним профілем (двома реальними твірними, що лежать у поздовжньому перерізі) і розташовані поза матеріалом деталі так, щоб найбільше відхилення точок твірних профілю від відповідної сторони прилеглого профілю мало мінімальне значення Δ .

Вимірювання відхилень від круглості здійснюють на спеціальних приладах, що називаються кругломірами. Принцип їхньої роботи полягає у відтворенні приладом ідеального кола і його порівняння з реальним профілем вимірюваного виробу. За способом відтворення ідеального кола кругломіри поділяються на два типи, залежно від

сідлоподібність (рис. 3.15, к) та відхилення від прямолінійності осі в просторі (рис. 3.15, л).

У стандарті визначені терміни: прилегле коло, прилеглий циліндр та прилеглий профіль поздовжнього перерізу.

Прилегле коло – коло мінімального діаметра, описане навколо реального профілю зовнішньої поверхні обертання (для вала), або коло максимального діаметра, вписане у реальний профіль внутрішньої по-

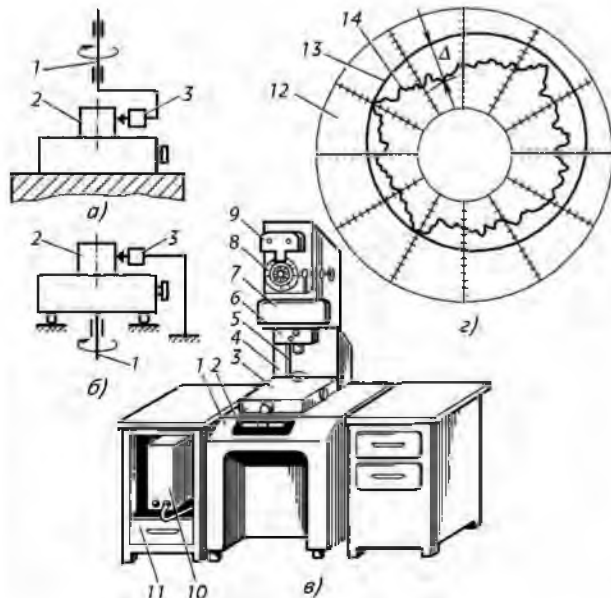


Рис. 3.16. Кругломір

схеми: з вимірювальним наконечником, що обертається, 3 – тип КН (рис. 3.16, а) і з контрольною деталлю, що обертається, 2 – тип КД (рис. 3.16, б).

Відповідно до ГОСТу 17353–80 кругломіри можуть мати за вимірювальні системи індуктивні або пневматичні перетворювачі.

Найбільшого поширення набули кругломіри типу КН з індуктивним вимірювальним перетворювачем. Переваги цієї конструкції у тому, що найбільш відповідальний вузол кругломіра – прецизійний шпиндель 1 (рис. 3.16, а) не сприймає вагу деталі. Проте кругломіри типу КН мають й істотний недолік: вертикальні габарити вимірюваної деталі обмежені довжиною шупа (вимірювального наконечника).

Кругломір мод. 218 (рис. 3.16, в) має станину 1, на якій встановлено колону 4. На ній розміщені панель керування 2 і предметний стіл 3 з мікрометричними гвинтами для переміщення столу у двох взаємно перпендикулярних напрямках. На колоні розміщено нерухому коробку шпинделя із прецизійним шпинделем 7, записувальним пристроєм 8 і коробкою швидкостей 9. На торці прецизійного шпинделя встановлено індуктивний перетворювач 6 із щупом 5. Електронний блок 10 розміщено у тумбочці 11.

Вимірювання на кругломірі здійснюють у такій послідовності. Деталь встановлюють на столі 3 і за допомогою двох взаємно перпендикулярних мікрогвинтів, розміщених на гранях столу, центрують її щодо осі обертання шпинделя. Шпиндель повертають спочатку вручну, а потім від приводу. Правильність центрування спостерігають за відхиленням стрілки приладу, встановленого на панелі керування 2. Після забезпечення необхідного центрування на записувальний пристрій встановлюють паперову діаграму 12 круглої форми (рис. 3.16, г) з нанесеними променями і штрихами на них. Поверхня діаграми покрита спеціальною речовиною. На панелі керування встановлюють необхідний масштаб збільшення і вмикають потрібний номер електричного фільтра. Електричний фільтр регулює кількість нерівностей, що реєструються за один оберт шпинделя. Після установки електрофільтра встановлюють частоту обертання 1,5 об/хв і вмикають запис. Прецизійний шпиндель 7 починає повертатися. Разом із ним обертається індуктивний перетворювач 6 зі щупом 5, і голка щупа ковзає по поверхні деталі. Коливання щупа, викликані відхиленнями профілю, перетворюються індуктивним датчиком у переміщення пера на записувальному пристрої. Електротермічним способом на діаграмі записується круглограма поверхні вимірюваної деталі. Діаграма повертається синхронно з поворотом шпинделя. Тому круглограма записується за один оберт.

На круглограмі 12 (рис. 3.16, г) нанесено дванадцять радіальних ліній зі штрихами. Інтервал між штрихами становить 2 мм. Ціна поділки залежить від збільшення, яке може становити 125–10 000^x.

При збільшенні 2000^x ціна поділки становить 0,001 мм. У центрі круглограми роблять записи значень збільшення, номера фільтра та похибки. Для визначення відхилення від круглості (згідно із ГОСТом 24642–81) на круглограму наносять прилегле коло 13, що торкається виступаючих точок записаного профілю 14. Відхиленню від круглості відповідатиме найбільша відстань від точки реального профілю 14 до прилеглого кола. У нашому випадку $\Delta = 0,0045$ мкм.

Оператори, що працюють на кругломірі, для швидкого визначення відхилення від круглості користуються спеціальним прозорим шаблоном, на якому нанесені концентричні кола з кроком, що дорівнює 2 мм. Накладаючи шаблон на круглограму, швидко підбирають необхідне прилегле коло і прочитують значення відхилення.

На кругломірах різних моделей можна вимірювати зовнішні та внутрішні поверхні від 3 до 300 мм; гранична довжина вимірюваної деталі може становити 1600 мм. Похибка кругломірів не перевищує 0,05–0,2 мкм.

Масштаб збільшення може становити 125–20 000^x. Частіше користуються збільшенням 2000–20 000^x. Голка щупа має радіус сфери 0,5–1,5 мм і не відтворює нерівностей, характерних для шорсткості поверхні.

Кругломіри не є цеховими приладами і стоять, як правило, у заводських вимірювальних лабораторіях. У цехах, використовуючи нескладні пристосування і наявні вимірювальні головки, можна з достатньою точністю оцінити форму циліндричних

та конічних деталей. На рис. 3.17 наведено типові схеми вимірювання відхилень від круглості деталей у цехових умовах.

Деталь 1 (рис. 3.17, а) затискають у самоцентрувальному патроні 4 ділильного столу або ділильної головки 3. Користуючись стояком (штативом), підводять до вимірюваної деталі наконечник вимірювальної головки 2. Ціну поділки вимірювальної головки вибирають, виходячи з необхідної точності вимірювання, але вона має бути порівнянною з максимальним биттям шпинделя столу і похибкою базування деталі в патроні. Повертаючи патрон 4 із затиснутою в ньому деталлю 1 на певний кут, фіксують відхилення вимірювальної головки. На паперовій діаграмі (рис. 3.17, б) за променями, кількість яких відповідає кількості вимірюваних точок по колу виробу, в масштабі будують ламаними лініями круглограму. Ця схема має істотні похибки порівняно з вимірюваннями на кругломірі, але дозволяє орієнтовно визначити як значення, так і характер відхилень від круглості. Подібні вимірювання звичайно проводять під час налагодження технологічного устаткування, для виявлення можливих дефектів верстага й уточнення вузлів, що потребують регулювань. Для цієї ж мети можна користуватися круглограмами, записаними на кругломірах.

Приблизно відхилення від круглості може бути визначене за допомогою регульованого кільця 3 (рис. 3.17, в) з вимірювальною головкою 2. Діаметр кільця відповідає діаметру прилеглого кола. Кільце надягають на деталь 1, повертають її і, стежачи за показаннями головки, одержують уявлення про відхилення від круглості за один оберт. За відхилення від круглості приймають різницю найбільшого та найменшого показань головки.

Наближену оцінку круглості деталі можна здійснити двоконтактними вимірюваннями (рис. 3.17, з). Скобу 3 укріплено на плоских пружинах 4. У скобі закріплено головку 1, вимірювальний стрижень якої контактує з поверхнею вимірюваної деталі 2. Повертаючи деталь, спостерігають за показаннями вимірювальної головки і оцінюють відхилення від круглості за крайніми положеннями стрілки. За цією ж схемою здійснюють контроль відхилення від круглості. Для цього вимірювальну головку 1 замінюють електроконтактним перетворювачем. Контакти перетворювача настроєні таким чином, що перевищення допустимого відхилення від круглості викликає їх замикання. Використовуючи світлофонний пристрій, достатньо швидко можна провести контроль круглості у партії деталей.

Більш точну оцінку відхилень від круглості забезпечує пневматична пробка (рис. 3.17, д). Вона має два центрувальні поясоочки 2, у середині яких по колу розміщені центрувальні сопла 3. Стиснене повітря, що витікає з них, створює «повітряну подушку», яка центрує пробку в отворі вимірюваної деталі 1. У середній частині пробки розташоване вимірювальне сопло 4, яке при повороті пробки, як наконечник

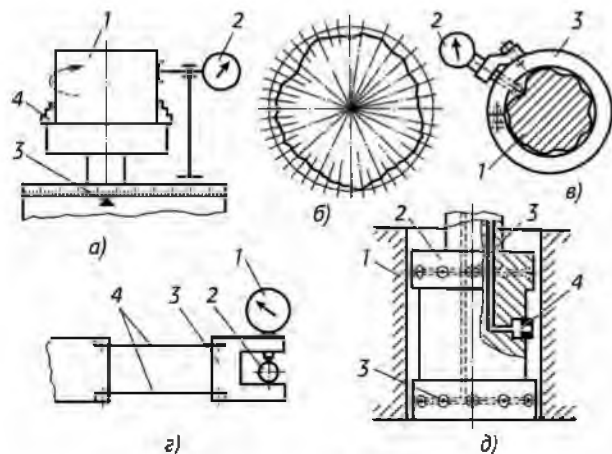


Рис. 3.17. Типові схеми контролю відхилення від круглості

кругломіра, «обмацує» поверхню деталі. Різниця найбільшого та найменшого значень зазору між торцем сопла 4 і деталлю відповідає значенню некрутості. За допомогою спеціальної пневматичної апаратури інформація перетворюється у традиційний вигляд, наприклад, у відлік за шкальним пристроєм.

Розглянута схема має такі переваги, як простота і компактність конструкції вимірювального засобу, висока продуктивність процесу вимірювання, необов'язковість попереднього центрування деталі або інструменту, висока точність і безконтактність вимірювання (ціна поділки відлікового пристрою може досягати значення 0,0001 мм), висока жорсткість, що забезпечує стабільне положення осі пробки у просторі. Проте схема має і недоліки, головним з яких є обмеженість діапазону вимірювань: пробка може фіксувати відхилення не більше 0,2 мм. Другим недоліком можна вважати необхідність допоміжної апаратури очищення і стабілізації тиску стисненого повітря.

Досить часто у технічній документації, замість відхилень від круглості, задають допустиму овальність та огранку.

Для визначення овальності зазвичай використовують схеми двоконтактних вимірювань (рис. 3.18, а). Щоб виявити найбільшу овальність, необхідно провести вимірювання не менше ніж у шести парах точок поперечного перерізу. Для цього деталь 1 поміщують у скобу 3, оснащену вимірювальною головкою 2, і повертають на повний оберт. У точці з мінімальним відхиленням встановлюють нуль за шкалою приладу і повертають деталь не більше ніж на 1/6 оберту. Значення овальності визначають як напіврізницю найбільшого та найменшого діаметрів.

Овальність деталі 1, базованої в центрах 3 (рис. 3.18, б), оцінюють шляхом вимірювання відхилень не менше ніж у шести точках за колом перерізу приладом 2. За значення овальності приймають різницю найбільшого та найменшого взаємно перпендикулярних радіусів.

Дуже зручну і продуктивну схему показано на рис. 3.18, в. Вона містить дві пари сопел 3, розташованих у взаємно перпендикулярних напрямках. Таке компонування дозволяє проводити вимірювання одночасно двох діаметрів деталі 1. Використовуваний як відліковий пристрій диференціальний прилад 2 на своїй шкалі відразу показує різницю діаметрів. За овальність приймають максимальне показання приладу.

Схема вимірювання огранки залежить у першу чергу від кількості граней, точніше – від парної або непарної кількості граней. Огранку з парною кількістю граней вимірюють за тими ж схемами, що й овальність, і легко виявляють при повороті деталі.

Вимірювальні головки для цих вимірювань вибирають, виходячи з допустимого значення огранки. Вимірювання огранки з непарною кількістю граней здійснюють відповідно до схем, показаних на рис. 3.19, а, б.

Огранку можна зміряти, базуючи деталь 1 на призму 3 (рис. 3.19, а). Вимірювальна головка 2 займає положення 1. За такої схеми вимірювання числове значення огранки визначають як різницю максимального та мінімального відхилень показчика вимірювальної головки 2 за один

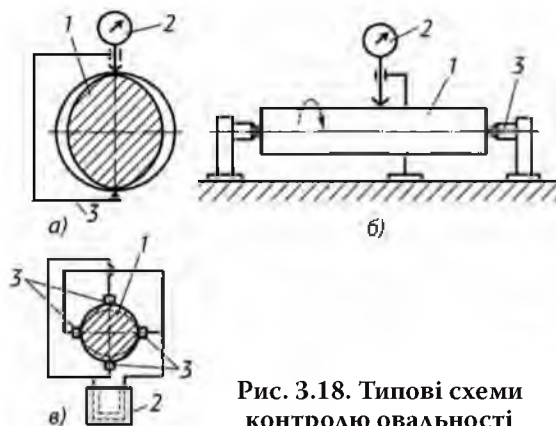


Рис. 3.18. Типові схеми контролю овальності



Рис. 3.19. Типові схеми контролю огранки і відхилення осі від прямолінійності у просторі

оберт деталі. На достовірність результату в цьому випадку впливатимуть кількість граней і кут призми. Для зменшення цього впливу необхідно змінювати кут призми залежно від кількості граней деталі. Це значною мірою ускладнює вимірювання огранки за схемою. Підбір відповідного кута призми здійснюють, як правило, дослідним шляхом.

На підшипникових заводах фінішні операції обробки кілець підшипників здійснюють на безцентрово-шліфувальних верстатах, що є джерелом виникнення огранки деталей. На цих заводах контроль огранки здійснюють у призмах із кутом 120° , причому вимірювальну головку зміщують щодо вертикального положення на кут $\beta = 30^\circ$ або 60° (положення II). Тоді огранка, що має 3, 5, 7 та 9 граней, характеризується половиною показань головки.

Огранку деталі 1 можна зміряти з використанням отвору діаметром, що дорівнює найбільшому граничному розміру деталі. Для цього в дрібносерійному виробництві можна використовувати регульовальні кільця, а у великосерійному і масовому – пристосування 3 з отвором постійного діаметра. Огранку оцінюють за найбільшою різницею показань вимірювальної головки 2. Механічний прилад може бути замінений пневматичним або індуктивним, а при контролі огранки – електроконтактним перетворювачем.

Відхилення від прямолінійності осі у просторі найчастіше перевіряють «прокатуванням» деталі 1 на площині 2 повірочної плити. При цьому вимірюють розмір деталі приблизно в її середньому перерізі за довжиною (рис. 3.19, в). Можна повертати деталь 7 і на ножових опорах 2 (рис. 3.19, з).

Вимірювання відхилень від прямолінійності осі отвору в просторі можна здійснити за допомогою пневматичної качалки, зображеної на рис. 3.19, д. Вона має два цангові центрувальні поясок 1 і вимірювальне сопло 2 у середній частині. Повертаючи качалку в отворі контрольованої деталі 3, знаходять за шкалою відлікового пристрою найбільше та найменше показання, за якими і судять про відхилення осі в цьому перерізі.

3.4. КОНТРОЛЬ ВІДХИЛЕНЬ РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ І ОСЕЙ

Відхиленням розташування називається відхилення реального (дійсного) розташування певного елемента (поверхні, осі або площини симетрії) від його номінального розташування. Під *номінальним* розуміють розташування, що визначається номінальними лінійними та кутковими розмірами (координувальними розмірами) між елементом, що розглядається, і базами. На креслениках або в технічній документації координувальні розміри, що визначають номінальне розташування плоских повер-

хонь, задаються безпосередньо від них. Координувальні розміри для визначення номінального положення циліндричних, конічних та інших поверхонь обертання, а також для різі, призматичних пазів та виступів, симетричних груп поверхонь задають звичайно від їхніх осей або площин симетрії. У деяких випадках номінальне розташування задається у вигляді умовних позначень без указання номінального розміру між елементами (наприклад, вимоги перпендикулярності, паралельності, співвісності, симетричності та ін.).

Для оцінки точності положення поверхонь, як правило, задається база, якою може бути поверхня (площина), її твірна або точка (вершина конуса, центр сфери), вісь (циліндрична або конічна поверхня, різь).

Допуски форми і розташування поверхонь (відповідно до ГОСТу 2.308–79) за необхідності вказують на кресленнику двома способами: умовними позначеннями або текстом у технічних вимогах. Переважає умовне позначення. За відхилення від паралельності площин приймають різницю Δ найбільшої та найменшої відстані між прилеглими площинами в межах нормованої ділянки.

Вимірювання відхилення від паралельності площин на практиці здійснюють таким чином. Деталь однією поверхнею (базовою) встановлюють на повірочну плиту. За допомогою вимірювальної головки, закріпленої на стояку, визначають відхилення (рис. 3.20, а). У разі неможливості установа виробу на базову поверхню (наприклад, вимірювання паралельності зовнішньої поверхні виробу і дна призматичного паза) користуються іншим методом. Деталь за допомогою домкратів і рівня виставляють так, щоб одна з поверхонь (надалі вона стане базою) набула горизонтального положення. Після цього стояк із вимірювальною головкою встановлюють на горизонтальну базову поверхню і, переміщаючи в межах нормованої довжини, визначають відхилення від паралельності. Іноді виникає необхідність перевірити паралельність внутрішніх площин (наприклад, деталь у вигляді коробка). У цьому випадку можна використати стандартний індикаторний нутромір.

У разі вимірювань за схемою в результати вимірювань входить похибка, спричинена відхиленням вимірюваних поверхонь від площинності.

Вимірювання відхилень від паралельності площини й осі отвору або двох осей можна проводити за допомогою спеціальних контрольних оправок. На рис. 3.20, б показано схему вимірювання відхилення від паралельності установлювальної поверхні деталі та осі отвору. Деталь встановлюють базовою поверхнею на повірочну плиту. В отвір деталі вводять оправку і за допомогою вимірювальної головки зі стояком ви-

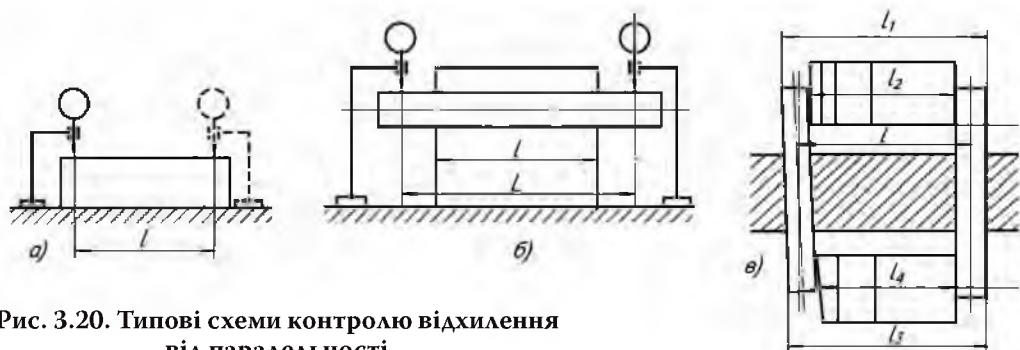


Рис. 3.20. Типові схеми контролю відхилення від паралельності

значають відхилення від паралельності як різницю двох відліків. За такої схеми вимірювання необхідно враховувати, що в технічній документації допустиме відхилення від паралельності задають для нормованої довжини. Так, якщо на кресленіку були задані відхилення від паралельності на довжині деталі l , а вимірювання провели на іншій довжині L , то необхідно привести зміряне на довжині L відхилення від паралельності Δ_L до нормованої довжини вимірювань l , тобто $\Delta = \Delta_L (l/L)$, де Δ – відхилення від паралельності на довжині l .

При вимірюванні відхилення від паралельності осей двох отворів використовують дві оправки. Вимірювання можна провести двома способами. Перший спосіб ідентичний попередньому, але деталь базують не за площиною, а за отвором. Для цього в один з отворів вставляють оправку і її кінці, що виступають, спирають на дві призми однакової висоти, встановлені на повірочній плиті. Деталь виявляється підвішеною на оправці. У другий отвір вставляють другу оправку і на її кінцях проводять вимірювання. Таким чином можна вимірювати легкі деталі, які у підвішеному стані займають стійке положення.

За другою схемою (рис. 3.20, *в*) можна оцінити відхилення від паралельності, користуючись блоками кінцевих мір. Про відхилення судять за різницею їх номінальних значень l_2 та l_4 . Для вимірювання відхилень можна користуватися одним блоком кінцевих мір і набором щупів. Можна також (замість кінцевих мір) скористатися відповідним вимірювальним інструментом і оцінити відхилення від паралельності як різницю розмірів l_1 та l_2 .

Для вимірювання відхилень від паралельності площин і осей отворів або валів можуть використовуватися рівні, різні оптичні прилади та спеціальні контрольні пристосування.

За відхилення від перпендикулярності беруть відхилення кута між площинами, осями або віссю і площиною від прямого кута 90° , виражене в лінійних одиницях Δ на довжині нормованої ділянки від прилеглих поверхонь або ліній.

Відхилення від перпендикулярності бічної сторони виробу базовому торцю можна оцінити за допомогою косинця. Він дозволить перетворити вимірюваний параметр у відхилення від паралельності (рис. 3.21, *а*). Стояк із головкою дає змогу оцінити паралельність іншої сторони косинця з поверхнею повірочної плити. У випадку, якщо відхилення від перпендикулярності задавалося на довжині l , а вимірювання проводили на довжині L , то виміряне значення відхилення потрібно привести до необхідної довжини: $\Delta = \Delta_n (l/L)$.

Відхилення від перпендикулярності можна виміряти за допомогою косинця і блоків кінцевих мір. Притискуючи косинець однією стороною до плити, забезпечують контакт між іншою його стороною і поверхнею виробу за допомогою блоків мір (рис. 3.21, *б*). Різниця розмірів блоків є відхилення від перпендикулярності. За цією ж схемою можна виміряти відхилення від перпендикулярності, використовуючи блок одного розміру і набір щупів або користуючись тільки набором щупів; можна оцінювати відхилення від перпендикулярності методом «на провіт».

Досить часто вимірюють відхилення від перпендикулярності за допомогою регульованого упору (рис. 3.21, *в*). Перед вимірюваннями за косинцем настроюють на нуль вимірювальну головку. Із цією метою на плиту ставлять косинець, торкаються упором його робочої сторони і добиваються нульового показання головки. У процесі вимірювання деталі зі шкали приладу знімають величину відхилення Δ .

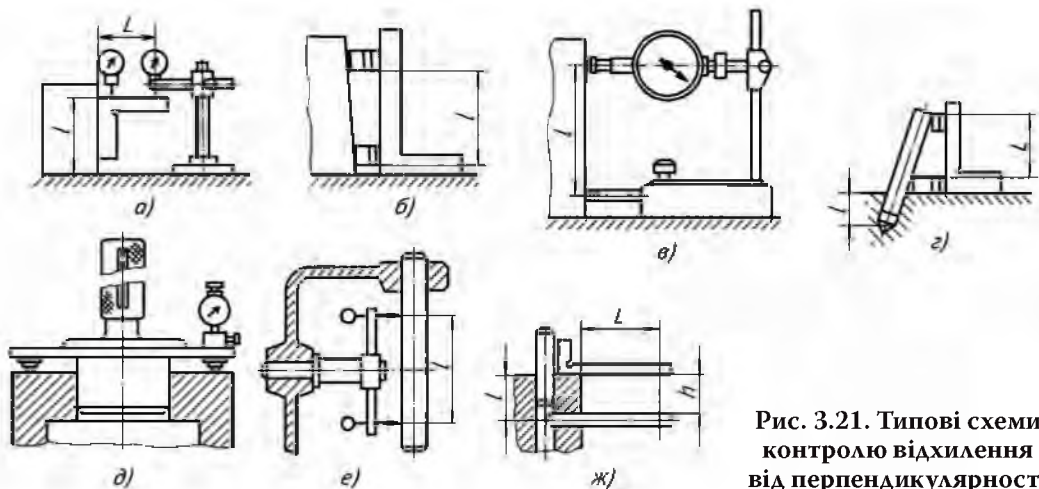


Рис. 3.21. Типові схеми контролю відхилення від перпендикулярності

У низці випадків доводиться вимірювати відхилення від перпендикулярності осі отвору і площини. На рис. 3.21, з показано, як розв'язати це завдання за допомогою оправки, косинця і набору кінцевих мір. Методика вимірювань аналогічна до схеми, показаної на рис. 3.21, б.

Дуже просте і достатньо поширене вимірювальне пристосування (рис. 3.21, д) дає змогу вимірювати відхилення від перпендикулярності площин або торцевих поверхонь деталей відносно осей отворів або валів. Пристосування центрують в отворі деталі, індикатор встановлюють на нуль. Потім його повертають разом із пристосуванням навколо осі отвору на 360° . За розмахом коливань стрілки судять про відхилення від перпендикулярності. За такої схеми вимірювання зазор у з'єднанні центрувальної оправки пристосування з отвором вносить похибку через можливий перекид оправки. Для усунення цієї похибки рекомендують як безззорний центрувальний елемент пристосування застосовувати цанги.

При контролі відхилення від перпендикулярності осі вала до будь-якої площини пристосування виконують у вигляді кільця. На кільці паралельно до його осі кріплять індикатор. Кільце надівають на вал до упору і повертають на 360° .

Відхилення від перпендикулярності осей двох отворів можна здійснити за допомогою оправки і спеціального пристосування місткового типу (рис. 3.21, е). Пристосування з двома індикаторами і оправкою встановлюють в один з отворів. Другу оправку вставляють у другий отвір. Індикатори, що розміщуються на нормованій відстані один від одного, вводять у контакт із поверхнею другої оправки і встановлюють на нуль. Повертають оправку з містком на 180° . Напіввізниця показань двох індикаторів відповідає відхиленню від перпендикулярності. Схему можна спростити, замінивши один з індикаторів регульованим упором. Тоді вимірювання проводять за схемою (рис. 3.21, в), але з поворотом оправки на 180° .

Перпендикулярність осей двох валів можна перевірити за допомогою косинця. Однією робочою стороною його щільно притискають до твірної вала (рис. 3.21, ж). Після цього вимірюють відхилення розміру h на довжині L і шляхом перерахунку (у разі $l \neq L$) визначають відхилення від перпендикулярності осей валів. Необхідно пам'ятати, що осі валів можуть бути неперпендикулярні до поверхонь деталі, тому косинець треба базувати тільки по валу, а не по площині.

Радіальне і торцеве биття належить до похибок розташування поверхонь.

За *радіальне биття* приймають різницю Δ найбільшої та найменшої відстаней від точок реальної поверхні до базової осі обертання в перерізі, перпендикулярному цій осі.

Радіальне биття поверхні можуть задавати на креслениках не тільки відносно осі обертання деталі, а й щодо інших поверхонь. У цьому випадку останні використовують як базові і деталь встановлюють не в центрах, а в призми на ці поверхні (рис. 3.22, *а*). За биття вимірюваної поверхні відносно установлювальних поверхонь приймають різницю найбільшого та найменшого показань вимірювального приладу за один оберт деталі.

Радіальне биття вимірюваної поверхні щодо іншої може бути оцінено при установленні деталі в центрах. Використовують пристосування типу місток, зображене на рис. 3.22, *б*. Пристосування підводять до вимірюваної деталі до контакту упору з базовою поверхнею. Вимірювальний наконечник головки торкається вимірюваної поверхні. За радіальне биття вимірюваної поверхні відносно базової приймають різницю відхилень за один оберт деталі.

У разі вимірювання радіального биття поверхонь деталей типу втулок, дисків або фланців, що мають центральний отвір, їх базують на циліндричні, конічні або розтискні самоцентрувальні оправки (рис. 3.22, *в*). Оправки встановлюють у центрах і проводять вимірювання.

Схема на рис. 3.22, *г* у принципі повторює схему на рис. 3.22, *а* з тією лише різницею, що деталь базують по одній поверхні, щодо якої і визначають биття вимірюваної поверхні.

Усі розглянуті схеми давали можливість зміряти радіальне биття поверхні в одному перерізі деталі. За схемою, зображеною на рис. 3.22, *д*, можна зміряти так зване повне биття вимірюваної поверхні щодо установлювальних (базових) поверхонь ступінчастого валика. Для цього не тільки обертають деталь, а ще й переміщують вимірювальний наконечник уздовж твірної контрольованої поверхні. За повне радіальне биття приймають різницю найбільшого та найменшого показань приладу в усіх точках поверхні, що перевіряється.

За *торцеве биття* береться різниця Δ найбільшої та найменшої відстаней від точок торцевої поверхні до площини, перпендикулярної осі обертання.

Зображені на рис. 3.22, *е, ж* схеми вимірювання торцевого биття циліндричної деталі, встановленої базовою поверхнею в призму, відрізняються одна від одної тільки положенням упору. У першому випадку він розташований на осі деталі, а в другому –

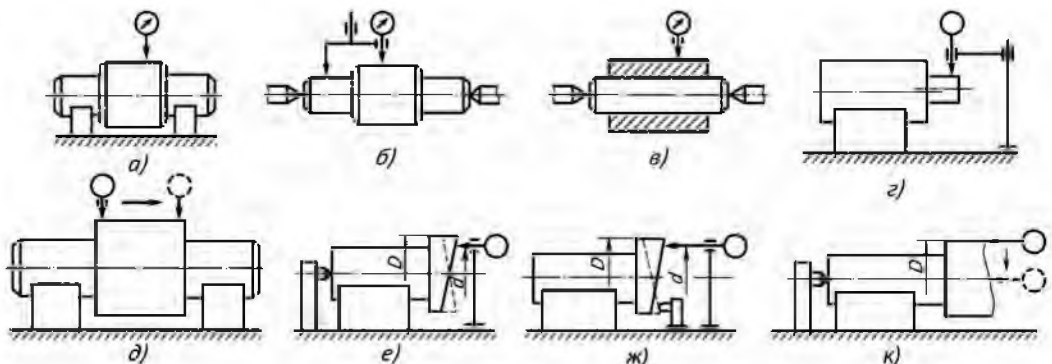


Рис. 3.22. Типові схеми контролю торцевого та радіального биття

на периферії торцевої поверхні деталі, яку перевіряють. Торцеве биття визначають як різницю граничних показань виміральної головки.

Під час вимірювання торцевого биття необхідно враховувати, що на креслениках його задають, як правило, в габаритах деталі для розміру D – найбільшого діаметра деталі, яку перевіряють, а вимірюють биття на діаметрі d . Отже, одержуваний результат вимірювань необхідно помножити на величину D/d .

Схема на рис. 3.22, *к* пояснює вимірювання повного торцевого биття. Під час обертання деталі головку переміщують у радіальному напрямі, перпендикулярно базовій осі. За повне торцеве биття приймають різницю між найбільшим та найменшим показаннями приладу на всьому шляху переміщення його в радіальному напрямі.

На рис. 3.23 наведено контрольно-вимірвальне пристосування для вимірювання торцевого та радіального биття поверхонь деталі 5. На конічну оправку 4, що забезпечує точне центрування, встановлюється вимірювана деталь. У процесі вимірювання оправку із закріпленою на ній деталлю повертають на один оберт. Вимірвальна головка 2 фіксує радіальне биття, головка 1 – торцеве биття.

Для зручності установаження і зняття деталі з виміральної позиції кронштейн 3 може разом із головками повертатися навколо своєї осі.

За відхилення від співвісності щодо осі базової поверхні приймають найбільшу відстань Δ між віссю відповідної поверхні обертання і віссю базової поверхні на довжині нормованої ділянки, визначувану вимірюванням радіального биття поверхні, що перевіряється, в заданому перерізі і в крайніх перерізах при обертанні деталі навколо осі базової поверхні.

На рис. 3.24, *а, б* показано приклади вимірювання відхилення від співвісності. Цифрами *II* позначено задані перерізи, цифрою *I* – крайні. Переміщуючи в межах цих перерізів вимірвальні головки, одночасно обертають деталь і за відхилення від співвісності приймають радіальне биття однієї поверхні щодо іншої. У схемі (рис. 3.24, *а*) використовуються два прилади з відліковими пристроями, що ускладнює процес вимірювання. Для спрощення схеми рекомендується використовувати схему містка з жорстким упором (рис. 3.22, *б*). Перевірку співвісності двох отворів, розточених у корпусі, здійснюють за допомогою двох оправок і кільця з виміральною головкою. Кільце переміщують по оправці в межах перерізів *I–II* і обертають.

У процесі складальних та ремонтних робіт іноді співвісність контролюють за допомогою двох оправок і перехідної втулки. Втулка з оправками має з'єднання по ковзній посадці. Оправка вставляється в один з отворів, і на неї надівається перехідна втулка. Потім в інший отвір вставляють іншу оправку, кінці їхні зводять і втулку намага-

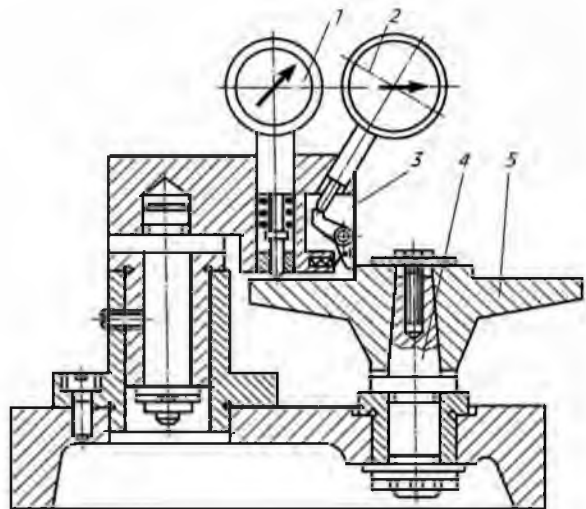


Рис. 3.23. Пристосування для вимірювання торцевого та радіального биття

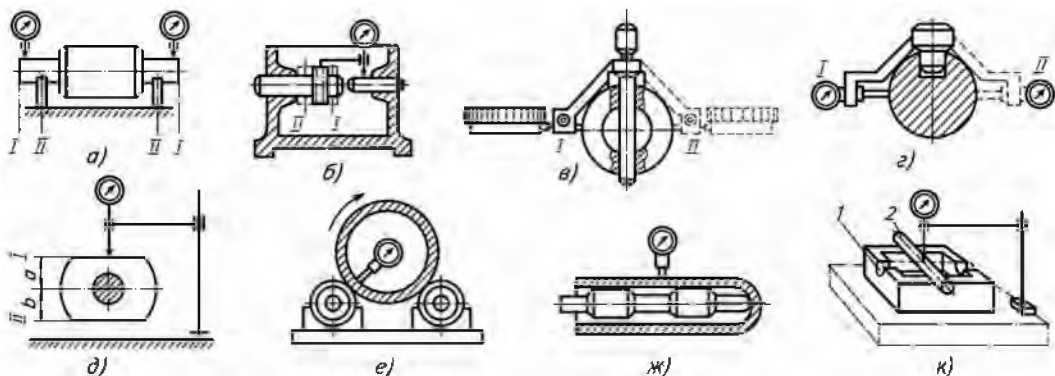


Рис. 3.24. Типові схеми контролю співвісності, симетричності та різностінності

ються перемістити з одної оправки на іншу через стик. По тому, як втулка долає місце стику (вільно, із зусиллям, зі стукотом, не переходить), судять про співвісність. Цей спосіб вимагає відповідних навичок. Його використовують для забезпечення співвісності окремих вузлів верстата під час складання їх на станині.

Відхиленням від симетричності щодо базового елемента називається найбільша відстань Δ між площиною симетрії (віссю) певного елемента (або елементів) і площиною симетрії базового елемента в межах нормованої ділянки.

Контроль відхилення від симетрії здійснюють універсальними вимірювальними засобами. На рис. 3.24 показано варіанти вимірювання відхилення від симетрії наскрізного отвору (рис. 3.24, в), шпонкового паза (рис. 3.24, г) і поверхонь лисок щодо осі виробу (рис. 3.24, д). У перших двох випадках використовують спеціальні пристосування, в останньому – стояк.

За відхилення від симетрії в усіх наведених випадках береться напіввізниця показань приладу в I та II положеннях.

Різностінність вимірюють за допомогою індикаторних товщиномірів, спеціальних пристосувань із використанням важільно-механічних головок та інших приладів. На рис. 3.24, е, ж контроль різностінності здійснюють за допомогою вимірювальних головок. Гільзу встановлюють на опорні ролики, всередину неї вводять головку, закріплену у державці. Вимірювальний наконечник підводять до контрольованої поверхні і повертають гільзу. За різностінність приймають різницю найбільшого та найменшого показань приладу за один оберт гільзи. На рис. 3.24, ж вимірювання різностінності здійснюють поворотом виробу на оправці.

За відхилення від перетину осей приймають найменшу відстань Δ між осями, що номінально перетинаються.

Цей параметр вимірюють за допомогою контрольної оправки й індикатора на стояку (рис. 3.24, к). Контрольну оправку по черзі кладуть у I та 2 положення і за допомогою індикатора зі стояком визначають висоту верхньої твірної валика над точкою перетину осей у кожному положенні. Різниця показань приладу дає визначуване відхилення.

У процесі монтажно-складальних робіт досить часто доводиться вимірювати дійсні відстані між осями отворів, визначити їх відстані щодо базових площин.

На рис. 3.25 показано схему, що дозволяє з високою точністю визначити відстань l між осями отворів. У отвори вставляють пробки, що складаються з двох зустрічних клинів. Зсувом клинів назустріч один одному вибирають зазор між поверхнями кли-

нів і отвору. Потім за допомогою вимірювальних засобів, вибраних залежно від необхідної точності вимірювання і габаритів виробу, вимірюють розмір l_1 або l_2 . Знаючи діаметри отворів, знаходять необхідну відстань l .

Замість клинових пробок можна використовувати інші пристрої, що забезпечують беззорове з'єднання з отворами.

Відстань між осями сусідніх отворів може бути зміряна безконтактним методом на мікроскопі із застосуванням головки подвійного зображення. У цьому випадку спочатку вимірюють координати центрів отворів у прямокутній системі координат, потім перераховують координати і знаходять відстань між осями.

За невисоких вимог до точності вимірювань відстань між осями отворів може бути виміряна за допомогою універсальних вимірювальних засобів безпосереднім вимірюванням діаметрів отворів і розмірів l_1 або l_2 .

Для контролю відстані L між осями отворів широко застосовують калібри. За конструкцією вони можуть бути виготовлені у вигляді скоб (рис. 3.26, б, в) або штифтовими (рис. 3.26, а, г).

За допомогою калібрів-скоб можна здійснювати контроль розмірів A і B (рис. 3.26, д). У комплект входять дві скоби, що є прохідними для найбільшого та найменшого граничних розмірів A або B .

Недоліком калібрів-скоб є те, що вони нерегульовані і не дуже зручні для контролю деталей із малими діаметрами отворів. Тому перевагу віддають штифтовим калібрам, що дозволяють перевіряти розташування будь-якого числа отворів як у прямокутній, так і в полярній системах координат.

Штифтовими калібрами можна контролювати не тільки взаємне розташування отворів, а і їхнє розташування щодо циліндричної або плоскої базових поверхонь (рис. 3.27, а, б).

Відхилення від симетричності зовнішніх A і внутрішніх B поверхонь деталі перевіряють за допомогою калібру-скоби (рис. 3.27, в).

В усіх випадках деталь визнають придатною, якщо калібр у неї входить, тобто калібр є прохідним. Такі калібри називають односторонніми. Застосування двограничних калібрів, що мають прохідну і непрохідну сторони, для контролю положення осей отворів у край обмежене.

При контролі розташування осей отворів калібрами необхідно враховувати, що на точність контролю розмірів A і B (відповідно і L) впливають розміри отворів. Так, якщо розміри отворів більші від допустимих

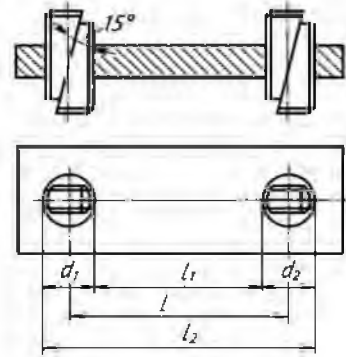


Рис. 3.25. Схема вимірювання відстані між осями

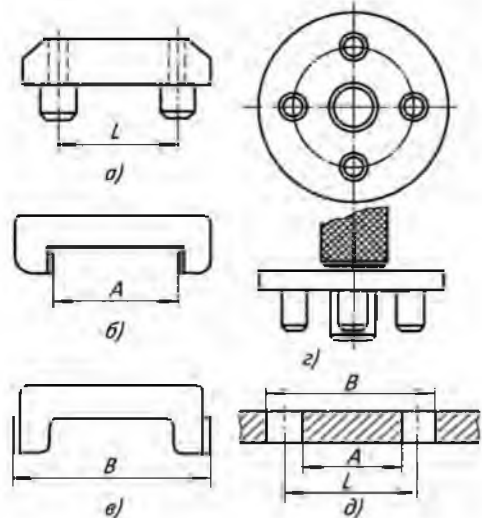


Рис. 3.26. Калібри для контролю відстаней між осями отворів

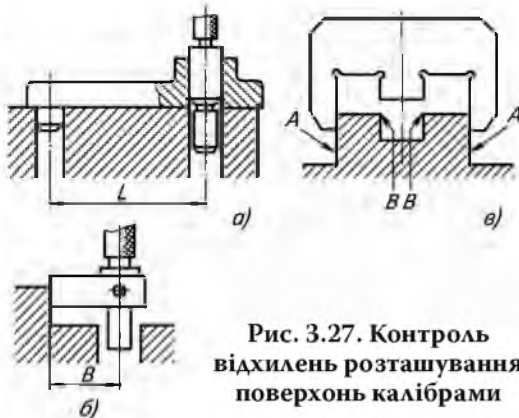


Рис. 3.27. Контроль відхилень розташування поверхнь калібрами

граничних значень, а розмір L менший від граничного значення, то при контролі калібром деталь може бути визнана придатною. Тому контроль відстаней між осями отворів або віссю отвору і базовою поверхнею за допомогою розглянутих калібрів має проводитися тільки після контролю самих отворів.

Контроль розташування осей отворів здійснюють робочими калібрами. Вони можуть використовуватися як приймальні тільки за наявності зносу не менш ніж на 40 %.

3.5. ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ

Шорсткістю поверхні називають сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділену за допомогою базової довжини (ГОСТ 25142–82). *Базова довжина l* – довжина базової лінії, яка використовується для виділення нерівностей, що характеризують шорсткість поверхні. *Базова лінія* (поверхня) – лінія (поверхня) заданої геометричної форми, що певним чином проведена відносно профілю (поверхні) і слугує для оцінки геометричних параметрів поверхні. Шорсткість є наслідком пластичної деформації поверхневого шару деталі, що виникає внаслідок утворення стружки, копіювання нерівностей різальних кромek інструменту і тертя його об деталь, вививання з поверхні частинок матеріалу та інших причин. Числові значення шорсткості поверхні визначають від єдиної бази, за яку прийнято *середню профільну t* , тобто базову лінію, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини середнє квадратичне відхилення профілю до цієї лінії є мінімальним. Систему відліку шорсткості від середньої лінії профілю називають *системою середньої лінії*.

Якщо для визначення шорсткості вибрано ділянку поверхні завдовжки l , інші нерівності (наприклад, хвилястість), що мають крок, більший за l , не враховують. Для надійної оцінки шорсткості з урахуванням розсіяння показань приладу і можливої неоднорідності будови нерівностей вимірювання слід повторювати кілька разів у різних місцях поверхні і за результат вимірювання приймати середнє арифметичне результатів вимірювання на кількох довжинах оцінки. *Довжина оцінки L* – довжина, на якій оцінюють шорсткість. Вона може містити одну або кілька базових довжин l . Числові значення базової довжини вибирають з ряду: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Згідно із ГОСТом 2789–73, який відповідає міжнародній рекомендації зі стандартизації ISO Р 468, шорсткість поверхні виробів незалежно від матеріалу та способу виготовлення (отримання поверхні) можна оцінювати кількісно за одним або кількома параметрами: за середнім арифметичним відхиленням профілю Ra , висотою нерівностей профілю по десяти точках Rz , найбільшою висотою нерівностей профілю R_{max} , середнім кроком нерівностей S_m , середнім кроком місцевих виступів профілю S , відносною опорною довжиною профілю t_p (p – значення рівня перетину профілю, рис. 3.28). Параметр Ra є переважним.

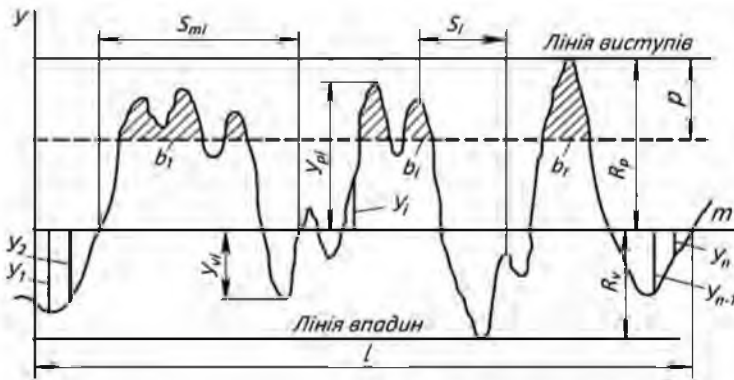


Рис. 3.28. Профілограма та основні параметри шорсткості поверхні

Параметр Ra характеризує середню висоту всіх нерівностей профілю, Rz – середню висоту найбільших нерівностей, R_{\max} – найбільшу висоту профілю. Крокові параметри S_m і t_p введені для обліку різної форми і взаємного розташування характерних точок нерівностей. Ці параметри дозволяють також нормувати спектральні характеристики профілю.

Параметри шорсткості, пов'язані з висотними властивостями нерівностей.

Середнє арифметичне відхилення профілю Ra – середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини:

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

де l – базова довжина; n – число вибраних точок профілю на базовій довжині.

Відхилення профілю y – відстань між будь-якою точкою профілю і середньою лінією.

Висота нерівностей профілю по десяти точках Rz – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших заглиблень профілю в межах базової довжини:

$$Rz = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right],$$

де y_{pi} – висота i -го найбільшого виступу профілю; y_{vi} – глибина i -го найбільшого заглиблення профілю.

Найбільша висота нерівностей профілю R_{\max} – відстань між лінією виступів профілю та лінією заглиблень профілю в межах базової довжини l (рис. 3.28).

Параметри шорсткості, пов'язані з властивостями нерівностей у напрямі довжини профілю. Середній крок нерівностей профілю S_m – середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

де n – число кроків у межах базової довжини l ; S_{mi} – крок нерівностей профілю, рівний довжині відрізка середньої лінії, що перетинає профіль у трьох сусідніх точках і обмежена двома крайніми точками.

Середній крок місцевих виступів профілю S – середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини:

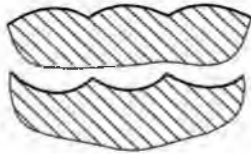
$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

де n – число кроків нерівностей по вершинах у межах базової довжини l ; S_i – крок нерівностей профілю по вершинах, рівний довжині відрізка середньої лінії між проєкціями на неї двох найвищих точок сусідніх виступів профілю.

Числові значення параметрів шорсткості Ra , Rz , R_{\max} , S_m та S наведено у ГОСТі 2789–73.

Рекомендується використовувати переважно значення параметрів Ra , оскільки зразки порівняння шорсткості поверхні за ГОСТом 9378–75 виготовляють саме з цими значеннями Ra .

Параметри шорсткості, пов'язані з формою нерівностей профілю. Опорна довжина профілю η_p – сума довжин відрізків b_i , що відгинаються на заданому рівні p у матеріалі профілю лінією, еквідистантною середній лінії m у межах базової довжини (рис. 3.29):



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

Відносна опорна довжина профілю t_p – відношення опорної довжини профілю до базової довжини:

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

Рис. 3.29. Приклад профілів p_t нерівностей поверхонь, що мають різну форму, але однакове значення Ra

Опорну довжину профілю η_p визначають на рівні перетину профілю p , тобто на заданій відстані між лінією виступів профілю та лінією, що перетинає профіль еквідистантно лінії виступів профілю. *Лінія виступів профілю* – лінія, еквідистантна середній лінії, що проходить через вищу точку профілю в межах базової довжини. Значення рівня перетину профілю p відлічують за лінією виступів і вибирають з ряду: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 % від R_{\max} . Відносна опорна довжина профілю t_p може бути рівна: 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 %.

Вибір параметрів шорсткості та їхніх числових значень. Вимоги до шорсткості поверхні деталей слід установлювати, виходячи з функціонального призначення поверхні для забезпечення заданої якості виробів. Якщо в цьому немає необхідності, вимог до шорсткості поверхні не встановлюють і шорсткості цієї поверхні не контролюють. Розглянутий комплекс параметрів сприяє обґрунтованому визначенню показників шорсткості для поверхонь різного експлуатаційного призначення. Наприклад, для поверхонь відповідальних деталей тертя встановлюють значення Ra (або Rz), R_{\max} і t_p , а також напрям нерівностей, що допускаються; для поверхонь циклічно навантажених відповідальних деталей – R_{\max} , S_m та S і т. ін. Під час вибору параметрів Ra або Rz слід мати на увазі, що параметр Ra дає більш повну оцінку шорсткості, оскільки для його визначення вимірюють та підсумовують віддаленість великої кількості точок дійсного профілю до його середньої лінії, тоді як при визначенні параметра Rz вимірюють тільки відстані між п'ятьма вершинами та п'ятьма заглибленнями нерівностей. Вплив форми нерівностей на експлуатаційні показники якості деталі параметром Ra оцінити не можна, оскільки за різних форм нерівностей значення Ra можуть бути однакові. Наприклад, профілі нерівностей, зображені на рис. 3.28, ма-

ють різну форму, але однакові значення параметра Ra . Для кращої оцінки властивостей шорсткості необхідно знати її висотні, крокові параметри і параметр форми t_p .

Зносостійкість, контактна жорсткість, міцність пресових посадок та інші експлуатаційні властивості поверхонь деталей, що сполучаються, пов'язані з фактичною площею їхнього контакту. Для визначення опорної площі, яка утворюється під робочим навантаженням, будують криві відносної опорної довжини профілю t_p . Для цього відстань між лініями виступів та заглиблень ділять на кілька рівнів перетинів профілю з відповідними значеннями p . Для кожного перетину за наведеними вище формулами визначають значення t_p і будують криву зміни опорної довжини профілю (рис. 3.30). При виборі значень t_p слід враховувати, що з його збільшенням потрібні все більш трудомісткі процеси обробки; наприклад, при значенні $t_p \approx 25\%$, визначеному за середньою лінією профілю, можна застосовувати чистове точіння, а при $t_p \approx 40\%$ необхідне хонінгування. Опорна довжина профілю t_p визначає значення пластичної деформації поверхонь деталей у разі їхнього контакту.

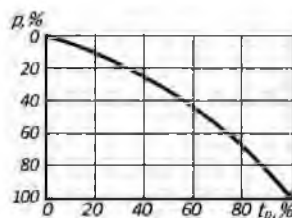


Рис. 3.30. Крива відносної опорної довжини профілю

Для невідповідальних поверхонь шорсткість визначається вимогами технічної естетики, корозійної стійкості та технологією виготовлення.

Вимоги до шорсткості поверхні встановлюють шляхом указання параметра шорсткості (одного або кількох), його числового значення (найбільшого, найменшого, номінального і діапазону значень), а також базової довжини, на якій необхідно визначити параметри шорсткості. У загальному випадку значення l вибирають за допустимими значеннями параметрів Ra , Rz і R_{\max} згідно з табл. 3.1. Якщо параметри Ra , Rz і R_{\max} повинні бути визначені на базовій довжині, вказаній у табл. 3.1, то її у вимогах до шорсткості не вказують.

Таблиця 3.1. Співвідношення параметрів Ra , R_{\max} і Rz та базової довжини l

Ra , мкм	$Rz = R_{\max}$, мкм	l , мм
До 0,025	До 0,10	0,08
Від 0,025 до 0,4	Від 0,10 до 1,6	0,25
Від 0,4 до 3,2	Від 1,6 до 12,5	0,8
Від 3,2 до 12,5	Від 12,5 до 50	2,5
Від 12,5 до 100	Від 50 до 400	8

Вимоги до шорсткості поверхні встановлюють без урахування дефектів поверхні (подряпин, раковин і т. ін.) – за необхідності їх вказують окремо.

В обґрунтованих випадках встановлюють вимоги до напрямку нерівностей (табл. 3.2) і виду (або послідовності ви-

Таблиця 3.2. Напрямок нерівностей та їхнє позначення

Напрямок нерівностей	Схематичне зображення	Позначення напрямку рисок	Напрямок нерівностей	Схематичне зображення	Позначення напрямку рисок
Паралельний			Довільний		
Перпендикулярний			Колоподібний		
Перехрещується			Радіальний		

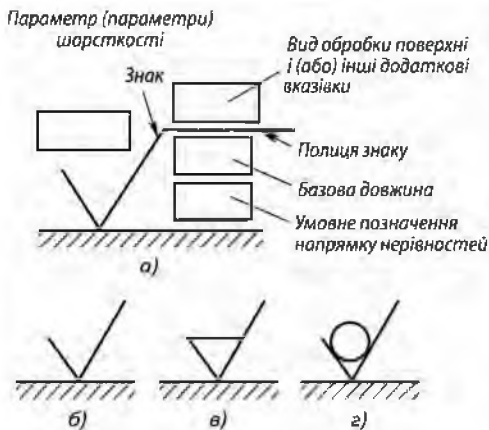


Рис. 3.31. Структура позначення шорсткості поверхні

структор не встановлює, застосовують позначення, показане на рис. 3.31, б; це позначення є переважним. У позначенні шорсткості поверхні, що утворюється видаленням шару матеріалу, наприклад, точінням, фрезеруванням, свердленням, шліфуванням, поліруванням, травленням і т. ін., застосовують позначення, показане на рис. 3.31, в. Для позначення шорсткості поверхні, що утворюється без зняття шару матеріалу, наприклад, литтям, куванням, об'ємним штампуванням, прокатом, волочінням і т. ін., застосовують знак, показаний на рис. 3.31, г; поверхні, що не обробляються за креслеником, позначають цим же знаком. Стан поверхні, позначеної цим знаком, повинен задовольняти вимоги, встановлені відповідним стандартом або технічними умовами на сортамент матеріалу.

Значення параметра шорсткості Ra вказують у її позначенні без символу, наприклад, 0,5; для решти параметрів – після відповідного символу, наприклад, R_{\max} 6,3; S_m 0,63; S 0,32; Rz 32; t_{50} 70. Тут указані найбільші допустимі значення параметрів шорсткості; їх найменші значення не обмежуються. У прикладі позначення t_{50} 70 вказано відносну опорну довжину профілю $t_p = 70\%$ при рівні перетину профілю $p = 50\%$. У разі вказання діапазону значень параметра шорсткості поверхні (найбільшого та найменшого) у позначенні наводять межі значень параметра, розміщуючи їх у два рядки, наприклад:

1,00;	Rz 0,080;	R_{\max} 0,80;	t_{50} 50 і т. ін.
0,63	0,032	0,32	70

У верхньому рядку наводять значення параметра, відповідне більшій шорсткості.

При вказанні номінального значення параметра шорсткості поверхні у позначенні приводять це значення з граничними відхиленнями, наприклад, $l \pm 20\%$; Rz $80_{-10}\%$; S_m $0,63^{+20}\%$; t_{50} $70 \pm 40\%$ і т. ін.

У разі вказання двох і більше параметрів шорсткості поверхні у позначенні їхні значення записують зверху вниз у такому порядку (рис. 3.32, а): параметр висоти нерівностей профілю (Ra не більше 0,1 мкм; значення базової довжини l відповідає значенням, наведеним у табл. 3.1, і дорівнює 0,25 мм); параметр кроку нерівностей профілю (S_m від 0,063 до 0,040 мм на базовій довжині 0,8 мм); відносна опорна довжина профілю (t_{50} $80 \pm 10\%$ на базовій довжині 0,25 мм). Можна вказувати вид обробки,

якщо він єдиний для забезпечення якості поверхні. Найменші коефіцієнти тертя і зношування деталей тертя одержують, коли напрям руху не збігається з напрямом нерівностей, наприклад, при довільному напрямі нерівностей, що виникає під час суперфінішування та хонінгування.

Позначення шорсткості поверхонь.

Згідно із ГОСТом 2.309–73 шорсткість поверхонь позначають на кресленику для всіх виконуваних за цим креслеником поверхонь деталі незалежно від методів їх утворення, окрім поверхонь, шорсткість яких не обумовлена вимогами конструкції. Структуру позначення шорсткості поверхні наведено на рис. 3.31, а. У позначенні шорсткості поверхні, вид обробки якої кон-

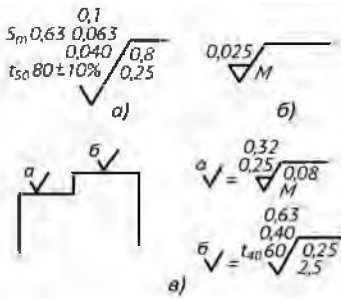


Рис. 3.32. Приклади позначення шорсткості поверхні

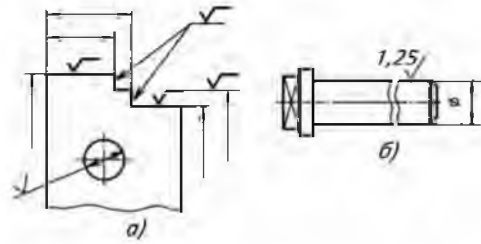


Рис. 3.33. Приклад позначення шорсткості на розмірних або виносних лініях (а) і на деталях, зображених із розривом (б)

якщо він єдиний для певної поверхні (рис. 3.32, б). Допускається застосовувати спрощене позначення шорсткості поверхонь із роз'ясненням його в технічних вимогах кресленика (рис. 3.32, в).

Позначення шорсткості поверхонь на зображенні деталі розташовують на лініях контуру, виносних лініях (по можливості ближче до розмірної лінії) або на полицях ліній-виносень. У разі нестачі місця допускається розміщувати позначення шорсткості на розмірних лініях або на їхніх продовженнях, а також розривати виносну лінію (рис. 3.33, а). При зображенні виробу з розривом позначення шорсткості наносять тільки на одній частині зображення, по можливості ближче до місця вказання розриву (рис. 3.33, б).

При вказанні однакової шорсткості для всіх поверхонь деталі позначення шорсткості поміщають у правому верхньому кутку кресленика і на зображення не наносять (рис. 3.34, а). При вказанні однакової шорсткості для частини поверхонь деталі в правому верхньому куті кресленика поміщають позначення однакової шорсткості і знак, показаний на рис. 3.31, б (рис. 3.34, б). Це означає, що всі поверхні, на зображенні яких не нанесено позначення шорсткості або знака, показаного на рис. 3.31, г, повинні мати шорсткість, указану перед знаком у правому верхньому куті кресленика. Коли частина поверхонь виробу не обробляється за креслеником, у правому верхньому куті кресленика поміщають знаки, показані на рис. 3.34, в. Якщо шорсткість однієї поверхні різна на окремих ділянках, ці ділянки розмежовують суцільною тонкою лінією з нанесенням відповідних розмірів і позначень шорсткості (рис. 3.34, г).



Рис. 3.34. Приклади специфічних випадків позначення шорсткості

3.6. КОНТРОЛЬ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ

Зразки порівняння параметрів шорсткості поверхні. Параметри шорсткості поверхні оцінюють на робочому місці порівнянням зі зразками шорсткості – брусками з плоскою або циліндричною поверхнею довжиною 30–40 мм і шириною 20 мм, виготовленими за ГОСТом 9278–75 (рис. 3.35) із відомими значеннями параметра шорсткості. Зразки шорсткості комплектують у набори. Характеристики зразків порівняння шорсткості наведено у табл. 3.3.

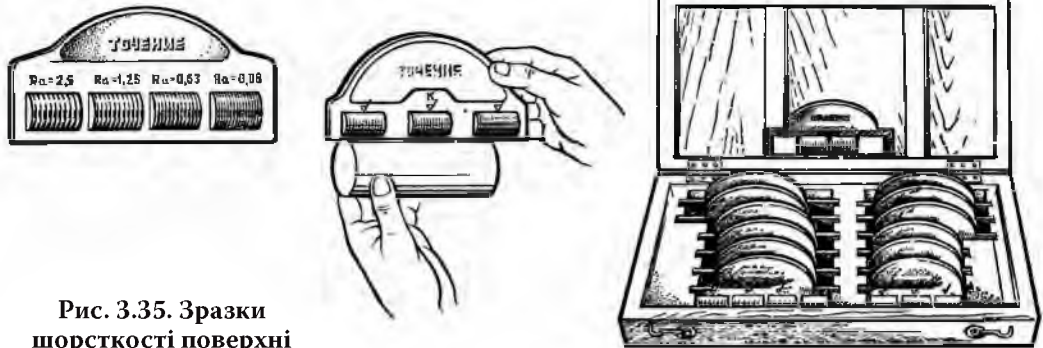


Рис. 3.35. Зразки шорсткості поверхні

Таблиця 3.3. Характеристики зразків порівняння параметрів шорсткості поверхні

Параметр Ra , мкм	Базова довжина, мм	Спосіб обробки поверхні	Розташування нерівностей	Форма зразка порівняння
0,025 0,05 0,1 0,2 0,4	0,25	Шліфування периферією круга		Плоска Циліндрична: опукла, увігнута
0,8 1,6 3,2	0,8	Шліфування торцеве чашоподібним кругом		Плоска
0,4 0,8 1,6 3,2	0,8	Обточування, розточування		Циліндрична: опукла, увігнута
6,3 12,5	2,5	Точіння торцеве		Плоска
0,4 0,8	0,8	Фрезерування циліндричне		Плоска
1,6 3,2	0,8	Фрезерування торцеве		Плоска
6,3 12,5	2,5			Плоска

Параметр Ra , мкм	Базова довжина, мм	Спосіб обробки поверхні	Розташування нерівностей	Форма зразка порівняння
0,8 1,6	0,8	Стругання		Плоска
3,2 6,3	2,5			
12,5 25	8,0			

Примітки. 1. На кожному зразку шорсткості вказують номінальне значення параметра шорсткості і спосіб механічної обробки зразка. 2. Наведений у таблиці ряд значень параметра Ra – переважний.

Прилади для вимірювання параметрів шорсткості поверхні. Засоби вимірювання параметрів шорсткості поверхні поділяють на *оптичні* та *контактні*. Контактні засоби вимірювання більш надійні у цехових умовах роботи.

Оптичні засоби вимірювання (оптичні прилади) призначені для визначення трьох параметрів шорсткості: Rz , R_{\max} і S у площині, нормальній до напрямку нерівностей поверхні.

ГОСТ 9847–79 встановлює п'ять типів оптичних приладів для вимірювання параметрів шорсткості поверхні: ПТС – прилад тіньового перерізу, призначений для вимірювання шорсткості грубо оброблених поверхонь; ПСС – прилад світлового перерізу (подвійний мікроскоп); МОМ – мікроскоп однооб'єктивний муаровий, заснований на вимірюванні викривлення муарових смуг, спричиненого нерівностями поверхні; МИИ – мікроскоп інтерференційний, що використовує під час вимірювання двопробеневу інтерференцію світла; МПИ – мікроскоп-профілометр, для якого ґрунтується на інтерференції світла з утворенням смуг рівного хроматичного порядку.

Характеристики оптичних приладів наведено у табл. 3.4.

До приладів типу ПСС відносять подвійний мікроскоп Лінника МИС-11, що складається з проектувального та спостережного мікроскопів, осі яких розміщені під кутом 90° , а бісектриса кута перпендикулярна до контрольованої поверхні.

Оптичну схему приладу представлено на рис. 3.36, а. Якщо світло від джерела 3 направити через вузьку щілину 16 прямокутного перерізу і спроектувати об'єктивом 5, то на контрольовану поверхню 4 надійде пучок світла у вигляді вузької смуги, який

Таблиця 3.4. Характеристики оптичних приладів для вимірювання параметрів шорсткості поверхні (ГОСТ 9847–79)

Тип приладу	Rz, R_{\max} , мкм	S , мм	Загальне збільшення, разів, не більше	Лінійне поле зору, мм, не менше	Сумарна похибка середнього з трьох вимірювань, %
ПТС	40–320	0,2–1,6	32	8	5–2,5
ПСС	0,5–40	0,002–0,5	750–80	0,25–2,5	30–5,5
МОМ	0,8–40	0,006–0,5	400–110	0,25–2,5	10–28
МИИ	0,05–0,8	0,002–0,05	2500–400	0,008–0,25	50–15
МПИ	0,05–0,8	–	500; 300	0,25	35–18

Примітка. Проміжні значення загального збільшення приладу, лінійного поля зору і сумарної похибки наведено для приладів окремого типу в ГОСТі 9847–79.

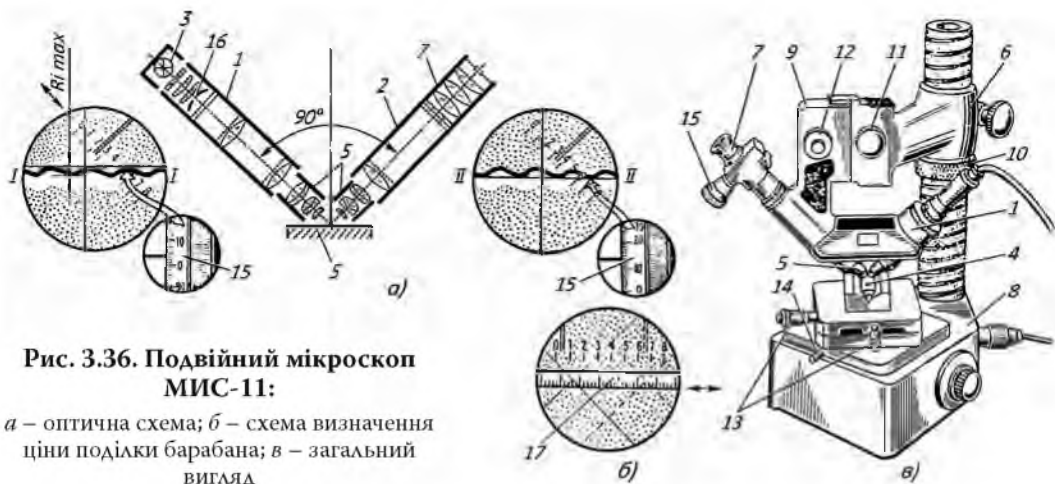


Рис. 3.36. Подвійний мікроскоп МИС-11:

а – оптична схема; *б* – схема визначення ціни поділки барабана; *в* – загальний вигляд

деформується шорсткістю поверхні 4 і, відбившись від неї, спроектується об'єктивом 5 спостережного мікроскопа 2 у фокальну площину гвинтового окулярного мікроскопа 7. Змірявши амплітуду R_{\max} відхилення світлового пучка від прямолінійності, визначають висотні параметри шорсткості контрольованої поверхні.

Будову мікроскопа показано на рис. 3.36, *в*. По колонці, закріпленій в основі 8 мікроскопа, переміщується кронштейн 6 з утримувачем 9 тубусів проектувального 1 та спостережного 2 мікроскопів. Переміщення кронштейна здійснюється при звільненому гвинті кронштейна за допомогою гайки 10. У верхній частині мікроскопа 1 встановлений освітлювач, а у мікроскопа 2 – окулярний гвинтовий мікрометр 7. Для фокусування мікроскопів на контрольований виріб слугує маховик 11 грубої подачі і маховик 12 точної (мікрометричної) подачі. За допомогою двох мікрометричних головок 13 столик із виробом може пересуватися у двох взаємно перпендикулярних напрямках, а також повертатися навколо вертикальної осі і фіксуватися гвинтом 14.

До подвійного мікроскопа МИС-11 додаються чотири пари змінних об'єтивів, які не завжди ідентичні. Тому перед вимірюваннями має бути визначена ціна поділки кругової шкали барабана 15 гвинтового окулярного мікроскопа 7. Це здійснюється за допомогою зразкової скляної шкали 17 (рис. 3.36, *б*) об'єкт-мікрометра, що встановлюється на вимірювальний столик. Мікроскоп 7 повертають навколо своєї осі так, щоб зображення шкали поєднувалося із зображенням щілини і при обертанні барабана 15 розташовувалося паралельно до краю щілини, а поділки шкали 17 об'єкт-мікрометра мають розміщуватися перпендикулярно до краю щілини.

Перехрестя мікроскопа 7 суміщають з одним із крайніх штрихів шкали 17 об'єкт-мікрометра і здійснюють відлік за шкалою барабана 15. Потім перехрестя за допомогою барабана переміщують на інший крайній штрих об'єкт-мікрометра і проводять другий відлік. Знаходять різницю n віддіків за шкалою об'єкт-мікрометра із ціною поділки 0,01 мм і різницю k двох віддіків за шкалою барабана 15, одержаних при поєднанні перехрестя зі штрихами шкали 17 об'єкт-мікрометра.

Ціна поділки (мм) шкали окулярного мікроскопа 7

$$c = \frac{n \cdot 0,01}{2k}.$$

Після визначення ціни поділки з окулярного мікроскопа на столик 8 (рис. 3.36, в) встановлюють вимірюваний виріб 4 і фокусують мікроскоп по поверхні виробу, обертаючи маховики 12 та 11.

Гвинтовий окулярний мікроскоп 7 повертають навколо осі так, щоб горизонтальна лінія перехрестя була встановлена паралельно світловій щілині. У цьому положенні мікроскоп фіксують. Обертанням мікрометричного барабана 15 окулярного мікроскопа суміщають горизонтальну нитку перехрестя з виступом, наприклад із виступом верхньої межі зображення світлової смуги (положення I на рис. 3.36, а), і записують відлік показань за шкалою мікрометричного барабана 15. Потім цю нитку перехрестя суміщають із заглибленням зображення світлової смуги (положення II на рис. 3.36, а) і записують другий відлік.

Визначають висоту $R_{i\max}$ першої нерівності профілю (виступу, зв'язаного із заглибленням):

$$R_{i\max} = N \cdot c,$$

де N – різниця відліків за шкалою барабана окулярного мікроскопа; c – ціна поділки шкали барабана мікроскопа.

Аналогічно вимірюють висоти $R_{i\max}$ решти найбільших за величиною нерівностей профілю на базовій довжині l , яку визначають за табл. 3.2 залежно від очікуваного значення параметра Rz контрольованої поверхні.

Параметр шорсткості поверхні

$$Rz = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{i\max}.$$

Мікроскоп ПСС-2 (рис. 3.37), на відміну від мікроскопа МИС-11, має велике збільшення, забезпечений комплектом вбудованих об'єтивів, містить гвинтовий окулярний мікрометр із внутрішнім відліком, змінні щілини і вбудовану фотокамеру. Він призначений для вимірювання та фотографування висоти мікронерівностей на зовнішніх поверхнях деталей.

Мікроінтерферометри застосовують для вимірювання шорсткості поверхні за параметрами Ra та Rz . Оптична схема (рис. 3.38, а) є поєднанням інтерферометра і мікроскопа. Світло з освітлювального пристрою 1 розділяється на пластині 4. Один світловий потік проходить крізь компенсаційне скло 5 і об'єтивів 6, відбивається від дзеркала 7 і повертається до пластини 4. Інший потік світла проходить крізь об'єтивів 3 і, відбившись від поверхні виробу 2, теж повертається до пластини. Світловий потік, що інтерферує, спрямовується об'єктивом 8 через дзеркало 9 у фокальну площину окуляра 10. Спостережувану інтерференційну картину можна сфотографувати за допомогою об'єктива 11, який дає дійсне зображення у площині 12.

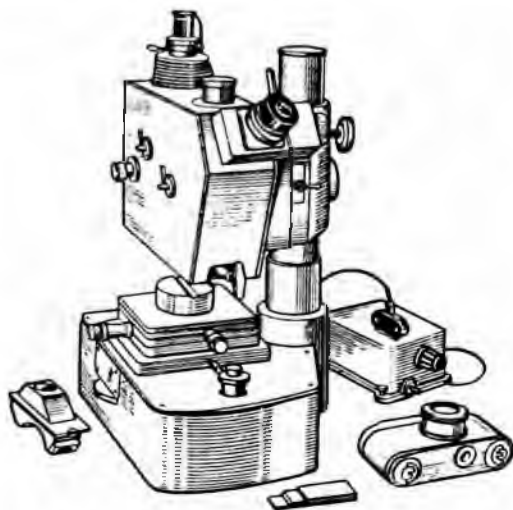


Рис. 3.37. Мікроскоп ПСС-2

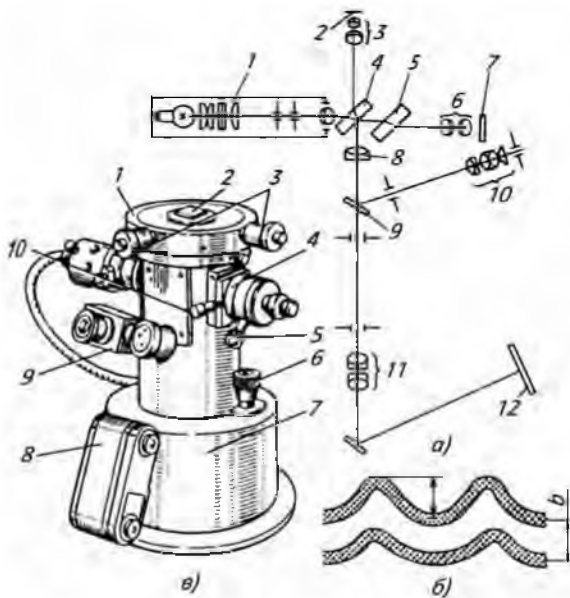


Рис. 3.38. Мікроінтерферометр МІІ-4:

а – схема; *б* – метод вимірювання; *в* – зовнішній вигляд

ренційне дзеркало шторкою, що дає змогу розглядати поверхню без інтерференції. Викривлення інтерференційних смуг вимірюють окулярним мікрометром 9. Камера 8 служить для фотографування.

Імерсійно-реплікаційний мікроінтерферометр МІІ-10 за принципом дії і будовою аналогічний мікроінтерферометру МІІ-4. Завдяки застосуванню особливої конструкції вузла референтного (нерухомого) дзеркала і двох освітлювальних систем прилад дозволяє проводити звичайні вимірювання висоти нерівностей і вимірювання нерівностей реплік (відбитків), знятих із деталей на прозору плівку, яку поміщають до спеціальної камери з імерсійною рідиною для посилення яскравості і розширення меж збільшення зображення. Імерсійно-реплікаційним мікроінтерферометром можна вимірювати нерівності висотою 1...10 мкм.

Контактні прилади вимірювання параметрів шорсткості. До контактних приладів відносять *профілометри* (ГОСТ 19300–73) та *профілографи* (ГОСТ 12299–73), що випускаються для номінально-прямолінійних профілів поверхонь (тип А) і для номінально-непрямолінійних профілів поверхонь (тип Б). Випускають контактні профілографи-профілометри (мод. 252), в яких передбачено запис профілограми і цифровий відліковий пристрій. За призначенням прилади поділяють на дві групи: І – для дослідницьких робіт і лабораторних вимірювань; ІІ – для вимірювань у цехових умовах.

У профілометрах параметри шорсткості визначають за стрілковими або цифровими відліковими пристроями. Наприклад, до профілометрів зі стрілковим відліковим пристроєм відносять профілометри мод. 253 та 283, у яких шкали проградуйовані за параметром Ra . Завод «Калібр» випускає профілометр мод. 296 із цифровим відліковим пристроєм.

Дзеркало 9 при цьому виводять із ходу променів. Нерівності поверхні призводять до викривлення інтерференційних смуг (рис. 3.38, б). Значення мікронерівностей вимірюють за відношенням висоти a викривлення смуг до ширини b смуг: $H = \lambda a / (2b)$. За наслідками вимірювань на базовій довжині обчислюють параметр Rz . Для визначення параметра Ra фотографують інтерференційну картину і обробляють фотографію на проекторі.

Мікроінтерферометр МІІ-4 за ТУ 3–3.1145–81 (рис. 3.38, в) має масивну основу 7, на якій встановлено стіл 1 із мікрометричними гвинтами 3. Виріб 2 вкладають на стіл поверхню, що перевіряється, вниз. Гвинтом 6 фокусують прилад. Поворотом корпусу 4 і гвинта 5 змінюють ширину і напрям інтерференційних смуг. Головка 10 закриває інтерференційну картину.

Окрім відлікових пристроїв, профілографи-профілометри забезпечені реєструвальним (записувальним) пристроєм. Профіль контрольованої поверхні записують у вигляді кривої, названої профілограмою, що є початковим документом для визначення всіх параметрів шорсткості поверхні.

Робота профілометрів та профілометрів-профілографів ґрунтується на обмацуванні контрольованого профілю поверхні виробу алмазною голкою (ГОСТ 18961–80) вимірювального щупа у міру переміщення його по поверхні виробу і на перетворенні відхилення щупа у вертикальній площині в електричні сигнали, пропорційні до відхилення щупа.

Як перетворювачі у вітчизняних профілографіях і профілометрах знайшли застосування в основному індуктивні та механотронні перетворювачі (див. розд. 2.5).

Принципову схему індуктивного перетворювача наведено на рис. 3.39, а, а його конструкцію – на рис. 3.39, б. Магнітну систему перетворювача формують здвоєний ш-подібний магнітний сердечник 4 (рис. 3.39, а) з двома котушками 3 і якорь 2. Котушки перетворювача і дві половини первинної обмотки вхідного диференціального трансформатора 6 становлять електричний міст, живлення якого здійснюється від генератора 5 синусоїдальної напруги із частотою 10 кГц. Алмазну обмацувальну голку 1 зі щупом закріплено на якорі 2 диференціального індуктивного перетворювача. Сила дії голки 1 на контрольовану поверхню 7 регулюється пружиною 8 (рис. 3.39, б). Магнітну систему жорстко закріплено в корпусі перетворювача і захищено екраном 9. Перетворювач вставляють у механізм приводу за допомогою напрямного штифта 10 і вилки рознімання.

У процесі вимірювання перетворювач переміщується паралельно до контрольованої поверхні. Алмазна голка, обмацуючи нерівності контрольованого виробу, разом із якорем здійснює коливання. Сигнал, що знімається з котушок, залежить від зазору між сердечником і якорем, розміщеним на плоскій пружині, затисненій у корпусі перетворювача. Вихідні сигнали мостової вимірювальної схеми надходять в електронний блок профілографа-профілометра.

Схему і конструкцію механотронного перетворювача наведено на рис. 3.39, в і г. Механотрон – електровакуумний прилад, управління силою електронного або іонного струму в якому здійснюється безпосередньо механічним переміщенням його електродів. Механотрони, що мають високу чутливість і є порівняно простими пристроями, виявилися недостатньо надійними у роботі, і в останніх моделях профілометрів їх стали замінювати індуктивними перетворювачами.

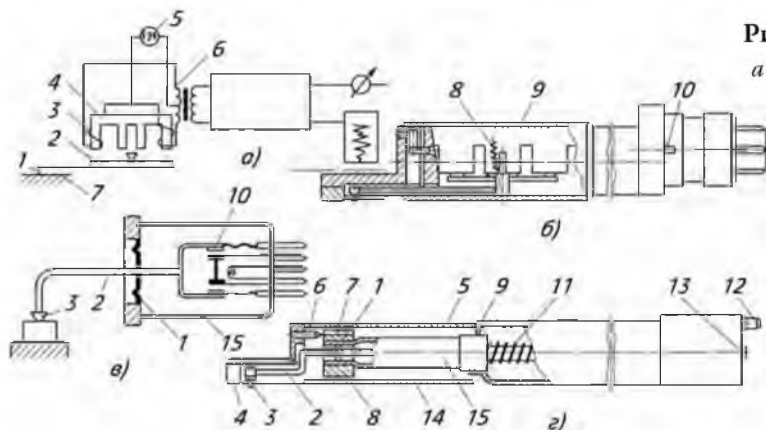


Рис. 3.39. Перетворювачі:
а та б – індуктивний; в та г – механотронний

Алмазну голку 3 (рис. 3.39, в) закріплено на кінці щупа 2, сполученого через мембрану 1 з рухомим анодом 10 електронної лампи 15. Цю лампу встановлено в корпусі 5 (рис. 3.39, з) за допомогою кільця 8 зі штирем 7, який впирається у гвинт 6. Лампа-механотрон притискається до корпусу перетворювача пружиною 11. Для захисту алмазної голки 3 на передній частині корпусу розташовано опору 4. Положення алмазної голки зі щупом 2 регулюють двома гвинтами 9, що впливають на кільце. Знизу механотрон захищений кришкою 14. У корпус профілометра перетворювач установлюють за допомогою штирів 13 рознімання і фіксують штифтом 12.

Під час переміщення алмазної голки по контрольованій поверхні коливання голки передається через щуп і мембрану на рухомий анод 10 (рис. 3.39, в) механотронного перетворювача, що викликає зміну вихідного сигналу. Цей сигнал подається на електронний блок профілометра.

Профілометри типу АП мод. 253 та 283 використовуються як цехові прилади для вимірювання параметра шорсткості R_a .

Принцип дії профілометрів ґрунтується на обмацуванні профілю досліджуваної поверхні алмазною голкою малого радіуса закруглення і перетворенні коливань алмазної голки за допомогою механотронного перетворювача у пропорційні зміни електричного вихідного сигналу, що реєструється після перетворення в електронному блоці показниковим приладом.

На рис. 3.40 показано профілометр мод. 283. Перетворювач 1, закріплений у приводі 2, може змінювати своє положення у вертикальній площині залежно від розміру контрольованого виробу. Привід із перетворювачем переміщують по колонці 3 за допомогою маховика 14. Шланг 17 сполучає перетворювач з електронним блоком 6, на передній панелі якого розміщено показниковий прилад 7, тумблер 8 увімкнення мережі із сигнальною лампою 9, клавішу 11 із сигнальною лампою 12, що сигналізує про рух перетворювача по контрольованій поверхні, п'ять клавіш 10 увімкнення меж вимірювання параметра R_a шорсткості.

Цифрами лівіше кожної клавіші позначено меж вимірювання у мкм: 0,1; 0,3; 1; 3; 10. Поряд із позначенням меж вимірювань червоним або зеленим кольором нанесені відмітки. Колір відміток збігається з кольором шкал показникового приладу 7. Важіль 13, що є на верхній панелі приводу 2, призначено для перемикання швидкості трасування перетворювача 1. Прилад забезпечує дві швидкості трасування: 0,25 та 0,8 мм/с. Робоча довжина траси за швидкості трасування 0,25 мм/с становить 1,5 мм, а за швидкості 0,8 мм/с – відповідно 4,5 мм. На задній панелі розміщені рознімання для під'єднання кабелю і запобіжник.

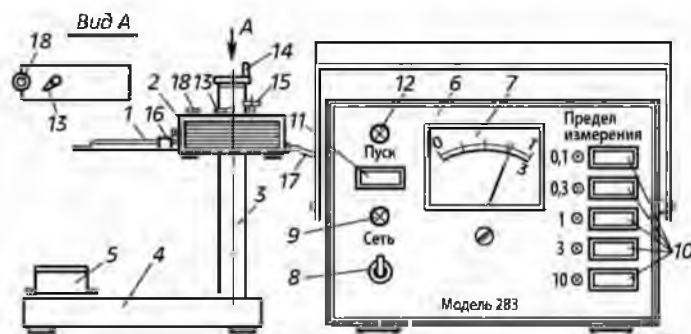


Рис. 3.40. Профілометр мод. 283 (типу АП)

При підготовці профілометра до роботи спочатку під'єднують кабелі, що сполучають електронний блок із приводом і перетворювачем. Механотронний перетворювач вставляють у рознімання штока 16 приводу і закріплюють гвинтом. Прилад вмикають у мережу з напругою 220 В.

Перед вимірюваннями профілометр настроюють за зразками шорсткості, якими укомплектований прилад. Зразок шорсткості встановлюють на призму 5, закріплену на столі 4 приладу. Клавішу 10 натискають відповідно до значення параметра Ra вибраного зразка шорсткості. Умикають тумблер 8 електроживлення приладу – спалахує лампочка 9. Потім перетворювач 1 встановлюють на контрольовану поверхню зразка шорсткості. Щоб не пошкодити алмазної голки, обережно опускають привід із перетворювачем. Обертаючи маховик 18, суміщають трикутні знаки на штоку і на планці приводу 2. Після цього рукояткою 15 і гвинтом стояка (на рис. 3.40 гвинт не видно) стопорять положення приводу на стояку.

За відомим значенням Ra зразка шорсткості знаходять значення базової довжини l , за яким встановлюють положення перемикача 13 відтинання кроку. Натискають клавішу 12 на електронному блоці. При цьому перетворювач починає рухатися по поверхні зразка шорсткості. При проходженні заданої ділянки відбувається автоматичне реверсування, за якого перетворювач повертається в початкове первинне положення. Після зупинки перетворювача сигнальна лампочка 12 гасне. Показниковий прилад 7 зареєструє зміряне значення параметра Ra зразка шорсткості. При відліку показань необхідно стежити за тим, щоб колір шкали приладу і колір клавіші збіглися зі встановленою межею вимірювання. Наприклад, якщо натиснуто клавішу з червоною відміткою, то відлік параметра Ra необхідно знімати за червоною шкалою, а у разі натиснутої клавіші із зеленою відміткою відлік слід проводити за зеленою шкалою. Вимірювання здійснюють 5 разів на різних ділянках поверхні зразка шорсткості. У випадку, якщо середнє арифметичне всіх показань профілометра відрізняється від номінального значення параметра Ra зразка шорсткості, необхідно скоригувати ці показання за допомогою потенціометра, розміщеного на задній панелі електронного блоку.

Перед вимірюванням параметра Ra виробу атестований зразок шорсткості замінюють контрольованим виробом. З особливою обережністю, щоб не пошкодити, встановлюють алмазну голку на контрольовану поверхню. Параметр Ra вимірюють у тій же послідовності, в якій профілометр настроювали за зразком шорсткості. Якщо під час вимірювання стрілка приладу 7 виходить за межі шкали, слід перейти на іншу межу вимірювання, перемкнувши клавіші 10.

За результат вимірювання Ra беруть середнє арифметичне з трьох вимірювань на різних ділянках контрольованої поверхні виробу.

Параметр шорсткості Ra вимірюють на профілометрі мод. 253 аналогічно, але з урахуванням конструктивних особливостей приладу. Наприклад, у цьому профілометрі є шість клавіш меж вимірювання параметра шорсткості Ra (3,2; 1,6; 0,8; 0,32; 0,16 та 0,08 мкм), відсутній важіль перемикання швидкості трасування, оскільки швидкість трасування постійна (вона дорівнює 0,62 мм/с за довжини траси інтеграції 3,2 мм).

Цеховий профілометр мод. 296 (ТУ 2-034-4-83) випускають із цифровим відліком та індуктивним перетворювачем.

Профілометр (рис. 3.41, *a*) має стояк 1 з укріпленою на його плиті колонкою 4, привід 2 з індуктивним перетворювачем 9, вставленим у гніздо пружинної підвіски 11, і електронний блок 3, на передній панелі якого розміщені такі засоби управління роботою профілометра: шестирозрядний цифровий індикатор 14 відліку зміряного пара-

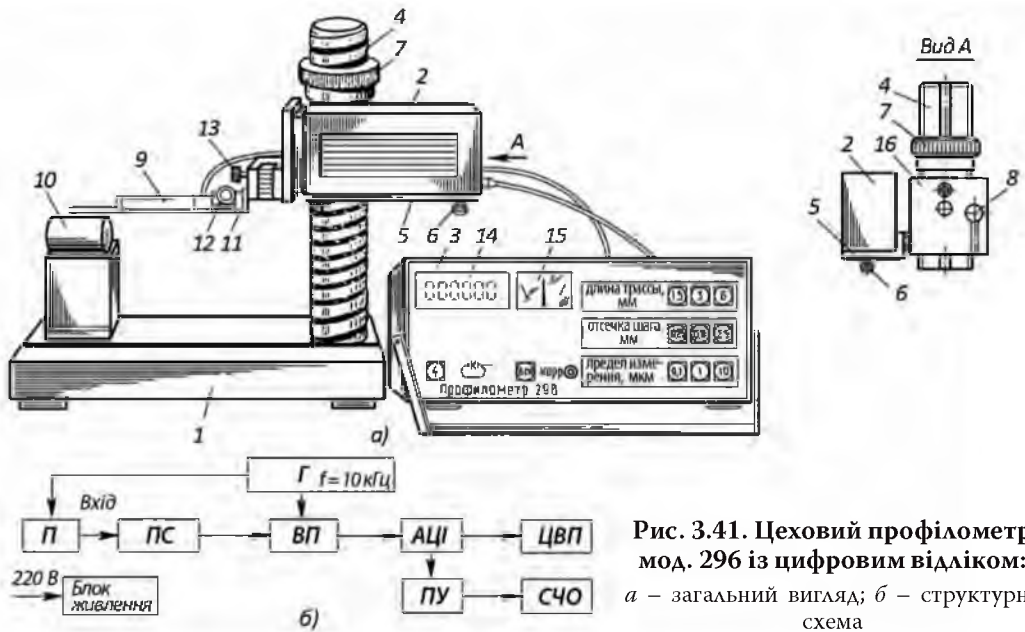


Рис. 3.41. Цеховий профілометр мод. 296 із цифровим відліком:
 а – загальний вигляд; б – структурна схема

метра *Ra* шорсткості поверхні; індикатор 15 робочої зони; клавіші довжини траси (1,5; 3 та 6 мм); клавіші відтину кроку (0,25; 0,8 та 2,5 мм); клавіші увімкнення межі вимірювання (0,1; 1 та 10 мкм, параметр шорсткості *Ra*); клавіша пуску, при натисненні на яку вмикається привід перетворювача; клавіша увімкнення напруги в мережі, позначена ламаною стрілкою, і гвинт для калібрування приладу.

На задній панелі електронного блоку встановлені рознімання для підключення перетворювача, приводу та аналогового виходу. Там же розміщені запобіжник і клемма захисного заземлення.

Переміщення перетворювача 9 по вимірюваній поверхні виробу 10 забезпечує привід 2, який, залежно від габаритів вимірюваного виробу, встановлюють на кронштейн 5 стояка і закріплюють на ньому гвинтами 6 або ставлять безпосередньо на вимірювану поверхню виробу. В останньому випадку до приводу можуть бути пригвинчені змінні опори.

Кронштейн 5 пов'язаний із кареткою 16, яка за допомогою гайки 7 може опускати-ся або підніматися по колонці 4 і встановлюватися на наперед вибраній висоті. Колонка фіксується в заданому положенні важелем 8.

Індуктивний диференційний перетворювач виконаний на Ш-подібному феритовому сердечнику. Він аналогічний до перетворювача, показаного на рис. 3.39, а та б, і закріплюється гвинтом 12 у гнізді пружинної підвіски 11. Передбачено регулювання положення перетворювача у вертикальній площині за допомогою гвинта 13, пов'язаного із зубчастим колесом, що знаходиться в зачепленні із зубчастою рейкою. Стопорення по вертикалі переміщення перетворювача здійснюється стопорним гвинтом.

Усередині приводу 2 встановлені електродвигун постійного струму, зубчаста передача, ходовий гвинт із гайкою, яка сполучена за допомогою повзуну і тяги з напрямною та перетворювачем. Обертання від електродвигуна передається на ходовий гвинт і за допомогою гайки перетворюється у поступальне переміщення індуктивного перетворювача.

Обмацування нерівностей вимірюваної поверхні виробу алмазною голкою щупа викликає коливання голки, які перетворюються в електричні сигнали, пропорційні цим коливанням. Електричні сигнали підводяться до електронного блоку, структурну схему якого наведено на рис. 3.41, б. Сигнал від перетворювача *П* надходить через пристрій сполучення *ПС* на вимірювальний підсилювач *ВП* і на аналого-цифровий інтегратор *АЦІ*. За сигналом від пристрою управління *ПУ* обчислене значення параметра шорсткості *Ra* зображується цифровим відліковим пристроєм *ЦВП* (пристроєм цифрової індикації). Генератор *Г* живить напругою 1,7 В, частотою 10 кГц індуктивний перетворювач *П* та вимірювальний підсилювач *ВП*.

Циклом роботи профілометра керує пристрій управління *ПУ*, який формує шість таких команд: «Уперед» (пуск приводу); відтинання траси вимірювання; запис інформації *ПЦІ* (пристроєм цифрової індикації); гасіння індикаторів *ПЦІ*; «Назад» (повернення приводу) і «Скидання» (обнулення лічильників). У схему входить *СЧО* – стабілізатор частоти обертання.

Перед вимірюванням проводиться контрольне вимірювання параметра шорсткості зразка, що входить у комплектацію профілометра. Зразок шорсткості з регулярним профілем атестований за параметром *Ra* зі значенням 0,5–0,8 мкм.

Для *Ra* = 0,5 мкм знаходять базову довжину *l*, яка для зразка шорсткості дорівнює 0,8 мм. Натискають клавішу відтинання кроку із цифрою 0,8. Потім визначають довжину траси залежно від відтинання кроку. Для зразка шорсткості довжину траси можна вибрати 3 та 6 мм. Якщо вибрано довжину траси 6 мм, то натискають на клавішу довжини траси із цифрою 6.

Перетворювач вставляють у гніздо і закріплюють гвинтом *12*. За допомогою гайки *7* (заздалегідь звільнивши важіль *8*) піднімають або опускають привід із перетворювачем так, щоб алмазна голка перетворювача *9* торкнулася вимірюваної поверхні зразка шорсткості. Каретку з приводом стопорять важелем *8*.

За допомогою клавіші, позначеної ламаною стрілкою, вмикають прилад. Натискають на клавішу межі вимірювання із цифрою 1 (це менше найбільшого значення параметра шорсткості *Ra* = 0,8 мкм). Перетворювач *9* опускають до рівня, за якого стрілка індикатора *15* займе середнє положення. За необхідності знову користуються гайкою *7* і важелем *8*.

Під час вимірювання натискають клавішу пуску, що викличе переміщення перетворювача по поверхні зразка у напрямку до приводу. Слід спостерігати за стрілкою індикатора *15*. Якщо стрілка відхиляється за межі граничних штрихів, це означає неправильне встановлення зразка шорсткості поверхні відносно напрямку руху перетворювача. У такому випадку необхідно виправити встановлення зразка шорсткості на плиті стояка *1*.

Після закінчення робочого ходу перетворювача пристрій управління автоматично подає команду на повернення приводу назад, тобто в початкове положення. Одночасно з цим на цифровому індикаторі *14* висвічується значення параметра шорсткості *Ra*.

Якщо виміряне значення параметра зразка шорсткості поверхні відрізняється від його номінального значення більше ніж на 5 %, то проводять коректування за допомогою коригувального гвинта.

Вимірювання параметра *Ra* шорсткості поверхні контрольованого виробу не відрізняється від описаної методики. Якщо під час вимірювання на цифровому індикаторі спалахує буква «Р», це означає перевантаження, і межа вимірювання має бути збільшена натисканням на сусідню клавішу з більшим числовим значенням.

3.7. ХВИЛЯСТІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Під *хвилястістю* поверхні розуміють сукупність нерівностей, що періодично повторюються, у яких відстані між суміжними виступами або заглибленнями перевищують базову довжину l . Хвилястість займає проміжне положення між відхиленнями форми і шорсткістю поверхні. Умовно межу між різними порядками відхилень поверхні можна встановити за значенням відношення кроку S_w до висоти нерівностей W_z . При $\frac{S_w}{W_z} < 40$ відхилення відносять до шорсткості поверхні, при $1000 \geq (S_w/W_z) \geq 40$ – до хвилястості, при $\frac{S_w}{W_z} > 1000$ – до відхилень форми.

Параметри хвилястості встановлені рекомендацією РЕВ (РС 3951–73). *Висота хвилястості* W_z – середнє арифметичне з п'яти її значень (W_1, W_2, \dots, W_5), визначених на довжині ділянки вимірювання L_w , що дорівнює не менше ніж п'яти дійсним найбільшим крокам S_w хвилястості (рис. 3.42, а):

$$W_z = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5}{5}.$$

Допускається непослідовне розташування ділянок вимірювання.

Граничні числові значення W_z слід 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_{wib} , що дорівнює п'ятій частині довжини L_w . *Найбільша висота хвилястості* W_{max} – відстань між найвищою та найнижчою точками виміряного профілю в межах довжини L_w , виміряна на одній повній хвилі.

Середній крок хвилястості S_w – середнє арифметичне значення довжин відрізків середньої лінії S_{wi} обмежених точками їх перетину із сусідніми ділянками профілю хвилястості (рис. 3.42, б):

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{wi}.$$

Положення середньої лінії m_w визначається так само, як і положення середньої лінії профілю m шорсткості.

Форма хвилі залежить від причин, які викликають хвилястість поверхні. Частіше хвилястість має синусоїдальний характер, що є наслідком коливань у системі верстат–приспособлення–інструмент–деталь, які виникають через нерівномірність сил різання, наявність неврівноважених мас, похибок приводу і т. ін.

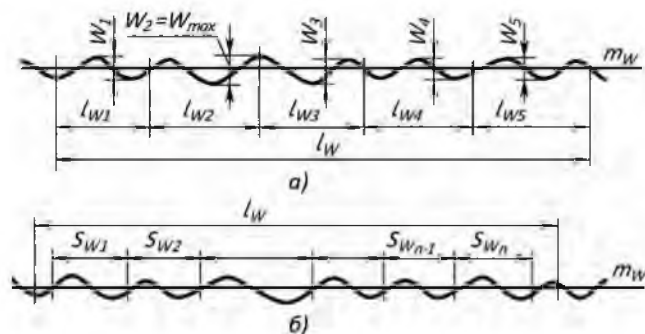


Рис. 3.42. Визначення висоти (а) та кроку (б) хвилястості поверхні

3.8. ВПЛИВ ШОРСТКОСТІ, ХВИЛЯСТОСТІ, ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ І РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ НА ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ І ЯКІСТЬ МАШИН

Шорсткість, хвилястість, відхилення форми і розташування поверхонь деталей, що виникають під час виготовлення, а також у процесі роботи машини під впливом силових і температурних деформацій та вібрації, зменшують контактну жорсткість стикових поверхонь деталей і змінюють встановлений при складанні початковий характер посадок.

У рухомих посадках, коли поверхні деталей тертя розділені шаром змащувального матеріалу і безпосередньо не контактують, вказані похибки призводять до нерівномірності зазору у поздовжніх та поперечних перерізах, що порушує ламінарну течію змащувального матеріалу, підвищує температуру і знижує несучу здатність мастильного шару. При пуску, гальмуванні, зменшенні швидкостей, перевантаженнях машин умови для тертя зі змащувальним матеріалом не можуть бути створені, оскільки мастильний шар не повністю розділяє поверхні тертя. У цьому випадку через відхилення форми, розташування та шорсткості поверхні контакт поверхонь деталей машин, що сполучаються, відбувається по найбільших вершинах нерівностей поверхонь.

За такого характеру контакту тиск на вершинах нерівностей часто перевищує допустимі напруги, спричинюючи спочатку пружну, а потім пластичну деформацію нерівностей. Можливе відділення вершин деяких нерівностей через повторну деформацію, що викликає втому матеріалу або вирівнювання частинок матеріалу з однією з поверхонь тертя при «схоплюванні» (зчепленні) нерівностей у разі їхньої сумісної пластичної деформації під дією великих контактних напруг. Відбувається також згладжування окремих дотичних ділянок пар тертя. Унаслідок цього в початковий період роботи рухомих з'єднань (ділянки OA_1 та OA_2 на кривих, рис. 3.43, а) відбувається інтенсивне зношування деталей (процес припрацювання), що збільшує зазор між зв'язаними поверхнями.

У процесі припрацювання розміри і навіть форма нерівностей поверхні змінюються, при цьому виникає певна, у бік руху деталі, спрямованість нерівностей. Шорсткість, що з'являється після припрацювання (при терті ковзання або кочення з просковзуванням), забезпечує мінімальне зношування і зберігається у процесі тривалої експлуатації машин (ділянки A_1B_1 та A_2B_2), зветься *оптимальною*. Оптимальна шорсткість характеризується висотою, кроком та формою нерівностей (радіусом вершин, кутом нахилу нерівностей у напрямі руху та ін.). Параметри оптимальної шорсткості залежать від якості змащувального матеріалу та інших умов роботи деталей тертя, їхньої конструкції і матеріалу. Зміну початкової шорсткості можна простежити на прикладі випробувань компресора. Перед випробуваннями шорсткість зовнішньої поверхні поршня відповідала $Ra = 0,7...1$ мкм, а дзеркала циліндра $Ra =$

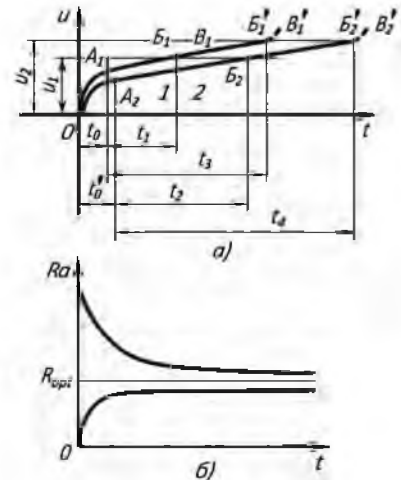


Рис. 3.43. Криві, що характеризують зношування деталей, які обертаються:

а – при різній зносостійкості (1 – зниженій; 2 – підвищеній); б – при різній початковій шорсткості

4.1. ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ ДОПУСКІВ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Підшипники кочення є стандартними виробами, які виготовляють на спеціалізованих підшипникових заводах. Вони мають повну зовнішню взаємозамінність за приєднувальними поверхнями кілець і обмежену внутрішню взаємозамінність між тілами кочення та доріжками кочення кілець. Унаслідок особливо високих вимог до точності зазначених елементів використовують принцип групового складання.

Терміни та визначення основних понять в області допусків на підшипники кочення, їх деталі та окремі елементи установлені ГОСТом 25256–82 і ДСТУ 3012–95. Основні розміри підшипників кочення встановлює ГОСТ 3478–79. ГОСТ 520–89 поширюється на кулькові та роликові підшипники із внутрішнім діаметром 0,6...2000 мм і встановлює класи точності підшипників, технічні вимоги до матеріалів та термообробки, шорсткість приєднувальних поверхонь, допуски на розміри, відхилення форми і розташування елементів окремих кілець і підшипників у зборі та ін.

Основні класи точності підшипників кочення (ГОСТ 520–89), наведені нижче в порядку збільшення точності:

- 0, 6, 5, 4, 2, *T* – для кулькових і роликових радіальних і кулькових радіально-упорних підшипників;
- 0, 6, 5, 4, 2 – для упорних і упорно-роликових підшипників;
- 0, 6X, 6, 5, 4, 2 – для роликових конічних підшипників.

Установлено додаткові класи точності підшипників (8 і 7) нижче класу точності 0.

Залежно від вимог до рівня вібрації, допустимих значень рівня інших додаткових технічних вимог установлено три категорії підшипників – *A*, *B*, *C*.

До категорії *A* відносять підшипники класів точності 5, 4, 2, *T* з однієї із шістнадцяти додаткових вимог стандарту.

До категорії *B* відносять підшипники класів точності 0, 6X, 6, 5 з однієї з дев'яти додаткових вимог стандарту.

До категорії *C* відносять підшипники класів точності 8, 7, 0, 6, до яких не ставлять вимог щодо рівня вібрації, моменту тертя та інших, що не передбачені стандартом.

Клас точності проставляють через тире перед умовним числовим позначенням підшипника (ГОСТ 3189–75), наприклад 5-208, 6-36205. Нульовий клас у позначеннях не вказують, оскільки він є основним і прийнятий до випуску для всіх типів підшипників кочення. Чим вищий клас точності, тим більш обмежена номенклатура типорозмірів підшипників, які за ними виготовляються. Це пояснюється як звуженням галузі їх застосування, так і істотним підвищенням відносної вартості.

Із підвищенням класу точності зростають якісні вимоги до всіх елементів підшипників – як внутрішніх, що забезпечують точність обертання й зазори, так і зовнішніх, що забезпечують посадку кілець у виробі. Для внутрішніх кілець кулькових і роликівих радіальних і кулькових радіально-упорних підшипників із номінальним розміром приєднувального діаметра $d = 18...30$ мм допуски наведені нижче, мкм:

Клас точності.....	0	6	5	4	2
Допуск на середній діаметр отвору d_m	10	8	6	5	4
Мінливість ширини кільця	20	10	5	2,5	2
Биття торця щодо отвору.....	20	10	8	4	2
Радіальне биття доріжки кочення.....	13	10	4	3	2,5
Осьове биття доріжки кочення	40	20	8	4	2,5

У підшипниках кочення обидва кільця приймають як основні деталі системи допусків (рис. 4.1).

Зовнішнє кільце по зовнішньому діаметру D_m має допуск, спрямований, як прийнято для основного вала, «у тіло». Внутрішнє кільце по внутрішньому діаметру d_m є основною деталлю системи отвору. Однак його допуск спрямований «у мінус» від нульової лінії. Це дозволяє одержати для основних відхилень перехідних посадок частий ряд із натягами, що потрібно в більшості випадків для правильного приєднання внутрішнього кільця. Посадки із зазором з основними відхиленнями h і g при цьому перетворюються в перехідні з невеликим середньовірогідним зазором S_m . У такий спосіб зберігається наступність із посадками системи ОСТ та забезпечується широке використання кращих полів допусків.

Граничні відхилення діаметрів у ГОСТі 520–89 подані окремо для зовнішніх і внутрішніх кілець для середніх діаметрів d_m (або D_m) і для номінальних діаметрів d (або D), як показано в табл. 4.1.

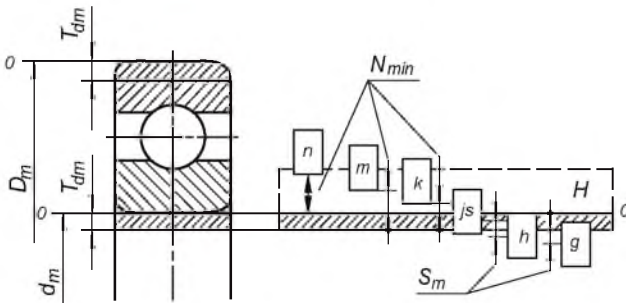


Рис. 4.1. Основні відхилення у підшипниках кочення

Високі вимоги до точності підшипників і одночасно недостатня жорсткість їхніх кілець змушують при малому допуску на приєднувальний розмір у класах точності 0 і 6 у незначній мірі розширити допуск на овальність кілець у вільному стані. За дійсний середній розмір d_{mr} або D_{mr} приймають середній із найбільшого і найменшого обмірюваних

Таблиця 4.1

Інтервали номінальних діаметрів d , мм	Граничні відхилення в класах точності, мкм											
	0				6				5			
	d_m		d		d_m		d		d_m		d	
	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.	нижн.	верхн.
Від 18 до 30	-10	0	-13	+3	-8	0	-9	+1	-6	0	-6	0
» 30 » 50	-12	0	-15	+3	-10	0	-11	+1	-8	0	-8	0
» 50 » 80	-15	0	-19	+4	-12	0	-14	+2	-9	0	-9	0

розмірів. Придатні кільця у вільному стані повинні одночасно задовольняти відхилення за обома видами діаметрів.

Приклад. Відомі дійсні значення діаметрів трьох внутрішніх кілець $d = 20$ мм класу точності 0:

1-ше кільце – $d_{\max r} = 20,002$ мм, $d_{\min r} = 19,988$ мм, тоді $d_{mr} = 19,995$ мм;

2-ге кільце – $d_{\max r} = 20,000$ мм, $d_{\min r} = 19,986$ мм, тоді $d_{mr} = 19,993$ мм;

3-тє кільце – $d_{\max r} = 19,991$ мм, $d_{\min r} = 19,987$ мм, тоді $d_{mr} = 19,989$ мм.

Відповідно до припустимих граничних відхилень (див. перший рядок табл. 4.1) знаходимо, що 1-ше кільце за розміром приєднувального діаметра придатне, 2-ге кільце – браковане за $d_{\min r}$ і 3-тє кільце – непридатне за d_{mr} .

Розрахунок значень параметрів у посадках кілець підшипників кочення проводять за граничними відхиленнями d_m (D_m).

4.2. ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК ДЛЯ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Перелік полів допусків, відібраних із ГОСТу 25347–82 для утворення підшипникових посадок, рекомендації для вибору з них оптимальних у конкретних випадках і додаткові вимоги до приєднувальних поверхонь деталей містить ГОСТ 3325–85.

Відмінність підшипникових посадок від звичайних посадок циліндричних з'єднань при однаковому позначенні і граничних відхиленнях поля допуску деталей, що з'єднується, полягає у тому, що зазори і натяги в них будуть мати інші значення через відмінності у величині, а для внутрішніх кілець – і розташування полів допусків основних деталей.

Стандартні поля допусків наведені в табл. 4.2. Із підвищенням класу підшипника зростають вимоги до точності посадкових місць деталей. При класі точності 2 вона встановлена на межі, досяжній у виробничих умовах (IT3, IT4, IT5).

Параметр шорсткості Ra (мкм) поверхонь валів і отворів у корпусах підшипників не повинен перевищувати величин, наведених у табл. 4.3.

Використання переважних значень Ra (у рамках) сприяє підвищенню якості посадок.

На приєднувальні поверхні деталей обмежуються припустимі відхилення форми від циліндричності і граничні значення торцевого биття запічок валів і отворів корпусів. Відхилення від циліндричності при класах точності підшипників 0 і 6 не

Таблиця 4.2

Клас точності підшипників					
0 і 6		5 і 4		2	
На вали	На отвори	На вали	На отвори	На вали	На отвори
$r6; r7$	$P7$	$z5$	$P6$	$z4$	$N5$
$p6$	$N7$	$m5$	$N6$	$m4$	$M5$
$z6$	$M7$	$k5$	$M6$	$k4$	$AO5$
$m6$	$AO7$	$j5$	$K6$	$j4; j3$	$JS5; JS4$
$k6$	$JS7$	$h5$	$JS6$	$h4; h3$	$H5; H4$
$j6$	$H7$	$g5$	$G6$	$g4$	$G6$
$h6; h7$	$G7$				
$g6$					
$f6$					

Таблиця 4.3

Клас точності підшипника	Номінальний розмір, мм					
	валів		отворів		торців запічників	
	$d < 80$	$d > 80$	$D < 80$	$D > 80$	$d < 80$	$d > 80$
0	1,25 0,8	2,5 1,6	1,25 0,8	2,5 1,6	2,5 1,6	2,5 1,6
6 і 5	0,63 0,4	1,25 0,8	0,63 0,4	1,25 0,8	1,25 0,8	2,5 1,6
4	0,32 0,2	0,63 0,4				

Таблиця 4.4

Типи підшипників	θ'	ΔR , мм
Радіальні однорядні кулькові (при радіальному навантаженні)	8–15	0,23–0,44
Радіально-упорні однорядні кулькові з кутами контакту:		
$\alpha = 12^\circ$	8–12	0,23–0,35
$\alpha = 26^\circ$	7–10	0,2–0,29
$\alpha = 36^\circ$	6–9	0,17–0,26
Роликові конічні	4–6	0,12–0,17
Голчасті роликові:		
однорядні	5–9	0,15–0,26
багаторядні	4–6	0,12–0,17

ментация норм на відхилення від співвісності окремих елементів складових частин виробів утруднена як розмаїтістю їхніх конструкцій, розмірів, умов застосування, так і складністю вимірів. Тому пропонується [11] надалі встановити узагальнений конструктивний параметр у вигляді припустимого кута перекосу кілець підшипників, значення якого залежить від типу підшипника. Тоді сумарне відхилення від співвісності, викликане усіма видами похибок, буде оцінюватися у змонтованому вузлі за кутом перекосу θ між осями внутрішнього й зовнішнього кілець підшипника. У табл. 4.4 для ряду найпоширеніших типів підшипників класів точності 0 і 6 вказані граничні значення кутів перекосів і границі, виражені через лінійні переміщення посадкових місць ΔR на вимірювальній відстані 100 мм.

Посадку вибирають окремо для кожного кільця за таблицями ГОСТу 3325–85 залежно від того, обертається кільце чи воно нерухоме, від виду навантаження, режиму роботи, а також від розмірів і типу підшипника.

Схема «обертається вал» буває у підшипниках валів у коробках передач, роторах електродвигунів, відцентрових насосах, центрифугах, редукторах та інших, де внутрішнє кільце обертається разом із валом. Схема «обертається корпус» лежить в основі роботи підшипників у колесах автомобілів, тракторів, літаків, у роликах конвеєрів, коли під час роботи обертається зовнішнє кільце. Встановлено три види навантажень: місцеве, циркуляційне й коливальне.

При місцевому навантаженні кільце сприймає стале за напрямком результуюче радіальне навантаження F_T (наприклад, натяг приводного ремня, сила ваги конструкції) лише обмеженою ділянкою кола доріжки кочення й передає її відповідній обмеженій ділянці посадкової поверхні вала або корпусу. Таке навантаження виникає, наприклад, коли кільце не обертається щодо навантаження (внутрішнє кільце на рис. 4.2, а, зовнішнє кільце на рис. 4.2, б).

При місцевому навантаженні стале за величиною радіальне навантаження впливає на ту саму обмежену ділянку доріжки кочення (переважно спостерігається на не-обертвовому кільці підшипника) і викликає місцеве зношування. Тому ідея приєднання таких кілець до відповідної деталі у виробі полягає в одержанні посадки з невеликим середньомовірним зазором, унаслідок чого кільце в процесі роботи під впливом окремих поштовхів, струсів та інших факторів буде періодично повертатися, зношування доріжки стане більш рівномірним і довговічність кільця значно зросте.

повинні перевищувати чверті допуску на розмір діаметра відповідної поверхні, а при класах 5 і 4 – однієї восьмої зазначеного допуску. Значення биття наведені в ГОСТі 3325–85 залежно від класу точності підшипника і номінального розміру шийки вала або діаметра отвору корпусу.

Допуски циліндричності і торцевого биття вказують на робочих кресленнях деталей стандартними символами (ГОСТ 2.308–79).

На надійність роботи підшипникових вузлів значною мірою впливає відхилення від співвісності. Однак регла-

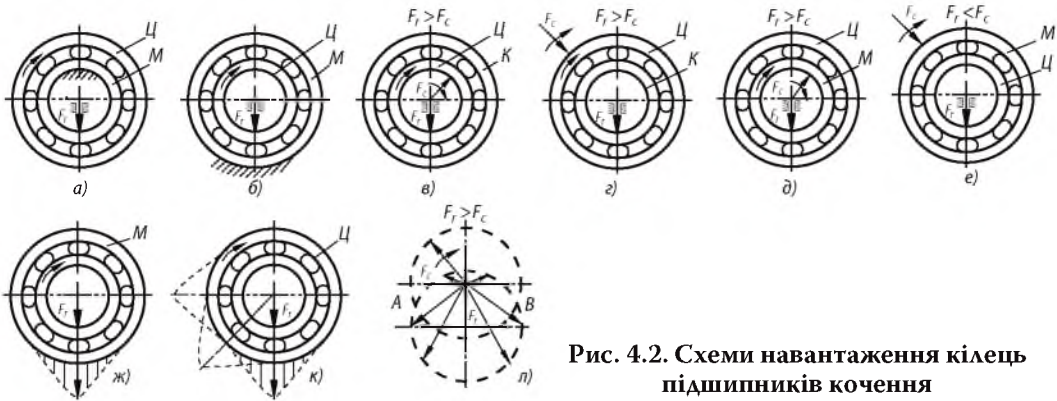


Рис. 4.2. Схеми навантаження кілець підшипників кочення

При циркуляційному навантаженні кільце сприймає результуюче радіальне навантаження F_r послідовно усім колом доріжки кочення і передає його усій посадковій поверхні вала або корпусу. Таке навантаження кільця стає можливим при його обертанні і постійно спрямованій силі F_r або, навпаки, при радіальному навантаженні F_c , яке обертається щодо розглянутого кільця (внутрішнє кільце на рис. 4.2, б, зовнішнє – на рис. 4.2, а).

Циркуляційний вид навантаження створюється на кільці при постійно спрямованому радіальному навантаженні, коли місце навантаження послідовно переміщується по колу кільця зі швидкістю його обертання. Посадка обертового циркуляційно навантаженого кільця повинна забезпечувати гарантований натяг, що виключає можливість відносних зсувів або проковзувань цього кільця й деталі, тому що їх поява призведе до розвальцьовування поверхонь з'єднань, втрати точності, перегріву та швидкого пошкодження вузла.

При коливальному навантаженні необертове кільце сприймає рівнодійну F_{r+c} із двох радіальних сил (F_r – постійна за напрямком, F_c – обертається, причому $F_r > F_c$) обмеженою ділянкою кола доріжки кочення й передає її відповідній обмеженій ділянці посадкової поверхні вала або корпусу. Рівнодійне навантаження F_{r+c} не робить повного оберту, а коливається між точками А і В (рис. 4.2, к). Коливальне навантаження діє на зовнішнє (рис. 4.2, в) і внутрішнє (рис. 4.2, д) кільце.

Коливальне навантаження має місце при одночасній дії на кільце двох радіальних навантажень: постійного за напрямком і обертового навколо осі. У результаті на одній ділянці доріжки кочення вони підсилюють одне одного, а на іншій – послаблюють. Якщо одне з навантажень значно перевищує інше, то дією меншого можна знехтувати і прийняти місцеву або циркуляційну схему навантаження.

Епюри напружень при місцевому й циркуляційному навантаженнях показані на рис. 4.2, е, ж, з, кругова діаграма зміни рівнодійної сили F_{r+c} при коливальному навантаженні – на рис. 4.2, к. Якщо сила F_r сталого напрямку менша за обертову F_c , то навантаження може бути місцеве або циркуляційне залежно від схеми додатка сил (на рис. 4.2, д показано місцеве навантаження на внутрішньому кільці і циркуляційне – на зовнішньому кільці; на рис. 4.2, е циркуляційне навантаження на внутрішньому кільці, місцеве – на зовнішньому).

Посадки варто вибирати так, щоб обертове кільце підшипника було встановлене з натягом, що виключає можливість обкатування й проковзування цього кільця по посадковій поверхні вала або отвору в корпусі в процесі роботи під навантаженням; інше кільце повинне бути встановлене із зазором. Отже, при обертанні вала з'єднання

внутрішнього кільця з валом має бути нерухоме, а зовнішнє кільце – встановлене в корпусі з невеликим зазором; при нерухомому валу з'єднання внутрішнього кільця з валом повинне мати посадку з невеликим зазором, а з'єднання зовнішнього кільця з корпусом – бути нерухоме. Підбір посадок для підшипників кочення проводять згідно з нормами ГОСТу 3325–85.

Посадку із зазором рекомендують для кільця, що перебуває під дією місцевого навантаження – при такій посадці усувається можливість заклинювання кульок, кільце під дією поштовхів і вібрацій поступово повертається по посадковій поверхні, завдяки чому зношування бігової доріжки відбувається рівномірно по всьому колу кільця. Термін служби підшипників при такій посадці кілець із місцевим навантаженням зростає.

Режим роботи приймають залежно від розрахункової довговічності підшипника: при розрахунковій довговічності більше 10 000 год – *легкий*, при 5000...10 000 год – *нормальний*, при 2500...5000 год – *важкий*. При ударних і вібраційних навантаженнях (наприклад, залізничні і трамвайні букси, вали дробильних машин і т. ін.) режим вважають важким незалежно від розрахункової довговічності.

У підшипниках кочення розрізняють вихідний, монтажний і робочий зазори. *Вихідний зазор* підшипник кочення має у вільному стані. Відповідно до ГОСТу 24810–81 за типами підшипників встановлені умовні позначки груп зазорів (позначають арабськими цифрами, а одну з них словом «нормальна»). Групи відрізняються за розмірами радіального й осевого зазорів. Умовна позначка групи радіального зазору, крім нормальної, повинна бути нанесена на підшипник і його пакування ліворуч від позначення класу точності підшипника.

Монтажний зазор встановлюється в підшипнику після його складання у виробі. Унаслідок посадки одного з кілець із гарантованим натягом монтажний зазор завжди менший за вихідний.

У підшипнику важливий *робочий зазор* g – зазор між тілами кочення і доріжками кочення при сталому робочому режимі та температурі. Цей зазор не повинен бути надто великий – чим він менший, тим рівномірніше розподіляється навантаження на тіла кочення. При значному робочому зазорі виникає велике радіальне биття, навантаження сприймається меншою кількістю кульок (рис. 4.3). При робочому зазорі, близькому до нуля, навантаження розподіляється на найбільшу кількість кульок, підшипник у цьому випадку має найбільшу довговічність.

Посадку з натягом рекомендують переважно для кільця, що перебуває під циркуляційним навантаженням. Наявність зазору між циркуляційно навантаженим кільцем і

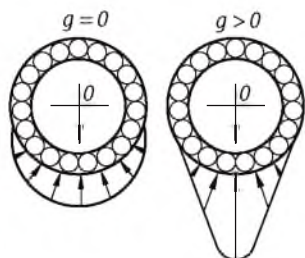


Рис. 4.3. Епюри стискаючих напружень у кульках підшипників при різних робочих зазорах

посадковою поверхнею деталі може призвести до розвальцювання та стирання металу сполученої деталі, що неприпустимо. При циркуляційному навантаженні кілець підшипників посадки вибирають за інтенсивністю радіального навантаження p на посадкову поверхню.

Виходячи з викладеного вище, посадку циркуляційно навантаженого кільця варто добирати за так званою інтенсивністю радіального навантаження:

$$P_R = F_R k_1 k_2 k_3 / b,$$

де F_R – розрахункове радіальне навантаження на опори, кН; b – ширина посадкової поверхні кільця підшипника (за винятком фасок), м; k_1 – динамічний коефіцієнт по-

Таблиця 4.5

$d_{\text{отв}}/d$ або $D/D_{\text{корп}}$	k_2 при посадці кільця			
	на вал			у корпус
	$D/d \leq 1,5$	$1,5 < D/d \leq 2$	$D/d > 2$	
До 0,4	1	1	1	1
Св. 0,4 до 0,7	1,2	1,4	1,6	1,1
» 0,7 » 0,8	1,5	1,7	2	1,4
» 0,8	2	2,3	3	1,8

Примітка. d і D – відповідно діаметри отвору й зовнішньої поверхні підшипника; $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору порожнього вала; $D_{\text{корп}}$ – діаметр зовнішньої поверхні тонкостінного корпусу.

Таблиця 4.6

Діаметр, мм	PR, кН/Г			
Для посадок отвору внутрішнього кільця підшипника	$j_5; j_6$	$k_5; k_6$	$m_5; m_6$	$n_5; n_6$
Від 18 до 80	До 300	300–1400	1400–1600	1600–3000
» 80 » 180	» 600	600–2000	2000–2500	2500–4000
» 180 » 360	» 700	700–3000	3000–3500	3500–6000
» 360 » 630	» 900	900–3500	3500–4500	4500–8000
Для посадок зовнішньої поверхні зовнішнього кільця підшипника	$K_6; K_7$	$M_6; M_7$	$N_6; N_7$	P_7
Від 50 до 180	До 800	800–1000	1000–1300	1300–2500
» 180 » 360	» 1000	1000–1500	1500–2000	2000–3300
» 360 » 630	» 1200	1200–2000	2000–2600	2600–4000
» 630 » 1600	» 1600	1600–2500	2500–3500	3500–5500

садки. При перевантаженнях до 150 %, помірних поштовхах і вібрації $k_1 = 1$. При перевантаженнях до 300 % із сильними ударами й вібраціями $k_2 = 1,8$. k_2 – коефіцієнт (табл. 4.5), що враховує послаблення посадкового натягу при порожньому валу або тонкостінному корпусі, при суцільному валу $k_2 = 1$. k_3 – коефіцієнт нерівномірності розподілу радіального навантаження між рядами тіл кочення у дворядних підшипниках або між здвоєними кульковими підшипниками за наявності на опорі осевого навантаження F_A , при цьому $k_3 = 1,2 \dots 2$. Зазвичай приймають $k_3 = 1$.

За P_R і розміром кільця за табл. 4.6 знаходять потрібну посадку, яка відповідає середньомовірним значенням натягів.

Для позначення підшипникових посадок введені спеціальні умовні позначення (рис. 4.4). Як символ основного відхилення прийнята початкова буква L (від нім. das Lager – підшипник). У поєднанні з цифрою класу точності підшипника отримані зручні позначення для полів допусків з'єднувальних діаметрів зовнішніх кілець ($L_0 \dots L_2$) і внутрішніх кілець ($L_0 \dots L_2$). На рис. 4.5, а показане призначення й написання посадок кілець підшипника 6-308 за умови, що обертається й випробовує циркуляційне

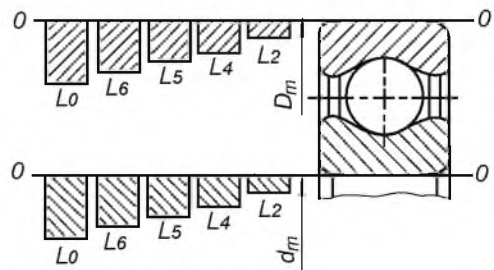


Рис. 4.4. Позначення підшипникових посадок

Шпонкові і шліцьові з'єднання застосовують при передачі обертового моменту в різноманітних нерухомих гладких циліндричних з'єднаннях для закріплення на валах зубчастих коліс, муфт, дисків, шківів і т. ін.

5.1. ДОПУСКИ І ПОСАДКИ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ

Шпонкові з'єднання виконують зазвичай по одній із перехідних посадок. Їх застосовують у малонавантажених тихохідних передачах (кінематичні ланцюги подач верстатів), у великогабаритних з'єднаннях (шестерні-маховики, шківни ковальсько-пресових машин), у всіх відповідальних нерухомих конічних з'єднаннях (маховики двигунів внутрішнього згорання, центрифуги й т. ін.), в одиничних (дослідних) екземплярах машин.

Розміри, допуски і посадки шпонкових з'єднань із призматичними шпонками встановлює ГОСТ 23360–78, із сегментними шпонками – ГОСТ 24071–80. ГОСТ 23360–78 повністю відповідає міжнародним стандартам; він не поширюється на шпонкові з'єднання для кріплення різального інструменту, а також на спеціальні шпонкові з'єднання (наприклад, ходових валиків токарських верстатів).

Працездатність шпонкових з'єднань визначається в основному точністю посадок за шириною шпонки b . Інші розміри задають так, щоб виключити можливість защемлення шпонки за висотою або надмірного заниження поверхонь зіткнення бічних сторін.

На рис. 5.1, *а* наведені параметри призматичних, а на рис. 5.1, *б* – сегментних шпонкових з'єднань. Для шпонкових пазів втулок на креслениках проставляють розмір $d + t_2$, так як він зручний для контролю; на валах переважно слід вказувати t_1 , але допускається й розмір $d - t_1$. Граничні відхилення розмірів за глибиною пазів наведені в табл. 5.1.

Висоту призматичних шпонок виконують за $h11$ (при висоті 2...6 мм – за $h9$), довжину l – за $h14$, довжину пазів – за $H15$, діаметр сегментних шпонок d – за $h12$. Як бачимо, у зазначених елементах допуск завжди спрямований «у тіло», що гарантує складання.

За шириною для призматичних шпонок передбачені три варіанти з'єднання: вільне,

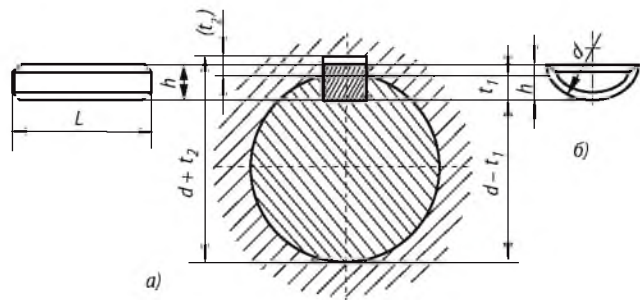


Рис. 5.1. Параметри шпонкових з'єднань:

а – призматичних; *б* – сегментних

Таблиця 5.1. Граничні відхилення розмірів за глибиною пазів

Висота шпонки h , мм	Глибина паза на валу t_1 , мм	Граничні відхилення розмірів, мм	
		t_1 або $(d - t_1)$	$(d + t_2)$
Від 2 до 6	Від 1,2 до 3,5	+0,1 або (-0,1)	+0,1
» 6 » 18	» 3,5 » 11	+0,2 або (-0,2)	+0,2
» 18 » 50	» 11 » 31	+0,3 або (-0,3)	+0,3

нормальне і щільне (рис. 5.2), для сегментних застосовують тільки нормальне й щільне. Поля допусків для обох типів шпонок – однакові, посадки виконують тільки в системі вала (основна деталь – шпонка). Останнє дозволяє обмежити номенклатуру розмірів каліброваної сталі для шпонок, точність виготовлення якої без додаткової обробки забезпечує точність h (рис. 5.1).

Схеми з'єднань на рис. 5.2 конкретизовані для розміру $b = 6$ мм. Найбільше поширення в машинобудуванні має нормальне з'єднання; вільне з'єднання застосовують головним чином для напрямних шпонок, іноді воно застосовується, коли наявна об'ємна термообробка з'єднувальних деталей. У випадку термообробки допускається пази на валу по ширині виконувати за $H11$, якщо це не вплине на працездатність з'єднання.



Рис. 5.2. Поля допусків шпонкових з'єднань

5.2. КОНТРОЛЬ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ

Для забезпечення взаємозамінності в серійному і масовому виробництві елементи шпонкових з'єднань контролюють комплексними і поелементними калібрами. Комплексні калібри призначені для контролю ширини шпонкового паза і допуску симетричності цього паза відносно циліндричної поверхні.

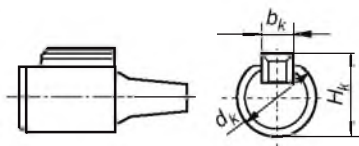


Рис. 5.3. Комплексний калібр-пробка

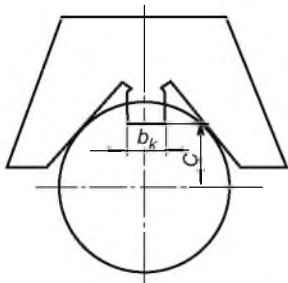


Рис. 5.4. Комплексний калібр-призма

Для контролю отворів зі шпонковим пазом застосовують комплексний калібр-пробку (рис. 5.3). Для контролю валів зі шпонковим пазом застосовують комплексний калібр-призму (рис. 5.4).

Для поелементного контролю застосовують такі калібри:

- поелементний калібр-пробку ПР і НЕ для отвору d ;
- поелементний калібр-скобу ПР і НЕ для зовнішнього діаметра вала d ;
- поелементний пазовий калібр ПР і НЕ для паза b ;
- поелементний пазовий калібр ПР і НЕ для контролю паза b ;
- поелементний калібр-глибиномір ПР і НЕ для глибини паза $d + t_2$;
- поелементний калібр-глибиномір ПР і НЕ для контролю глибини паза t_1 .

Виконавчі розміри: b_k – номінальна товщина контрольної шпонки калібра-пробки і калібра-призми; d_k – номінальний діаметр калібра-пробки; H_k – номінальний розмір калібра-пробки з контрольною шпонкою і граничними відхиленнями комплексних шпонкових калібрів-пробок і калібрів-призм, наведені у ГОСТі 24109–80.

Коли застосовують комплексні калібри-пробки для контролю отвору, то останній вважається придатним, якщо комплексний калібр-пробка проходить, а діаметр отвору, ширина і глибина шпонкового паза не виходять за граничні розміри.

Для поелементного контролю шпонкових з'єднань можуть застосовувати універсальні засоби вимірювань, так само як їх застосовують для контролю прямобічних шліцьових з'єднань (див. рис. 5.10).

5.3. ДОПУСКИ І ПОСАДКИ ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ

Шліцьові (зубчасті) з'єднання (рис. 5.5) поділяються на прямобічні (ГОСТ 1139–80) та евольвентні (ГОСТ 6033–80). Ці з'єднання (особливо евольвентні) забезпечують меншу, ніж у шпонкових з'єднаннях, концентрацію напружень і краще центрування, однак навантаження у них розподіляється нерівномірно між шліцями, а витрати на виготовлення більш високі, ніж при використанні шпонкових з'єднань.

Довговічність шліцьових з'єднань значною мірою залежить від величини зазорів по центрувальному діаметру. Наприклад, для привідних валів зі шківками вона становить близько півроку, якщо зазори – великі, а якщо ж зазори – малі, то довговічність сягає трьох років. Причому зношування бічних поверхонь зубів (головна причина виходу з ладу шліцьових з'єднань) за цей час становить від 0,5 до 3 мм. Коли зазори звужуються із 40 до 10–20 мкм, то центрувальні поверхні розвантажують бічні поверхні зубів і питома робота тертя по цих поверхнях зменшується в 1,5–2,0 рази.

Взаємозамінність шліцьових з'єднань у функціональному відношенні характеризується в основному точністю центрування втулки на валу і величиною зазору за центрувальним діаметром.

Різновиди шліцьових з'єднань із вказівкою експлуатаційних вимог до них ілюструють схеми на рис. 5.5.

Шліцьові прямобічні з'єднання.

Допуски й посадки шліцьових з'єднань, так само як і шпонкових, встановлені безпосередньо за ЕСПІ СЭВ, причому в прямобічних шліцьових з'єднаннях передбачені три способи центрування: за зовнішнім

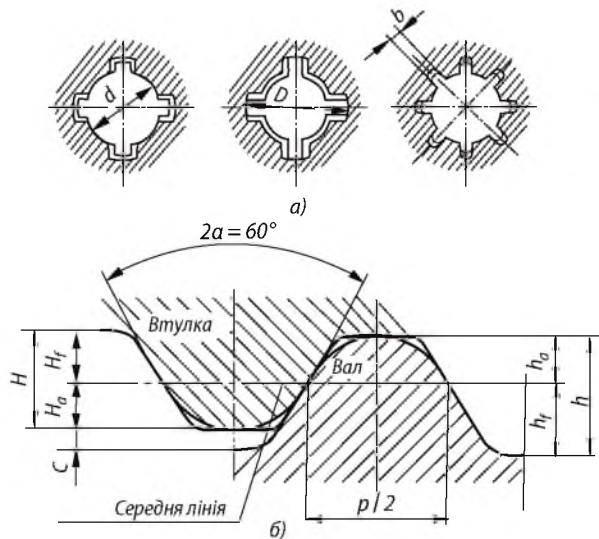


Рис. 5.5. Шліцьові з'єднання:

a – прямобічні (d – внутрішній діаметр; D – зовнішній діаметр; b – товщина зуба); b – евольвентні (H – висота зуба втулки; h – висота зуба вала; H_a – висота головки втулки; H_f – висота ніжки втулки; h_a – висота головки вала; h_f – висота ніжки вала; p – діаметральний окружний крок; α – кут профілю зуба)

діаметром D , за внутрішнім діаметром d і за бічними сторонами профілю (посадки за шириною b), які показані на рис. 5.5, *a*.

Центрування за D застосовується, коли поверхня шліцьового отвору може бути оброблена продуктивними й точними методами протягання або калібрування, а вал при цьому фрезерують до остаточних розмірів зубів із подальшим шліфуванням за діаметром D . Так досягають точного центрування, а процес є порівняно простий і економічний.

Коли матеріал втулки має високу твердість і обробка чистовим протягуванням неможлива або коли при обробці вала можуть виникнути істотні викривлення, то застосовують центрування за d і отвір у втулці доводиться шліфувати, що робить більш витратним увесь процес, порівняно з попереднім, але за точністю центрування обидва способи – рівноцінні.

Центрування за шириною b застосовують при передачі знакозмінних навантажень, коли потрібні мінімальні зазори між зубами й западинами, щоб уникнути ударних навантажень. У цьому випадку точність центрування знижується.

За центрувальними діаметрами застосовують посадки в системі отвору з отворами, що виконані в основному за 6–7-м квалітетами і з полями допусків валів 77, *f7*, *g6*, *h6*, *j5* і *п6*. Коли вимоги до точності центрування знижені (наприклад, у з'єднаннях валів зі шківними ремінними передачами), застосовують посадки *H8/e8* і *H8/h7*. Посадки не за центрувальною шириною b вибирають за 8–10-м квалітетами з основними відхиленнями ширини западини втулки F , D і J_s . Причому основними відхиленнями товщини зубів звичайно є d , f , h і j_s за квалітетами 6–9 так, що в западинах утворюються значні зазори, що полегшують збирання валів із втулками.

Посадки при центруванні за внутрішнім діаметром $d = 36$ мм, із числом зубів $z = 8$, зовнішнім діаметром $D = 40$ мм та шириною зубів, що дорівнює 7 мм, позначаються у вигляді

$$d - 8 \times 36H7/e8 \times 40H12/a11 \times 7D9/f8,$$

причому на кресленіку вала вказують

$$d - 8 \times 36e8 \times 40a11 \times 7f8.$$

При центруванні за D спочатку ставлять букву D , а при центруванні за b – букву b .

Шліцьові евольвентні з'єднання. Для шліцьових евольвентних з'єднань (рис. 5.6) передбачено центрування за бічними поверхнями зубів (за шириною западини втулки e і за товщиною зуба вала s) і за зовнішнім діаметром (діаметром кола западин втулки D_f і діаметром кола вершин зубів d_a).

Допускається також центрування за внутрішнім діаметром.

При центруванні за бічними сторонами зубів використовують два види допусків (однакових для e і s): T_e (T_s) – допуск власне ширини западини втулки (товщини зуба вала), контрольований окремо у випадках, коли не застосовують комплексного калібру; T – сумарний допуск, що включає відхилення ширини западини (товщини зуба) і відхилення форми й розташування елементів профілю западини (зуба), контрольований комплексним калібром.

За шириною западини втулки встановлені три ступені точності (7, 9 і 11), а за товщиною зуба вала – п'ять (7, 8, 9, 10 і 11). Величини допусків T_i й T зростають залежно від збільшення номера ступеня точності з коефіцієнтом $\sim 1,4$. Наприклад, при діаметрі діляльного кола $d = mz$ (m – модуль, z – кількість зубів), що дорівнює від 12 до 25 мм і m від 2 до 4 мм, $T7 = 32$ мкм, $T8 = 45$ мкм, $T9 = 63$ мкм і т. д.

За аналогією з ЄСАП для гладких з'єднань для полів допусків встановлені основні відхилення, причому – одне основне відхилення H ширини западини e втулки й десять основних відхилень ($a, c, d, f, g, h, k, n, p$ і r) товщини зуба s вала. Наприклад, при діаметрі ділильного кола $d = 12...25...25$ мм і $t = 2...4...4$ мм ці відхилення становлять ряд (у мкм): $es_a = -100$; $es_c = -60$; $es_d = -40$; $es_f = -20$; $es_g = -10$; $es_h = 0$; $ei_k = +20$; $ei_n = +40$; $ei_p = +60$ і $ei_r = +80$ мкм.

Інші відхилення одержують, як у гладких циліндричних з'єднаннях.

Щоб відрізнити ступінь точності від квалітету, його вказують перед буквою, яка позначає основне відхилення.

При центруванні за зовнішнім діаметром (D_f втулки й d_a вала) допуски та основні відхилення встановлюють безпосередньо за ЄСАП для гладких циліндричних з'єднань. Для центрувального діаметра D_f застосовують поля допусків $H7$ і $H8$, а для діаметра d_a – поля допусків $n6$, $js6$, $h6$, $g6$ і $f7$. Найбільш уживане поле допуску – $H7$. У цьому випадку поля допусків ширини западини втулки e і товщини зуба вала s повинні відповідати 9-му або 11-му ступеню точності. При такому способі центрування і плоскої форми дна западини є справедливою рівність $D_f = D_a = D$ (при центруванні за бічними поверхнями зубів $d_a = D - 0,2m$).

Умовні позначення вимог до точності шліцьових з'єднань містять такі дані: номінальний діаметр з'єднання $D = mz + 2xt + 1,1t$ (xt – зсув вихідного контуру), позначення посадки з'єднання (полів допусків втулки й вала), яке розташоване після розмірів центрувальних елементів і позначення стандарту.

Наприклад, позначення $25 \times 2 \times 9H/9g$ ГОСТ 6033–80 встановлює номінальний діаметр з'єднання $D = 25$ мм, модуль $m = 2$ мм, центрування за бічними поверхнями зубів за 9-м ступенем точності з полем допуску ширини западини втулки $9H$ і полем допуску товщини зуба вала $9g$. Позначення $25 \times 7/g6 \times 2$ ГОСТ 6033–80 визначає при тих же D і m центрування за зовнішнім діаметром із полем допуску $H7$ (7-й квалітет), за діаметром кола западин втулки D_f і полем допуску $g6$ (6-й квалітет), за діаметром кола вершин зубів d_a , причому на кресленіку вала буде позначення $25 \times g6 \times 2$ ГОСТ 6033–80.

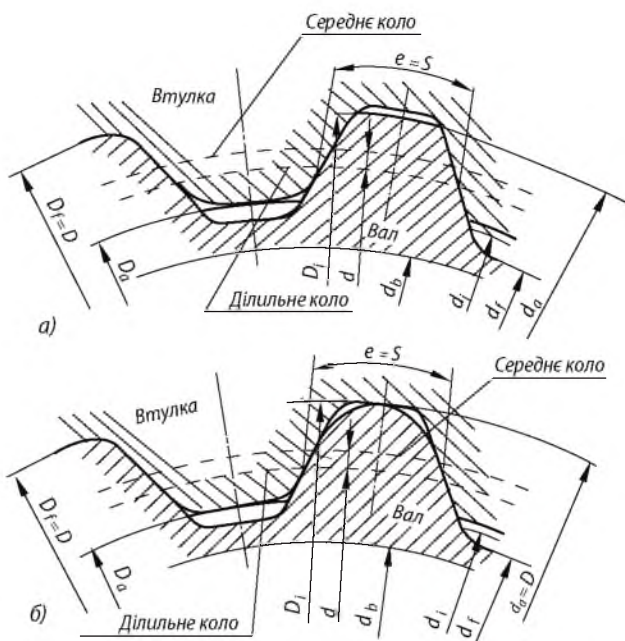


Рис. 5.6. Форма зубів втулки й вала шліцьових евольвентних з'єднань при центруванні:

a – за бічними сторонами профілю зубів; b – за зовнішнім діаметром; D – номінальний (вихідний) діаметр з'єднання; D_f – діаметр кола западин втулки; D_a – діаметр кола вершин зубів втулки; D_i – діаметр кола граничних крапок зуба втулки; d – діаметр ділильного кола, $e = s$ – номінальна ділильна окружна ширина западини втулки (e), що дорівнює такій самій товщині зуба вала (s); d_b – діаметр основного кола; d_i – діаметр кола граничних крапок зуба вала; d_f – діаметр кола западин вала; d_a – діаметр кола вершин зубів вала

Вибір і обґрунтування вимог до точності шліцьових з'єднань. Якщо матеріал втулки піддається обробці протягуванням або калібруванням, то з вимог економічності вибирають центрування за зовнішнім діаметром D з'єднань із прямобічним профілем зубів або за діаметром западин втулки D_f з'єднань із евольвентним профілем зубів.

Поля допусків вала і втулки за центрувальним діаметром визначають із міркувань точності центрування й довговічності.

5.4. КОНТРОЛЬ ШЛІЦЬОВИХ ВИРОБІВ

Шліцьові вироби перевіряють диференційованим або комплексним способом. Для диференційованого контролю зовнішнього і внутрішнього діаметрів і товщини зубів зовнішніх шліців застосовують граничні калібри-скоби (рис. 5.7, а), а для перевірки розмірів внутрішніх шліців – граничні калібри-пробки (рис. 5.7, б).

Коли використовують комплексні калібри, отвір вважається придатним, якщо комплексний калібр-пробка проходить у діаметри і ширина паза не виходить за встановлені верхні межі; вал вважається придатним, якщо комплексний калібр-кільце проходить, а діаметри і товщина зуба не виходять за встановлені нижні межі. Засоби та методи поелементних вимірювань зовнішнього діаметра D шліцьового вала і внутрішнього діаметра d шліцьової втулки застосовуються в основному ті самі, що й при контролі гладких валів та отворів. Це можливо у зв'язку з тим, що в стандартах на шліцьові з'єднання передбачено застосування тільки парної кількості зубів ($z = 6, 8$ та $z = 10$) (ГОСТ 1139–80).

При комплексному контролі перевіряють сумарні відхилення товщини зубів валів і ширини заглиблень втулок прохідними калібрами-пробками і калібрами-кільцями (ГОСТ 24960–81...ГОСТ 24968–81). Калібри-пробки (рис. 5.8, а) випускаються з однією напрямною 1 для перевірки виробів із центруванням за зовнішнім діаметром і бічними сторонами і з двома напрямними 2 і 3 – для виробів із центруванням за внутрішнім діаметром. Калібри-кільця (рис. 5.8, б) також мають шліцьову частину і гладку напрямну поверхню А, якою їх надівають на вал.

Для шліцьових валів комплект калібрів включає три скоби (рис. 5.9, а). У деталі

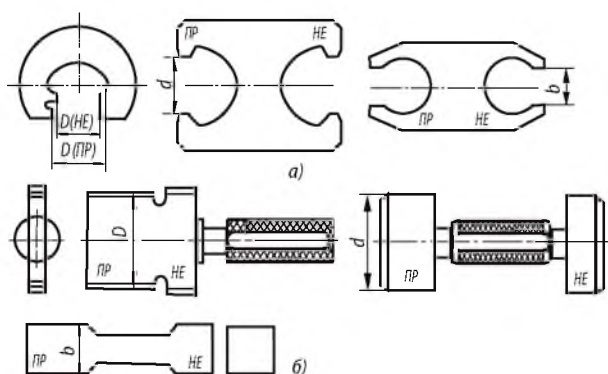


Рис. 5.7. Поелементні калібри для шліцьових виробів:

а – скоби; б – пробки

кожен шліць контролюють на всій довжині, зовнішній діаметр – у кількох поперечних перетинах по довжині, внутрішній – насовуючи скобу з торця по западинах у кількох поздовжніх перетинах. Аналогічний комплект для втулки (рис. 5.9, б) складається з калібру-пластини для ширини пазів, гладкої пробки для контролю внутрішнього діаметра і листової пробки для контролю зовнішнього діаметра по западинах втулки.

Товщину зубів вимірюють універсальними засобами вимірювання (наприклад, мікрометром,

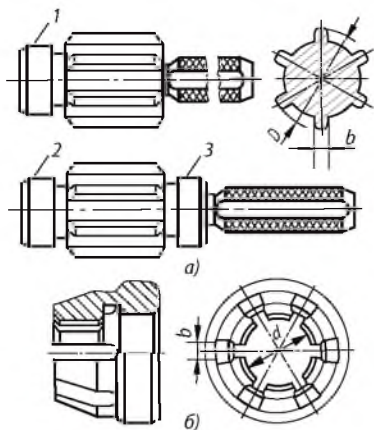


Рис. 5.8. Комплексні калібри для шліцьових виробів:
a – пробки; *б* – кільце

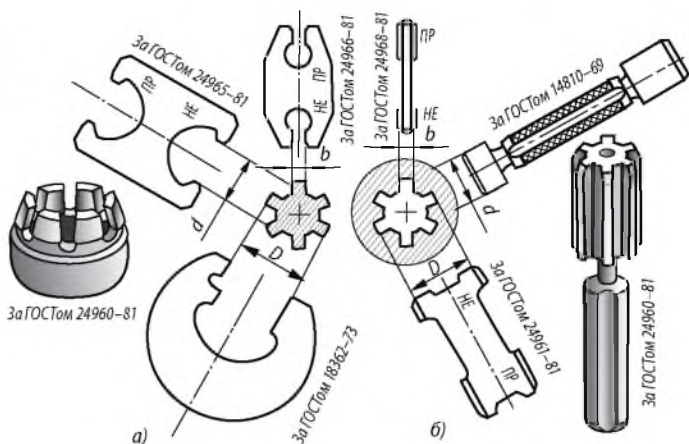


Рис. 5.9. Контроль шліцьових валів за допомогою скоб (а) і стрілочних приладів (б)

горизонтальним оптиметром зі спеціальними наконечниками, плоскопаралельними кінцевими мірами і т. ін.).

Ширину западин між зубами контролюють блоком кінцевих мір. Для контролю відхилень форми і розташування бічних сторін зубів і пазів може бути використана перевірна плита у поєднанні з діляльною головкою (див. підрозділ 6.4.3) і стрілочним (аналоговим) приладом (наприклад, індикатором із ціною поділки 1–2 мкм) на стояку. Коли шліцьове сполучення центрують за внутрішнім діаметром d , відхилення осі шліців щодо осі центрувального отвору можна контролювати накладним важільно-мікрометричним приладом (рис. 5.10, *a*) або в центрах на контрольній плиті з підкладками за допомогою стрілочного приладу, укріпленого в стояку (рис. 5.10, *б*). При такому ж центруванні співвісність циліндричних поверхонь, що визначаються внутрішнім та зовнішнім діаметрами сполучення, контролюється за схемою, наведеною на рис. 5.10, *в*. Шліцьовий вал установлюється в центрах на повірочній плиті, і контроль здійснюють за допомогою стрілочних приладів 1 та 2, закріплених на стояках.

Контроль кроку шліцьового вала виконують на повірочній плиті за допомогою діляльної головки і стрілочного приладу, закріпленого у стояку за схемою, наведеною

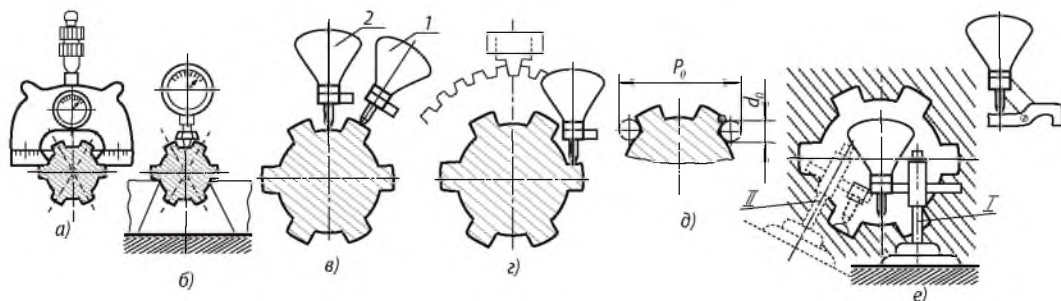


Рис. 5.10. Контроль шліцьових прямобічних з'єднань за допомогою універсальних вимірювальних засобів

6.1. КУТОВІ РОЗМІРИ ТА КОНІЧНІ З'ЄДНАННЯ

За одиницю вимірювання плоского кута в Міжнародній системі одиниць прийнято радіан – кут між двома радіусами, які створюють сектор із дугою, що за довжиною дорівнює радіусу. Проте в машинобудуванні користуються звичайно іншими, зручнішими та звичнішими одиницями: градусом, минутою та секундою. За градус приймають плоский кут, що дорівнює $1/360$ центрального кута, який спирається на повне коло. Ця система використовує шістдесяткову систему числення, тобто градус дорівнює 60 мін, а мінута – 60 с. Одиниці вимірювань плоского кута знаходяться в такому співвідношенні:

$$1 \text{ радіан} = \frac{360^\circ}{\pi} = 57^\circ 17' 45'' = 3437' 45'' = 206\,265''.$$

Іноді малі кути визначають за допомогою тригонометричних залежностей, наприклад синуса або тангенса. Можна приймати значення синуса і тангенса малого кута такими, що дорівнюють значенню кута в радіанах. Таке припущення виправдане, оскільки похибка, що виникає при цьому, становить не більше 10 % для кутів до 25° .

Особливість кутових розмірів полягає в тому, що точність їх виготовлення і контролю залежить від довжини сторін, які створюють цей кут. Чим менша сторона, тим важче виготовити і виміряти кут. Тому допуски на кутові розміри задаються залежно від довжини меншої сторони, а не від його номінального значення.

Розміри конусів можуть задавати різними способами, з яких найчастіше в машинобудуванні використовують два. Задають значення кута конуса або його конусність. За кут конуса приймають кут між твірними конуса в площині, що проходить через вісь конуса. Іноді, замість кута конуса, використовують кут ухилу, тобто кут між твірною і віссю конуса. Кут ухилу дорівнює половині кута конуса. Ці кути вимірюють у градусах.

Терміни і визначення для конусів та конічних поверхонь передбачені у ГОСТі 25548–82 та ДСТУ 2499–94. Система допусків і посадок конічних з'єднань регламентується ГОСТом 25307–82. Допуски кутів наведено у ГОСТі 8908–81.

Кути конусів та призматичних елементів деталей машин можна поділити на три різновиди: нормальні кути загального призначення; нормальні кути спеціального призначення (конічні різі, конуси інструментів, отвори шпинделів і під оправки для металообробних верстатів і т. ін.); спеціальні кути, розміри яких неможливо округлити до нормальних кутів унаслідок їх залежності від інших прийнятих розмірів (їх регламентують стандарти на конкретні вироби).

Кутіві розміри призматичних елементів деталей, як правило, бувають вільні.

Для кутових розмірів, не пов'язаних розрахунковими залежностями з іншими прийнятими розмірами, установлені три ряди нормальних кутів (ГОСТ 8908–81), серед яких 1-й ряд віддає перевагу 2-му, а 2-й – 3-му. Перший ряд включає дев'ять зна-

чень: 0°, 5°, 15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 90° та 120°. Другий ряд містить у собі 11 додаткових значень, які вставлені у проміжки між значеннями 1-го ряду: 30', 1°, 2°, 3°, 4°, 6°, 7°, 8°, 10°, 40° та 75°. Третій ряд має 23 додаткові значення, причому 17 додаткових значень вставлені між значеннями 1-го та 2-го рядів і додано шість значень, які перевищують 120°, 135°, 150°, 165°, 180°, 270° та 360°.

Основними розмірами кутів призматичних елементів деталей є кут α та його менша сторона L_1 (рис. 6.1, а). Головним параметром конічного з'єднання є конусність C , під якою розуміють відношення різниці діаметрів $D-d$ двох поперечних перерізів конуса до відстані L між ними, тобто

$$C = \frac{D-d}{L}.$$

Із рис. 6.1, б випливає, що конусність дорівнює подвійному тангенсу кута $\alpha/2$, який називається кутом уклону і є кутом між твірною та віссю конуса. Подвійна величина кута уклону α , тобто кута між твірною конуса в осьовому перерізі, називається кутом конуса. Конусність часто зображують у вигляді відношення 1 : x , де x – відстань між поперечними перерізами конуса, різниця діаметрів яких дорівнює 1 мм. Таким чином,

$$C = \frac{D-d}{L} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Допуски кутів позначають двома латинськими буквами AT і праворуч від них (поряд із ними) цифрами, що означають ступінь точності, наприклад, AT_6 , AT_{16} . Встановлено сімнадцять ступенів точності. За 1–7-м ступенями точності виготовляють кутові міри і калібри. Допуск кута – різниця між найбільшим та найменшим допустимими кутами.

Для кожного ступеня точності передбачено чотири види допусків, які вибирають на кутові розміри і позначають на креслениках: AT'_α , AT''_α , AT_h та AT_D .

AT_α – допуск кута, виражений у кутових одиницях (рис. 6.1, в), наприклад у мкррад, градусах (...°), мінутах (...') та секундах (...").

AT'_α – округлене значення допуску кута у "...°; ...' та ...", наприклад, якщо допуск $AT_\alpha 17 = 4^\circ 35' 01''$ (при інтервалі довжин L до 10 мм), то відповідний йому допуск $AT'_\alpha 17 = 4^\circ$.

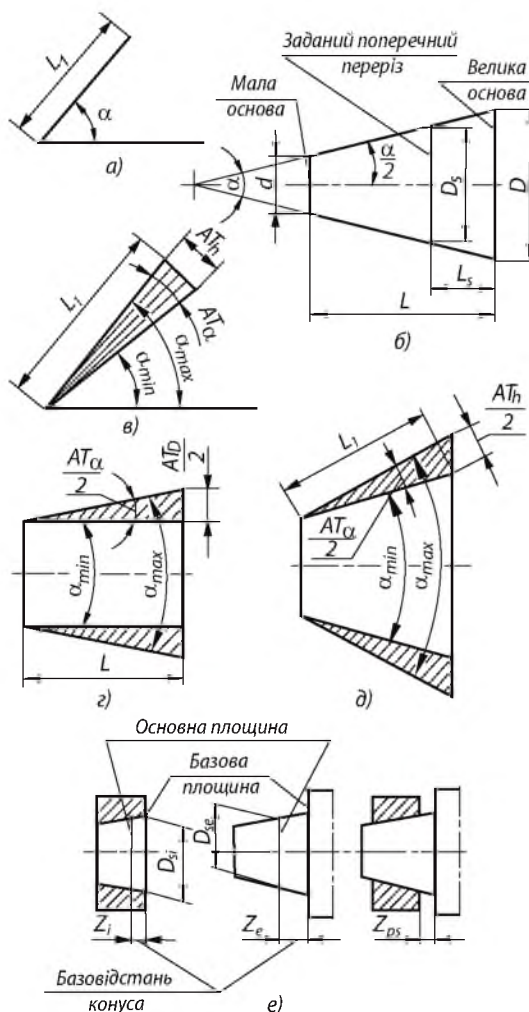


Рис. 6.1. Основні розміри та допуски призматичних елементів деталей (а, в), конусів (б, г, д) та їх з'єднань (е)

AT_h – допуск кута, виражений відрізком на перпендикулярі (у мкм), до сторони кута AT_α , що до нього протилежний, на відстані L_1 від вершини цього кута (рис. 6.1, д).

AT_D – допуск кута конуса, виражений допуском на різницю діаметрів у двох нормальних до осі перерізах конуса на заданій відстані L між ними; визначається за перпендикуляром до осі конуса (рис. 6.1, з).

Допуски кутів конусів із конусністю не більше 1:3 повинні призначатися залежно від номінальної довжини L конуса (рис. 6.1, з) і більше 1:3 – залежно від номінальної довжини твірної L_f конуса (рис. 6.1, д).

Допуски кутів призматичних елементів деталей призначають залежно від довжини L_f меншої сторони кута (рис. 6.1, а, в).

Допуски кутів можуть бути розташовані у плюсі (+ AT), у мінусі (- AT) або симетрично ($\pm \frac{AT}{2}$) відносно номінального кута (рис. 6.2, 6.3).

Коли розглядають допуски конусів та посадок конічних з'єднань, застосовують також такі терміни:

- *номінальний конус*, що визначається номінальною поверхнею і номінальними розмірами (рис. 6.1, б); номінальним діаметром конуса (це може бути номінальний діаметр D великої основи, номінальний діаметр d малої основи або номінальний діаметр D_s у заданому поперечному перерізі); номінальною довжиною L конуса (відстанню між вершиною і основою конуса або між основами зрізаного конуса); номінальним кутом конуса α або номінальною конусністю C ;
- *основна площина* – площина поперечного перерізу конуса, в якому задають номінальний діаметр конуса;
- *базова площина* – площина, що перпендикулярна до осі конуса і слугує для визначення осьового положення основної площини або осьового положення певного конуса щодо конуса, який сполучається з ним; базова та основна площини конуса можуть збігатися;
- *базовідстань конуса* (z_e – для зовнішнього конуса і z_i – для внутрішнього конуса) – відстань між основною та базовою площинами конуса (рис. 6.1, е);
- *базовідстань з'єднання* z_{ps} – осьова відстань між базовими площинами зовнішнього та внутрішнього конусів, що сполучаються.

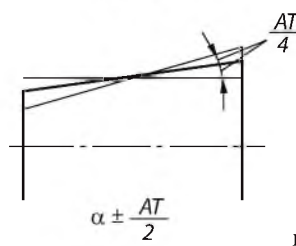
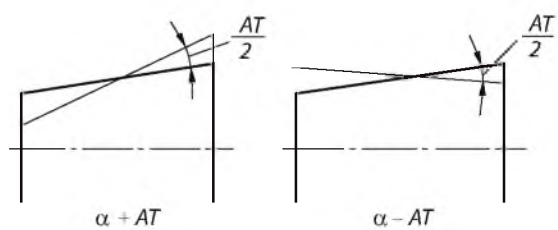
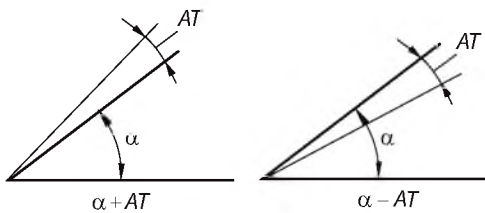


Рис. 6.2. Схеми розташування допусків кутів (α – номінальний кут конуса)

Рис. 6.3. Схеми розташування допусків кутів конусів (α – номінальний кут конуса)

Для конусів встановлено такі допуски:

- T_D – діаметра конуса в будь-якому перерізі, що дорівнює різниці граничних діаметрів конуса в одному і тому ж поперечному перерізі;
- T_{Ds} – діаметра конуса в заданому перерізі;
- AT – кута конуса;
- T_{FR} – круглості;
- T_{FL} – прямолінійності твірної.

Конічні з'єднання призначені для передачі обертальних моментів, центрування деталей, що з'єднуються, регулювання під час складання значення зазору або натягу шляхом взаємних осьових зміщень деталей, що з'єднуються, й ущільнення стиків. Так само циліндричні з'єднання поділяють на три різновиди: рухомі з'єднання з гарантованим зазором (наприклад, конічні підшипники ковзання), в яких забезпечується зазор після фіксації взаємного осьового положення зовнішнього та внутрішнього конусів; перехідні з'єднання, в яких після фіксації положення можливе отримання як зазору, так і натягу; з'єднання з натягом, в яких забезпечується натяг.

Конічні з'єднання дозволяють отримувати в нерухомих з'єднаннях самоцентрування, регулювання натягу, швидко закріплення та звільнення; в рухомих з'єднаннях – компенсацію спрацювання.

Різниця конусностей отвору і вала в нерухомих з'єднаннях призводить до підвищених локальних навантажень, порушення співвісності і зменшення вантажної здатності. За експериментальними даними, максимальний обертальний момент, що передається за рахунок тертя, зменшується приблизно на 4 % на 1 кутову мінуту різниці кутів конуса вала та отвору (в межах перших 10 мінут).

6.2. СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ ВИКОНАННЯ КУТОВИХ РОЗМІРІВ ТА КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ

Допуски кутів конусів і призматичних елементів деталей стандартизовані з довжиною меншої сторони кута до 2500 мм (ГОСТ 8908–81). Допуск кута AT (з англійської – Angle Tolerance) визначають у радіанах AT_α (див. рис. 6.1, в, д) і у градусах, мінутах та секундах AT''_α (округлене значення) або виражають через відрізок AT_h (див. рис. 6.1, в, д) на перпендикулярі до сторони кута, протилежного куту AT_α , на відстані L_1 від вершини цього кута; практично цей відрізок із невеликою різницею дорівнює довжині дуги радіуса L_1 , що з'єднує кут AT_α . Допуск кута конуса може бути визначений іще допуском AT_D на різницю діаметрів у двох нормальних до осі перерізах конуса на заданій відстані L між ними; він визначається за перпендикуляром до осі конуса.

Коли позначають допуск кута заданого ступеня точності, вказані вище позначення доповнюють номером відповідного ступеня точності, наприклад, $AT5$, $AT8$.

Встановлено 17 ступенів точності: 1, 2, ..., 17. Числові значення допусків кутів виражають такими одиницями: AT'_α – у мкрад, AT''_α – у градусах, мінутах та секундах (рекомендовані для позначення на креслениках), AT_h і AT_D – у мкм. Числові значення допусків кутів за ступенями точності змінюються з коефіцієнтом 1,6, що дорівнює знаменнику ряду $R5$ переважних чисел. Передбачена можливість отримання ступенів точності 0 та 01 із послідовним використанням цього коефіцієнта.

У табл. 6.1 наведено значення допусків кутів у деяких інтервалах для загально-вживаних ступенів точності.

Таблиця 6.1. Допуски кутів

Інтервал довжин $L; L_1$, мм	Ступені точності							
	7				8			
	AT_α		AT'_{α}	AT_h, AT_D	AT_α		AT'_{α}	AT_h, AT_D
	мкрад	мін	мін		мкрад	мін	мін	
До 10	800	2'45"	2'30"	...8	1250	4'18"	4'	...12,5
Від 10 до 16	630	2'10"	2'	6,3...10	1000	3'26"	3'	10...16
» 16 » 25	500	1'43"	1'40"	8...2,5	800	2'45"	2'30"	12,5...20
» 25 » 40	400	1'22"	1'20"	10...16	630	2'10"	2'	16...25
» 40 » 63	315	1'05"	1'	12,5...20	500	1'43"	1'40"	20...32
» 63 » 100	250	52"	50"	16...25	400	1'22"	1'20"	25...40
» 100 » 160	200	41"	40"	20...32	315	1'05"	1'	32...50
» 160 » 250	160	33"	32"	25...40	250	52"	50"	40...63

Примітка. Значення AT_h і AT_D вказані для граничних значень L або L_1 .

Для кутових розмірів конусів нормальних конусностей (конусностей, кутів конуса та кутів уклону) встановлені два ряди (ГОСТ 8593–81). До першого ряду (переважного) входять 13 конусностей: 1:500 ($\alpha = 6'52,5''$); 1:200 ... 1:0,500 та 1:0,288675 ($\alpha = 120''$); до другого ряду входять вісім конусностей: від 1:30 ($\alpha = 1^\circ 54'34,9''$) до 1:0,651613 ($\alpha = 75''$). Ці розміри призначені для кріпильних деталей, конічних оправок, клинових шпонок, конічних зубчастих коліс, конічних шийок шпинделів верстатів, метричних конусів інструментів та інших об'єктів.

Для конусів може бути використане спільне нормування допусків діаметра, кута конуса та його форми (круглості, прямолінійності твірної) допуском T_D діаметра в будь-якому перерізі (рис. 6.4) або роздільне нормування допуску T_{Ds} діаметра в заданому перерізі, допуску AT_α кута конуса (рис. 6.5), допуску T_{FR} круглості і допуску T_{FL} прямолінійності твірної конуса.

Допуски форми конуса – допуск круглості T_{FR} (рис. 6.6) і допуск прямолінійності твірної T_{FL} (рис. 6.7) визначаються при заданому допуску T_D , коли відхилення форми конуса повинно бути у більш вузьких межах, ніж це можливо при повному викорис-

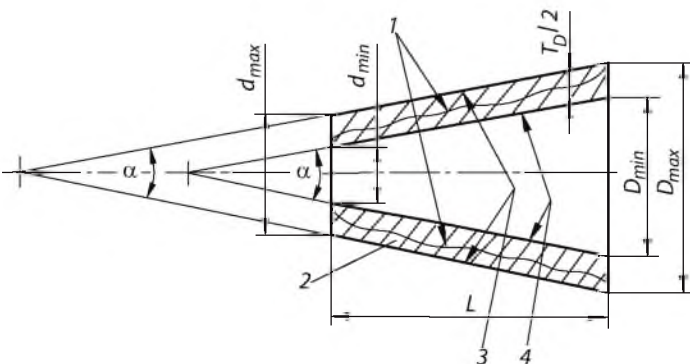


Рис. 6.4. Визначення допуску T_D діаметра конуса будь-якого перерізу:

1 – реальна поверхня; 2 – поле допуску конуса; 3 – найбільший граничний конус; 4 – найменший граничний конус

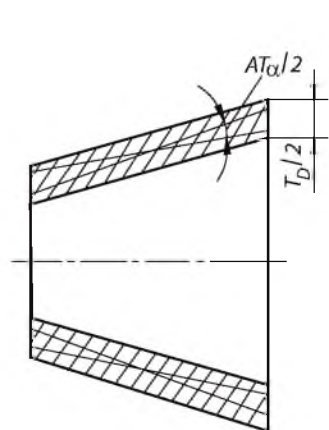


Рис. 6.5. Допуск AT_α кута конуса

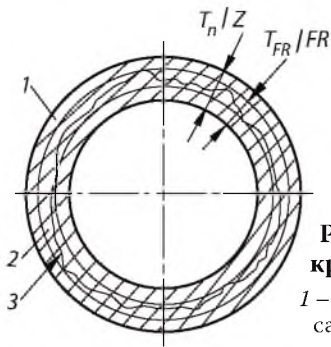


Рис. 6.6. Допуск круглості конуса:

1 – поле допуску конуса; 2 – поле допуску круглості; 3 – реальний профіль

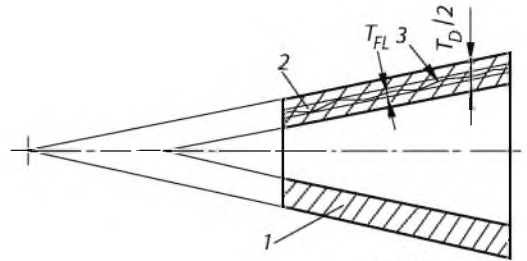


Рис. 6.7. Допуск пряmolінійності твірної конуса:

1 – поле допуску конуса; 2 – поле допуску пряmolінійності; 3 – реальний профіль

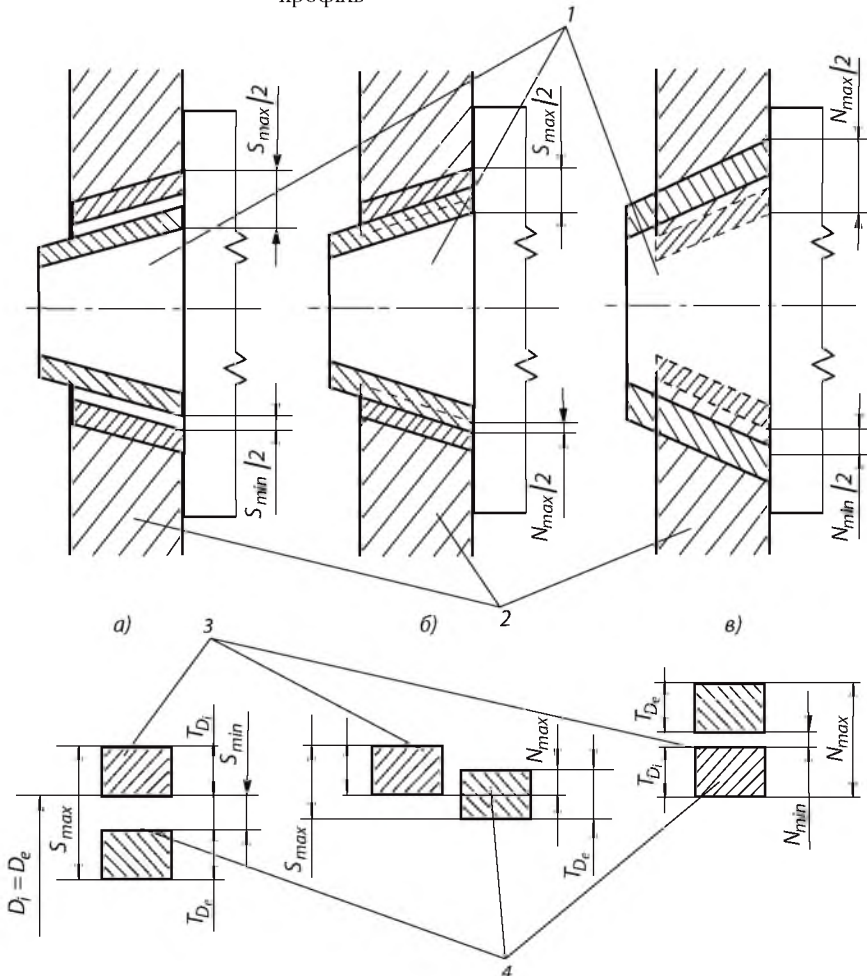


Рис. 6.8. Посадки із фіксацією шляхом сполучення конструкційних елементів конусів, що з'єднуються:

a – посадка із зазором; *б* – посадка перехідна; *в* – посадка з натягом; 1 – зовнішній конус; 2 – внутрішній конус; 3 – поле допуску внутрішнього конуса; 4 – поле допуску зовнішнього конуса

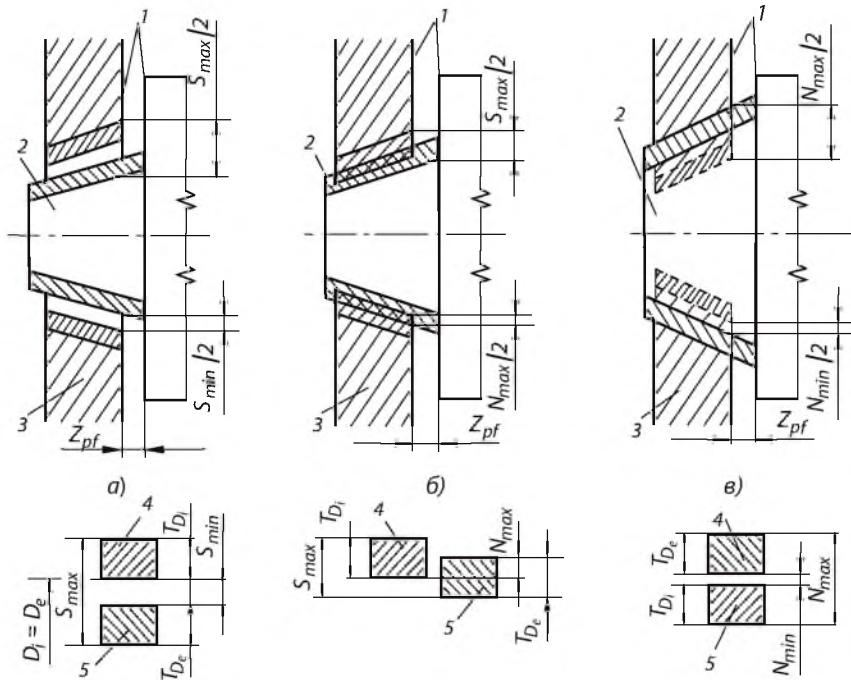


Рис. 6.9. Посадки із фіксацією за заданою осьюовою відстанню між базовими площинами конусів, що з'єднуються:

a – посадка із зазором; *б* – посадка перехідна; *в* – посадка з натягом; 1 – базові площини; 2 – зовнішній конус; 3 – внутрішній конус; 4 – поле допуску внутрішнього конуса; 5 – поле допуску зовнішнього конуса

танні допуску T_D . Співвідношення між допусками форми і діаметра конуса або форми і кута конуса наведено у ГОСТі 25307–82. Допуски T_{FR} і T_{FL} повинні відповідати ГОСТу 24643–81.

Посадки конічних з'єднань (конічні посадки, ГОСТ 25307–82) за способом фіксації взаємного осьового розташування спряжених конусів поділяються на такі посадки: із фіксацією шляхом сполучення конструктивних елементів спряжених конусів (посадки із зазором, перехідні та з натягом, рис. 6.8); із фіксацією за заданою відстанню z_{pf} між базовими площинами, перпендикулярними осям спряжених конусів (буртики, запlechники, корпуси), яка називається базовідстанню (посадки із зазором, перехідні та з натягом, рис. 6.9); із фіксацією за заданим осьовим зміщенням E_a спряжених конусів від їхнього початкового положення P_s , відповідного стицканню без прикладання осьового навантаження, в кінцеве положення P_f після досягнення заданого осьового зміщення внаслідок запресовування, затягування і т. ін. (посадки із зазором та з натягом, рис. 6.10); з фіксацією за заданим зусиллям запресовування F_s , що діє в початковому положенні спряжених конусів (посадки з натягом, рис. 6.11).

У посадках із фіксацією за конструктивними елементами або за базовідстанню бажано встановлювати норми за T_D , використовуючи поля допусків ЄСДП (ГОСТ 25346–89, ГОСТ 25347–82, ДСТУ 2500–94) не грубіші за 9-й квалітет з основним відхиленням H для внутрішніх конусів та основним відхиленням $d...z$ для зовнішніх ко-

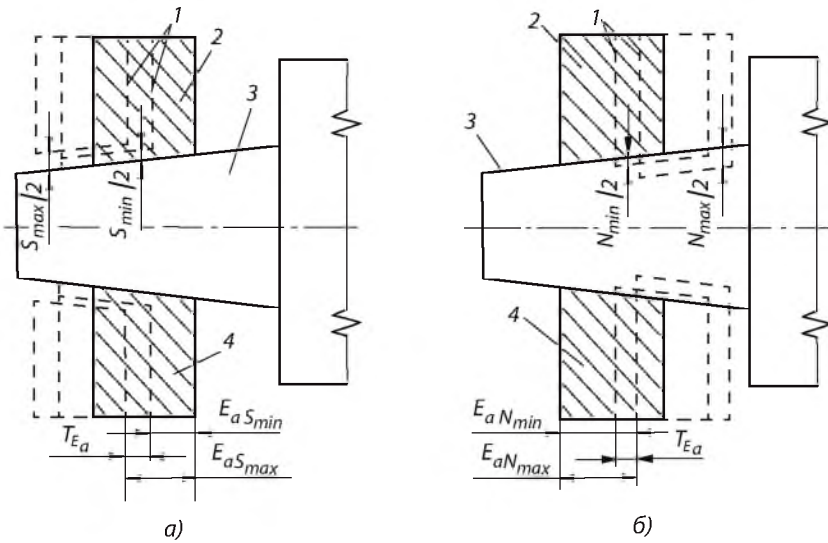


Рис. 6.10. Посадки із фіксацією за заданим осьовим зміщенням:

a – посадка із зазором; *б* – посадка з натягом; 1 – кінцеве положення; 2 – початкове положення; 3 – зовнішній конус; 4 – внутрішній конус

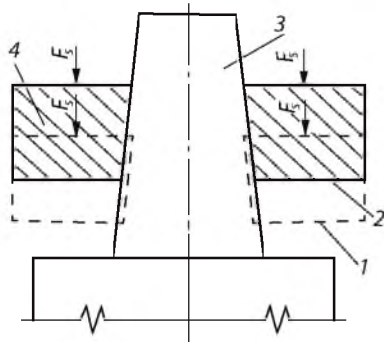


Рис. 6.11. Посадки з натягом, які фіксуються за заданим зусиллям запресування:

1 – кінцеве положення; 2 – початкове положення; 3 – зовнішній конус; 4 – внутрішній конус

нусів. За інших способів фіксації для діаметрів застосовують поля допусків від 8-го до 12-го квалітетів.

Значення граничних зазорів або натягів у конічних з'єднаннях або приймають такими, як в аналогічних посадках циліндричних з'єднань, або визначають за допомогою розрахунків чи дослідним шляхом. Зв'язок між допуском T_{Ea} осьового зміщення і допуском зазору δ_{Δ} визначається співвідношенням $T_{Ea} = \delta_{\Delta}/C$, де C – конусність.

Для нормальних кутів конусів та конусностей спеціального призначення (конусів Морзе, кінців шпинделів і оправок фрезерних верстатів та інших об'єктів) встановлено 17 конусностей від 1:32 ($\alpha = 1^{\circ}47'24''$) до 1:1,5 ($\alpha = 36^{\circ}52'12''$).

Серед нормальних кутів спеціального призначення важливе місце займають кути конусів інструментів. Конуси інструментів бувають такі: метричні 4 та 6 ($C = 1:20 = 0,05$), Морзе 0, ..., 6 (конусність від 1:20,047 до 1:19,002), метричні 80, ..., 2000 та скорочені. У верстатах із ЧПК конусність становить 7:24. Розміри цих конусів та посадкових поверхонь технологічного обладнання – стандартизовані (ГОСТ 9953–82). Стандартизовані також і допуски розмірів (ГОСТ 2848–75), що дозволяє в технічній документації і на креслениках обмежуватися тільки їх умовними позначеннями. Для допусків кута AT_h конуса в мкм на довжині L конуса передбачено п'ять ступенів точності AT_4 , ..., AT_8 . Поряд із цим у кожному ступені точності встановлені допуски прямолінійності твірної конуса (приблизно 25 % від AT_h) і круглості поперечного перерізу (приблизно

Таблиця 6.2. Допуски конусів інструментів

Конуси		Довжина виміру кута конуса L , мм	Допуск кута конуса, мкм, на довжині конуса			Допуски форми конуса, мкм						
						прямолінійності твірної			круглості			
			Ступені точності									
				AT_5	AT_6	AT_7	AT_5	AT_6	AT_7	AT_5	AT_6	AT_7
Метричні	4	25	-	8	12	-	1,6	2,5	-	4	6	
	6	35		10	16		2,0	3,0				
Морзе	0	49	6	10	16	1,6	2,5	4,0	3	5	8	
	1	52										
	2	64										
	3	79	8	12	20	2,0	3,0	5,0	4	6	10	
	4	100	10	16	25	2,5	4,0	6,0				
	5	126										
	6	174										
Метричні	80	180	12	20	30	3,0	5,0 8,0	5	8	12		
	100	212										

50 % від AT_h). Для деяких конусів інструментів числові значення допусків наведені у табл. 6.2. Прийняті умовні позначення вимог до точності такі: Морзе 3 AT_7 , що означає конус Морзе 3-го ступеня точності AT_7 .

Наприклад, для цього ступеня точності конуса Морзе 3 за табл. 6.2 знаходимо на довжині вимірювання конуса $L = 79$ мм допуск кута конуса $AT_h = 20$ мкм, допуск прямолінійності твірної $T_{FL} = 5$ мкм (5-й ступінь точності) і допуск круглості $T_{FR} = 10$ мкм (6-й ступінь точності).

Для конусів, що найпоширеніші в машинобудуванні, з конусністю 7:24 стандартизовані (ГОСТ 19860–74) допуски з п'яти ступенів точності AT_3 , ..., AT_7 з допуском T_D .

6.3. КУТОВІ ВИМІРЮВАННЯ

Методи вимірювань кутів поділяють на три основні види:

1. *Метод порівняння з жорсткими кутувими мірами.* За зразкову приймають жорстку кутову міру і в процесі вимірювання перевіряють відхилення кута, що перевіряється, від кута зразкової міри. Відхилення оцінюють за світловою щілиною, шляхом вимірювання за допомогою важільно-механічних, важільно-оптичних та пневматичних приладів, а також за фарбою.

2. *Абсолютний метод,* заснований на використанні приладів із кутомірною шкалою. Кут виробу відлічують безпосередньо в кутових одиницях за шкалою приладу. Цей вид вимірювань реалізують за допомогою автоколімаційних труб, оптичних дільних головок, оптичного дільного столу, інструментального та універсального мікроскопів, гоніометрів, рівнів та інших приладів.

3. *Непрямий (тригонометричний) метод,* що полягає у вимірюванні лінійних розмірів, пов'язаних із кутом тригонометричними залежностями. До таких вимірювань відносять координатний метод вимірювання кутів на універсальному мікроскопі,

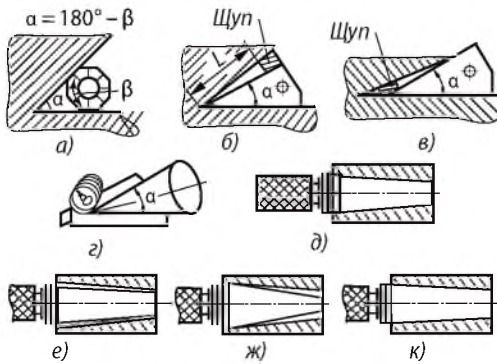


Рис. 6.12. Схеми окремих методів вимірювання кутів

вої кутової міри і оцінки просвіту за допомогою наборів щупів. На рис. 6.12, з показано схему абсолютних вимірювань кута конуса оптичним кутоміром.

На рис. 6.12, д, е, ж, к показано схему контролю конуса за базовідстанню конусним калібром, при цьому придатний тільки конус, зображений на рис. 6.12, к.

6.3.1. Кутові міри та повірочні косинці

Кутові призматичні міри (ГОСТ 2875–75) застосовують для передачі розміру одиниці плоского кута від еталонів до зразкових кутових мір і від зразкових мір до робочих кутових мір, для перевірки і градування приладів, призначених для вимірювання кутів, а також для безпосереднього вимірювання кутів виробів.

Кутові міри виготовляють таких типів: 1 – з одним робочим кутом і зрізаною вершиною (рис. 6.13, а); 2 – гострокутні з одним робочим кутом (рис. 6.13, б); 3 – з чотирма робочими кутами (рис. 6.13, в); 4 – багатогранні призматичні з рівномірним кутовим кроком (рис. 6.13, г); 5 – із трьома робочими кутами (рис. 6.13, д). Багатогранні міри з гранями мають діаметр в оправі не менший за 12 мм. Число граней може бути доведено до 72.

Кутові міри можна застосовувати як окремо, так і у вигляді блоків, складених із кількох мір. Блоки закріплюють за допомогою спеціальних оправок (рис. 6.13, е–к). Сполучають кутові міри одну з одною гвинтами та клиновими штифтами, які пропускають через отвори державки і кутової міри.

Повірку кутів виробів за допомогою кутових мір здійснюють двома способами.

Перший спосіб аналогічний способу використання кінцевих мір довжини. Міру прикладають до однієї сторони кута виробу й оцінюють ступінь збігу за іншою стороною. Для точної оцінки незбігу за просвітом використовують зразки просвіту. Такий зразок просвіту створюється таким чином (рис. 6.14). Беруть дві однакові за розміром кінцеві міри 2 і притирають їх до доведеної поверхні бруска 3, що має достатньо широку робочу поверхню. Потім між одержаними рівновисокими мірами 2 притирають кінцеві міри, розміри яких у поєднанні з лезом лекальної лінійки 1 створюють необхідні зразки просвіту. На рис. 6.14 це зразки просвіту шириною 1, 2 та 3 мкм. Ці просвіти «на око» порівнюють із просвітом між виробом і кутовою мірою. Якщо контакт між мірою і деталлю відрізняється від контакту з лезом лекальної лінійки, то її на зразку просвітів рекомендують замінити лінійкою із ширшою робочою гранню.

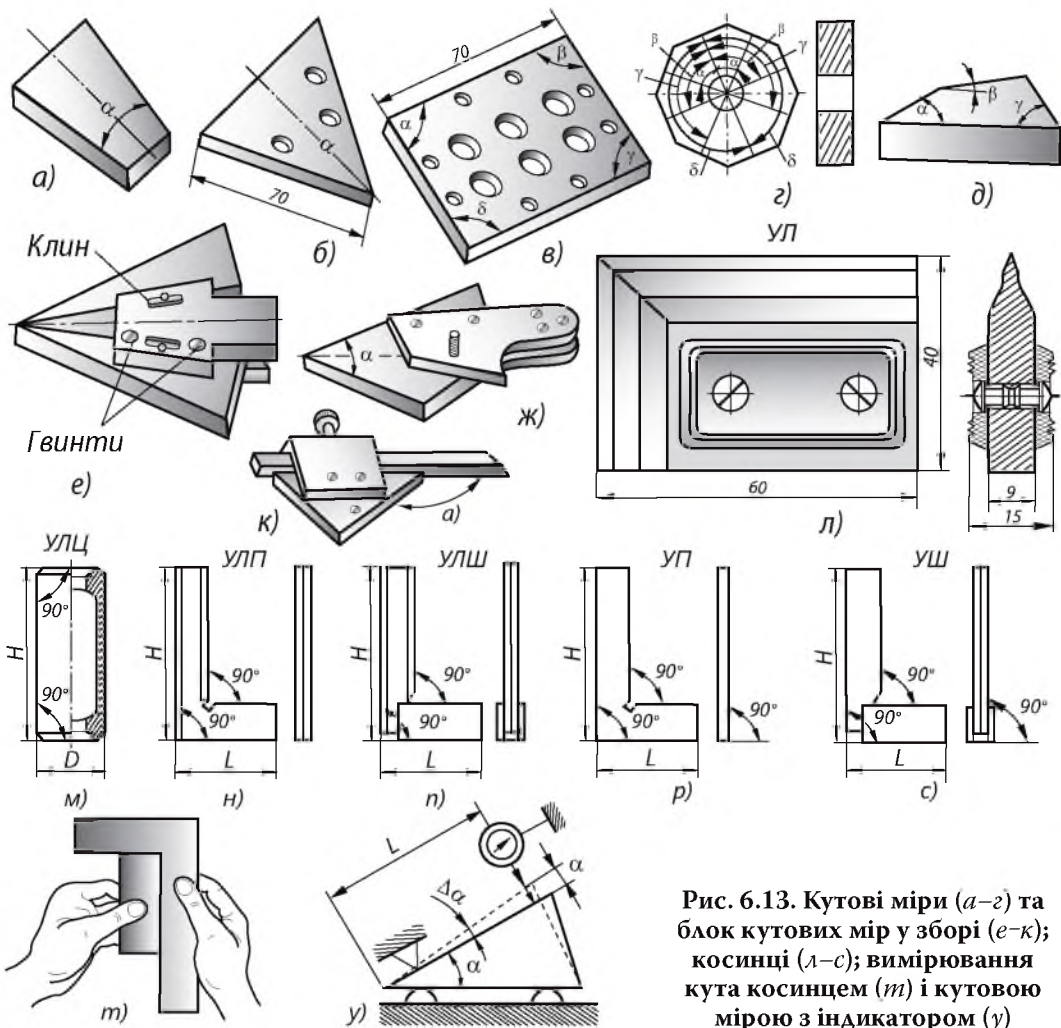


Рис. 6.13. Кутові міри (а-г) та блок кутових мір у зборі (е-к); косинці (л-с); вимірювання кута косинцем (m) і кутовою мірою з індикатором (n)

У процесі слюсарної та механічної обробки кут виробу приганяють до кутової міри до ліквідації просвіту або до отримання однакового просвіту по всій довжині твірної кута.

У разі відсутності кутової міри з необхідним значенням кута або коли конструкція виробу не дає змоги застосувати кутову міру, виготовляють спеціальний кутувий шаблон, який розглядають як нормальний калібр.

Оцінка просвіту «на око» залежить насамперед від навички перевірника і значення просвіту. Так, просвіти понад 10 мкм оцінити практично неможливо. Просвіти до 5 мкм можна оцінювати при певній навичці з похибкою 1...1,5 мкм, понад 5 до 10 мкм – 2...3 мкм.

За другого способу кутову міру використовують як міру порівняння з контрольованим кутом виробу. Відхилення кута $\Delta\alpha$ виробу від міри визначають за допо-

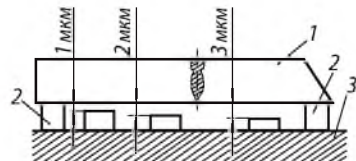


Рис. 6.14. Зразок просвіту

могою вимірювальної головки (рис. 6.13, *у*). При цьому лінійні показання a головки перераховують у кутові за формулою $\Delta\alpha = a/l$, де l – відстань від головки до вершини кута. Умовно до кутових мір можна віднести косинці.

Повірочні косинці (ГОСТ 3749–77). Для повірки взаємної перпендикулярності площин виробів (рис. 6.13, *т*) та їх установлення під час монтажних робіт застосовують повірочні косинці з кутом 90° шести типів (рис. 6.13, *л–с*): УЛ – лекальний; УЛП – лекальний плоский; УП – слюсарний плоский; УШ – слюсарний із широкою основою; УЛЦ – лекальний циліндричний.

6.3.2. Калібри для контролю конусів

Конусні калібри можуть використовуватися як граничні і як нормальні. Застосовують їх для контролю конусів інструментів.

При контролі конусів за базовідстанню вони є граничними калібрами (ГОСТ 2849–77, ГОСТ 24932–81, ГОСТ 15945–82, ГОСТ 20305–80). Контроль цим методом зводиться до визначення граничного осьового положення калібру щодо торця контрольованої деталі. Наприклад, у разі контролю конусів хвостовиків інструментів визначають положення калібру щодо плоскої поверхні хвостовика.

Конусні калібри-пробки та калібри-втулки бувають без хвостовиків (рис. 6.15, *а, б*) і з хвостовиками (рис. 6.15, *в, з*).

Для контролю базовідстані на калібрах-пробках роблять дві риски, відстань h між якими відповідає допуску. На втулках для цього вирізають уступ із висотою h . Виріб вважають придатним, якщо торець виробу не виходить за межі рисок або уступу. Контроль інструментальних конусів із хвостовиками або внутрішніх конусів із пазами для хвостовика здійснюють за допомогою калібрів, у яких є риски, відповідні допуску базовідстані (рис. 6.15, *в, з*).

Плоскі поверхні хвостовиків зовнішніх конусів придатних інструментів повинні виступати за вимірювальну поверхню вирізу в межах від торця до другої риски.

Контроль за базовідстанню оцінює діаметральні розміри з'єднання. У точних конічних з'єднаннях ці розміри проконтролювати дуже важко, оскільки допуск на діаметр основного перерізу у них становить 0,1 мкм. У цьому випадку конусні калібри використовують як нормальні і проводять контроль конусів за фарбою.

Контроль калібрами за фарбою полягає в тому, що на конічну поверхню наносять тонкий шар фарби. Калібр сполучають із виробом і повертають на $3/4$ оберту. Після витягання калібру за відбитком судять про ступінь прилягання калібру до виробу. Найкращий відбиток виходить, коли використовують

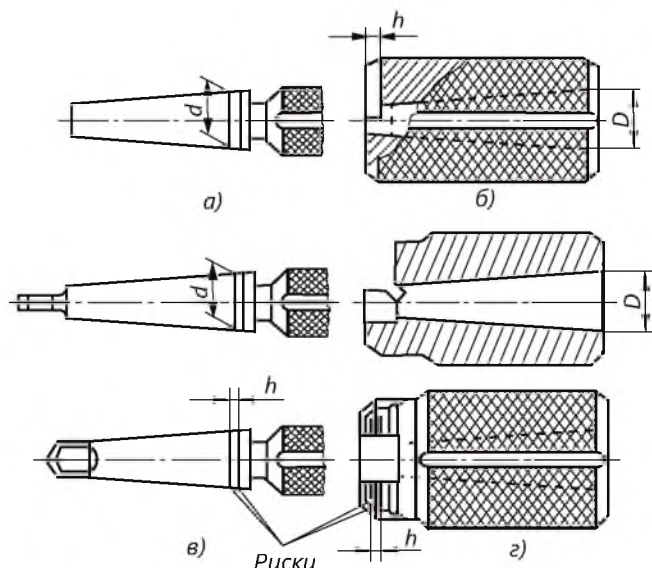


Рис. 6.15. Калібри для контролю конусів

друкарську фарбу № 219 або берлінську блакить. Друкарська фарба внаслідок своєї однорідності дає кращий і контрастніший відбиток. Фарбу на контрольовану поверхню наносять таким чином. Поролонову губку просочують фарбою і кладуть у тампон, згорнутий із 3–4 шарів марлі і обгорнутий щільною тканиною без ворсу. У тампон можна помістити фарбу без губки. Потім на тампон капають кілька крапель машинного мастила, проводять ним кілька разів по контрольованій поверхні, додатково розтирають фарбу фланеллю. Товщина шару фарби має бути мінімальна, але достатня для отримання чіткого відбитка. Зазвичай вона становить 2–5 мкм, і це зазначають у технічній документації. Оцінку товщини нанесеного шару фарби здійснюють за допомогою зразка інтенсивності забарвлення. Із цією метою до бруска з доведеною робочою поверхнею притирають дві однакові кінцеві міри розміром по 2,01 мм. Між ними щільно одна до одної притирають десять кінцевих мір розміром від 2 до 2,009 мм через 0,001 мм. На поверхню всіх мір наносять товстий шар фарби, який потім обережно зчищають лекальною лінійкою, що спирається на дві бічні рівновисокі міри. У результаті одержуємо на кожній мірі шар фарби, який дорівнює за товщиною різниці розмірів цієї міри і крайніх. На око добре помітно зміну інтенсивності забарвлення кінцевих мір залежно від товщини шару фарби. Похибка візуального методу оцінки товщини фарби на виробі за допомогою зразка інтенсивності забарвлення не перевищує 1 мкм.

За точністю виготовлення конусні калібри-пробки розділяють на три ступені: 08; 09 та 1. Калібри-втулки (як менш технологічні у виготовленні) мають два ступені точності: 09 та 1.

Пробки ступеня точності 08 рекомендують для контролю внутрішніх конусів інструментів 3-го ступеня точності. Пробки та втулки ступеня 09 – для конусів інструментів 4-го ступеня точності. Пробки та втулки 1-го ступеня точності призначені для контролю інструментальних конусів 5-го ступеня точності. Такі рекомендації виходять із того, що в цих випадках допуск калібру не перевищує однієї третини допуску на виготовлення контрольованих деталей.

Комплект калібрів для контролю конусів включає калібр-пробку та калібр-втулку. На вимогу замовника до комплекту може бути включений контрольний калібр-пробка. Контркалибр використовують для перевірки зносу калібру-втулки.

Торець незношеної втулки має збігатися з краєм передньої риски на контркалибрі. Допускається недохід торця втулки до риски на величину, що не перевищує 0,1 мм. Якщо торець втулки перекриває риску і заходить у ділянку, обмежену рисками більше ніж на 20 % відстані H , то калібр-втулка вважається гранично зношеним.

У дрібносерійному та одиничному виробництві при виготовленні конічних з'єднань методом пригінки зазвичай як початкову використовують деталь із внутрішнім конусом. За цією деталлю за фарбою перевіряють зовнішній конус, який і підганяють до прилягання не менше ніж 80 % площі різними прийомами (точать, шліфують, шабрують, притирають і т. ін.).

6.3.3. Прилади для вимірювання кутів

До приладів для вимірювання кутів належать кутоміри із ноніусом (ГОСТ 5378–66), оптичні кутоміри, оптичні діалільні головки, синусні лінійки та ін. Для вимірювання малих кутів використовують рівні та автоколіматори. Кути можна вимірювати також на вимірювальному проекторі та інструментальному мікроскопі (див. підрозділ 2.5).

Кутомір типу 1 (мод. УМ). До основи 1 (рис. 6.16, *a*), виконаної у вигляді напівдиска з прорізом і нанесеною на ньому шкалою від 0 до 120° із ціною поділки 1°, при-

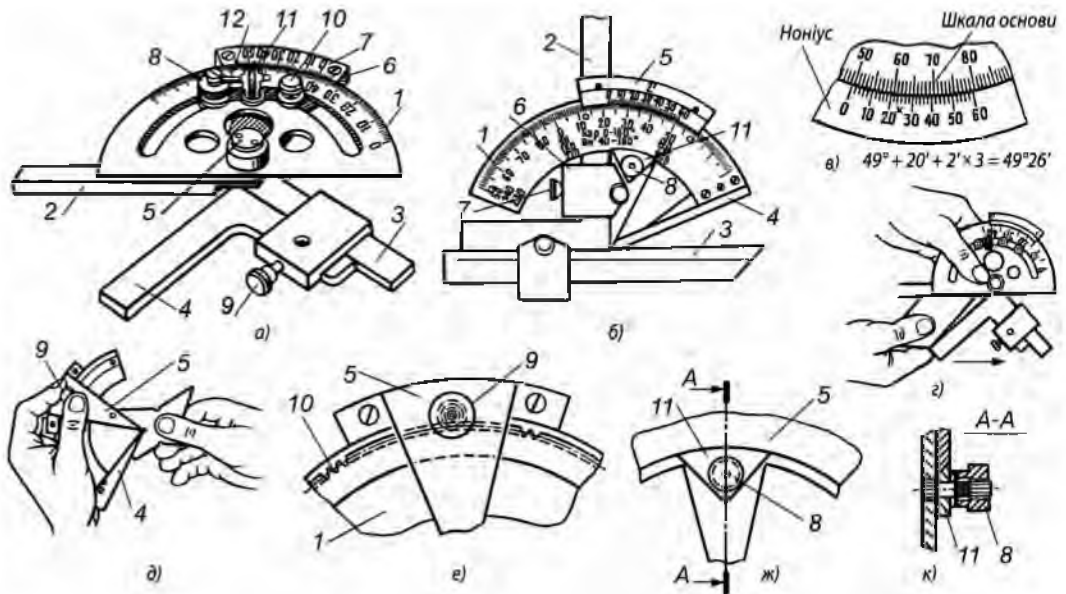


Рис. 6.16. Кутоміри з ноніусом:

а, в – типу 1 (мод. УМ); *б, е-к* – типу 2 (мод. 127); *г, д* – приклади вимірювання кута

кріплено лінійку 2. Основа 1 через вісь 5 сполучена з кутовим сектором б і з лінійкою 3, які можуть повертатися на осі.

Кути від 0 до 90° вимірюють, використовуючи додатковий косинець 4, закріплений на лінійці 3 за допомогою державки із затискачем 9. Виріб притискають однією стороною вимірюваного кута до нерухомої лінійки 2, а до іншої сторони кута виробу підводять косинець 4 з лінійкою 3. Для щільного беззazorного зіткнення вимірювальної поверхні косинця з вимірюваним виробом використовують мікроподачу сектора 6. Із цією метою звільняють стопор 10, а стопорне пристосування обертанням гайки 8 притискають до основи 1. При обертанні гайки 11 сектор 6 із лінійкою 3 і косинцем 4 плавно переміщуються до контрольованого виробу в положення, за якого буде забезпечене щільне беззazorне зіткнення вимірювальних поверхонь кутоміра з виробом. Застопоривши сектор з ноніусом за допомогою стопора 10, визначають значення кута. На рис. 6.16, в наведено положення шкал кутоміра при відліку кута, який дорівнює 49°26'. Приклад вимірювання кута показано на рис. 6.16, г.

Для вимірювання кутів більше 90° косинець 4 з державкою знімають із лінійки 3. При відліку кута за шкалами кутоміра до результату вимірювання кута додають 90°. В усьому іншому методика вимірювання кутів не відрізняється від наведеної вище.

Кутомір типу 2 мод. 127 є універсальним приладом, що надає можливість вимірювати як зовнішні, так і внутрішні кути. Його будову показано на рис. 6.16, б і д-к. До основи 1 із нанесеною на ній шкалою з ціною поділки 1° жорстко прикріплено лінійку 4. По дузі основи може переміщуватися сектор 5 із ноніусом. До цього сектора за допомогою державки б прикріплюють косинець 2 або знімну лінійку 3, які можуть переміщуватися по грані сектора і фіксуватися в необхідному положенні за допомогою стопорних гвинтів 7 державок. Знімна лінійка 3 може бути прикріплена і до короткої сторони косинця 2.

Плавне й точне встановлення вимірювальних поверхонь кутоміра здійснюється мікрометричною подачею, шляхом обертання гайки з накаткою, розташованою з тильного боку кутоміра. Положення сектора 5 щодо підстави 1 фіксують стопорним пристроєм, що складається із сухаря 11 (рис. 6.16, к) і гайки 8, встановлених на секторі. Мікрометрична подача складається із зубчастого сектора 10 (рис. 6.16, е), нарізаного на зовнішній поверхні основи 1 (рис. 6.16, б), і зубчастого колеса 9, що знаходиться в зачепленні з ним (рис. 6.16, е), з віссю, закріпленою в секторі 5. При обертанні зубчастого колеса 9 (рис. 6.16, е) сектор з ноніусом плавно переміщується щодо основи.

Перед вимірюванням кутів перевіряють нульове встановлення кутоміра. При щільному зіткненні вимірювальної поверхні лінійки 4 (рис. 6.16, а) з поверхнею лінійки 3 нульовий штрих ноніуса та нульовий штрих шкали основи повинні збігтися; при цьому останній штрих шкали ноніуса збігається з 29-м штрихом шкали основи.

Кути вимірюють шляхом різних комбінацій окремих вимірювальних ланок (косинця і лінійки кутоміра).

Оптичний кутомір (ГОСТ 11197–73) має нерухому здвоєну лінійку 1 (рис. 6.17, а), корпус 2, змінну лінійку 3, встановлювану щодо нерухомої здвоєної лінійки під кутом

0–360°. У корпусі поміщено скляний диск 8 (рис. 6.17, б), на якому є чотири шкали з цифрами від 0 до 90° через 2°; ціна поділки 1°. Для відліку показань у корпус кутоміра вмонтовано лупу 6 (рис. 6.17, а) зі збільшенням 16^x. У полі зору лупи розташовані пряма та зворотна мінутні шкали з ціною поділки 5', тому в лупу одночасно видно частину градусної шкали і обидві мінутні шкали (рис. 6.17, б), освітлені через скло зі світлофільтром. Рухому змінну лінійку (при звільненому кільці 4 з накаткою) можна переміщувати вздовж паза і повертати навколо своєї осі. Змінну лінійку закріплюють у корпусі в будь-якому положенні по її довжині за допомогою затискного пристрою 5. До кутоміра додається змінна підставка 7 з плоскою та призматичною робочими поверхнями. На нерухомій лінійці підставка фіксується гвинтом зі встановленим у паз лінійки вкладишем.

При вимірюванні кута змінну лінійку вставляють у виріз основи і закріплюють поворотом затискного важеля в зручному для вимірювання положенні. Поворотом

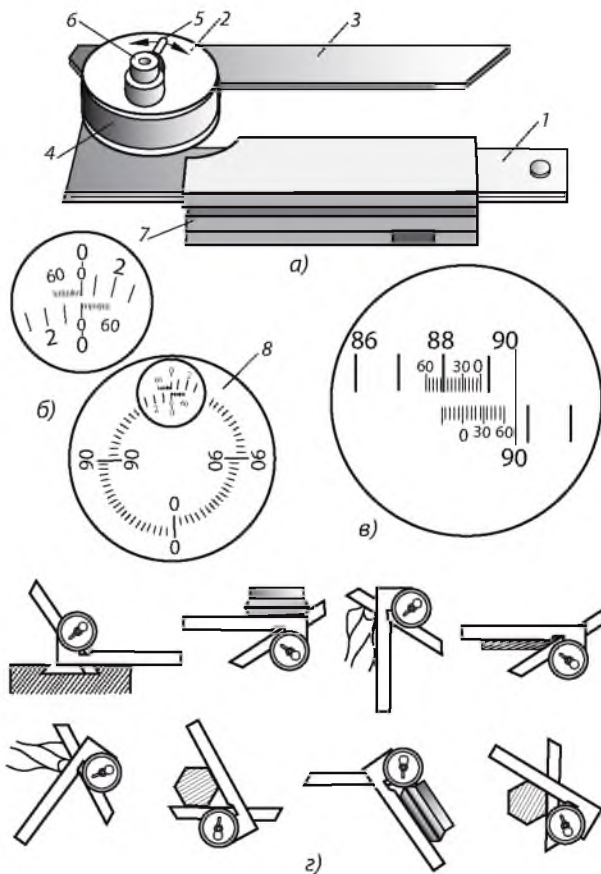


Рис. 6.17. Оптичний кутомір (а), його шкали (б, в) і приклади вимірювання кутів (z)

затискного кільця 4 проти годинникової стрілки звільняють кутовий затискач лінійок. Прикладають грань нерухомої лінійки 1 до сторони вимірюваного кута. Підводять грань рухомої лінійки 3 до іншої сторони вимірюваного кута. Якість прилягання вимірювальних поверхонь кутоміра перевіряють на просвіт.

Поворотом затискного кільця за годинниковою стрілкою фіксують вимірюваний кут, а потім за допомогою лупи 6 відлічують його. Ціле число градусів відлічують за поділками штриха градусної шкали, що перетинає одну з двох мінутних шкал. Мінуту визначають за мінутною шкалою щодо штриха градусної шкали. На рис. 6.17, в відлік дорівнює $88^{\circ}45'$. Приклади вимірювання кутів наведено на рис. 6.17, г.

Оптична ділильна головка (ГОСТ 9016–77) надає можливість вимірювати кути повороту шпинделя щодо своєї осі або повороту корпусу головки щодо горизонталі. Її застосовують для контрольних-вимірювальних робіт, а також як пристосування на фрезерних, шліфувальних та інших верстатах, коли потрібно надати оброблюваній деталі точний кут повороту.

У промисловості застосовують значну кількість раніше випущених оптичних ділильних головок, наприклад, типу ОДГ-60 (рис. 6.18, а).

Корпус головки 2 (рис. 6.18, а) закріплено на литій станині 1 із поздовжнім напрямним пазом 3. На цій же станині встановлено центрову бабку 5 із піноллю, в отвір якої

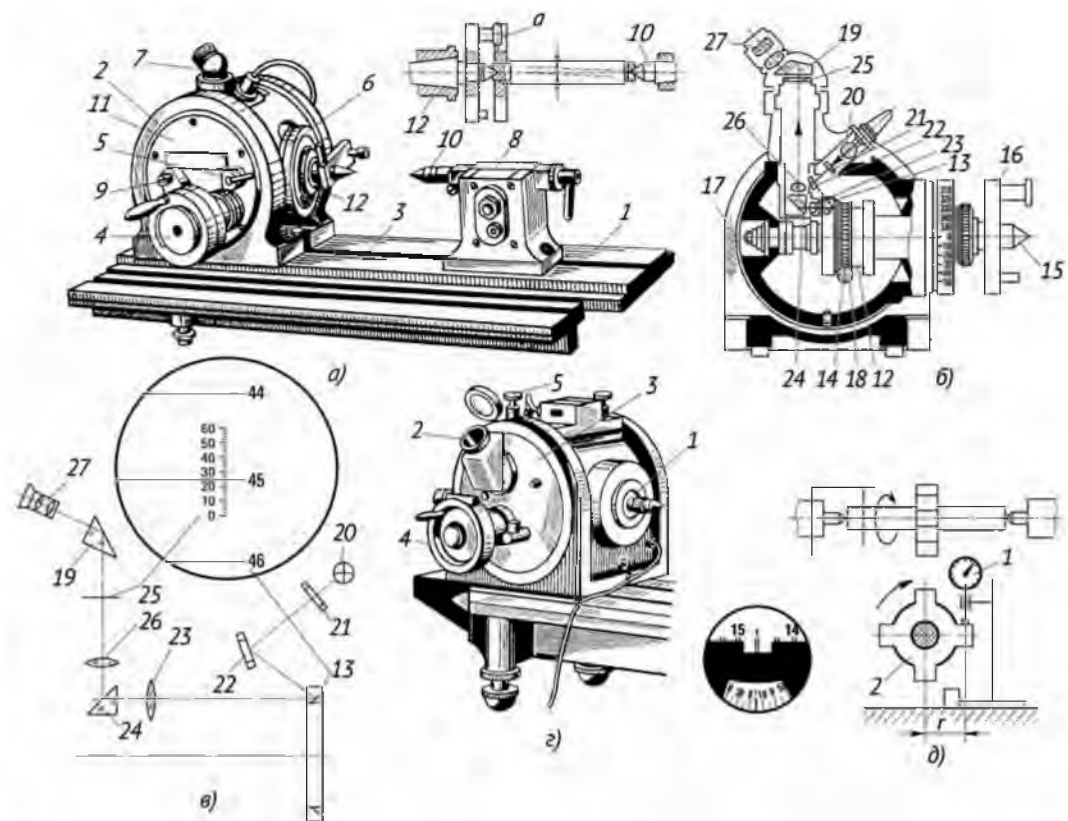


Рис. 6.18. Оптична ділильна головка типу ОДГ-60 (а), її будова (б) та оптична схема (в); ОДГЭ-5 (г); приклад вимірювання кутів (д)

вставляють центрову оправку 10. У підшипниках поворотного корпусу 11 головки розташований шпindel 12 (рис. 6.18, б), на якому укріплені скляний оптичний лімб 13 і черв'ячне колесо 14. На лімбі нанесено кутову шкалу з ціною поділки 1°. На кінці шпінделя 12 виконано внутрішній конус, у який вставляють оправку з конусом Морзе 4 з центром 15 і хомутиком 16. Шпindel головки може бути встановлений у будь-якому положенні (у межах 90°) від горизонтальної осі. Для цього звільняють болти 17.

У нижній частині корпусу розміщений черв'як 18 на одній осі з маховиком 4 (рис. 6.18, а). Черв'як знаходиться в зачепленні з черв'ячним колесом 14 (рис. 6.18, б). При обертанні черв'яка обертання передається шпінделю 12. Якщо вивести черв'як із зачеплення за допомогою повідця 9 (рис. 6.18, а), то можна швидко повернути шпindel на будь-який кут рукою за лімб 6 грубого установа. Положення шпінделя фіксується рукояткою 5 кільцевого гальма. При включенні черв'яка необхідно одночасно обертати маховик 4, щоб зчеплення відбулося плавно. Відлік кутів проводять за шкалами, спостережуваними в окулярну головку 7. Оптичну схему головки представлено на рис. 6.18, в.

Пучок променів від джерела світла 20, пройшовши світлофільтр 21 і відбившись від дзеркала 22 (рис. 6.18, б та в), освітлює лімб 13. Зображення шкали розглядають через мікроскоп, що складається з лінз 23 та 26 об'єктива, призми 24 та 19, які змінюють напрям світлового потоку, і окуляра 27. У площині зображення поміщено мінутну шкалу 25. Вид шкал у полі зору мікроскопа показано на рис. 6.18, в.

У діляльних головках типу ОДГЭ, замість окулярного відлікового пристрою, застосовано відліковий екран.

Оптична діляльна головка ОДГЭ-5 (рис. 6.18, г) має встановлений на корпусі 3 відліковий екран 2, у полі зору якого видно кути повороту шпінделя 1. Для відліку градусних поділок та десятків мінут (з інтервалом 20') слугує нерухомий вертикальний показчик, розташований у верхній частині екрана. Десятки та одиниці секунд відлічують за вертикальним нерухомим показчиком, розташований у нижній частині екрана. При обертанні шпінделя 1 обертається лімб, тому на екрані з'явиться змінене зображення градусних поділок. Обертання шпінделя здійснюють маховиком 4. Шкалу компенсатора з ціною поділки 5" приводять у рух гвинтом 5. Наприклад, згідно з рис. 6.18, г, відлічуваний кут дорівнює сумі $15^{\circ}20'$ (за верхньою частиною екрана) і $8'15''$ (за його нижньою частиною), або $\alpha = 15^{\circ}28'15''$.

Перед вимірюванням кутів за допомогою оптичної діляльної головки типу ОДГ-60 перевіряють поєднання лінії центрів головки і задньої бабки з віссю обертання шпінделя. Із цією метою до оптичної головки додають спеціальне пристосування.

Перед початком роботи окулярну головку встановлюють на різкість зображення шкал у полі зору. При розмітці нульовий штрих лімба суміщають із нульовим штрихом мінутної шкали і затискають гальмо. Здійснюють першу робочу операцію, після чого звільняють гальмо і повертають шпindel на заданий кут. Знову затискають гальмо і виконують другу робочу операцію і т. д.

При вимірюванні кута розміщення зубів зубчастих коліс або шліцьових валів (рис. 6.18, д) на станину діляльної головки ставлять штатив з індикатором 1 годинникового типу. Індикатор настроюють на нуль при зіткненні із зубом (шліцом). Одночасно відлічують кут за оптичною шкалою діляльної головки. Потім маховиком повертають шпindel на кутовий крок так, щоб вимірювальний наконечник індикатора перемістився на сусідній зуб, а індикатор знову показав би нуль. Знову здійснюють

відлік за шкалами окулярної головки. Різниця двох відліків за окулярною головкою дорівнює кутовому кроку. Аналогічно вимірюють усі інші кутові кроки.

Відхилення кута розміщення зубів шліцьового вала можна визначити за іншою методикою. Після установа індикатора годинникового типу на нуль маховиком повертають шпindel на кут, відповідний одному кроку, і відлічують показання за шкалою індикатора годинникового типу. Різниця відліків за індикатором – відхилення кута на радіусі r .

Пневматичні прилади для контролю конусів. Використовують пневматичні прилади для вимірювання відхилення кута внутрішнього конуса (мод. 307) та кута зовнішнього конуса (мод. 308). Прилади призначені для контролю конусів 30, 35, 40, 45, 50, 55 та 60 із конусністю 7:24 ступенів точності АТ4 та АТ5. Прилади застосовують для вимірювання кінців оправок різального інструменту для свердувальних, розточувальних та фрезерувальних верстатів із ЧПК. Залежно від контролюваного конуса прилад має сім варіантів виконання.

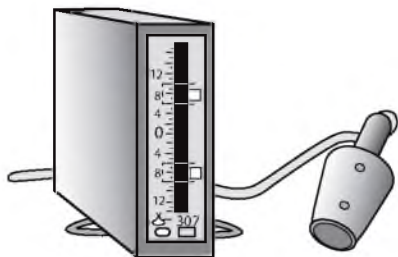


Рис. 6.19. Пневматичний прилад мод. 307

Принцип дії приладів ґрунтується на застосуванні пневматичних калібрів-пробок та калібрів-кілець. У цих калібрах є дві пари незалежних вимірювальних сопел, розміщених в одній осевій

площині (рис. 6.19) на відстані, нормованій ГОСТом 15945–82. Пневматичні калібри приєднано до пневматичного відлікового пристрою диференціального типу, аналогічного пневматичному приладу мод. 318 (див. підрозділ 2.6). У відліковому пристрої здійснюється зіставлення виміряних діаметрів конуса. Відхилення кута від настроєного за встановлювальною мірою визначають за шкалою відлікового пристрою.

Прилади настроюють перед вимірюванням за зразковими встановлювальними конусами-пробками та конусами-втулками.

Прилад мод. БВ-6166 призначено для вимірювання кута конуса і відхилення від прямолінійності зовнішніх та внутрішніх конічних поверхонь, твірних, у тому числі конусів Морзе і конусів із конусністю 7:24. На столі встановлено синусну лінійку, поворот якої до 20° здійснюють за допомогою рукоятки. Стіл переміщують за допомогою аеростатичних напрямних. На вимірювальному пристрої можуть бути встановлені важелі з передавальним відношенням 2:1 або 1:1, що дозволяє вимірювати внутрішні конуси з діаметром відповідно 14 та 6,5 мм. Показання відлічують за електронним пристроєм, сполученим з індуктивним перетворювачем, на який впливає важіль. Прилад забезпечений пневматичним блоком живлення для роботи з пневматичними перетворювачами.

6.3.4. Непрямі методи вимірювання кутів та конусів

Непрямі методи вимірювання кутів та конусів зводяться до вимірювання лінійних розмірів і розрахунку шуканого кута з використанням тригонометричних функцій. Вимірюють лінійні розміри (тобто сторони) прямокутного трикутника, одним із гострих кутів якого є вимірюваний кут. Кут трикутника визначають за допомогою таблиць тригонометричних функцій.

Цей метод часто називають тригонометричним. Його можна назвати і координатним, оскільки при вимірюванні визначають координати точок, що створюють трикутник.

Розглянемо вимірювання кута конуса на інструментальному мікроскопі (рис. 6.20, а). Конусний калібр встановлюють у центрах на столі мікроскопа. Вимірюють значення більшого D , меншого d діаметрів і довжину l конусної частини, суміщаючи середню вертикальну штрихову лінію сітки з одним та другим краями конусного калібру.

Кут конуса визначають за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{2L}.$$

Кут конуса α можна виміряти також за допомогою двох каліброваних кілець (рис. 6.20, б), що поміщаються на конус. Розмір l вимірюють універсально-вимірювальними засобами. Значення кута α визначають за вищенаведеною формулою.

Кути внутрішніх конусів вимірюють за допомогою двох каліброваних кульок відомих діаметрів і оптичного довжиноміра або індикаторного глибиноміра (рис. 6.20, в). У конічний отвір по черзі закладають кульки діаметрами d та D . Вимірюють положення кульок (розміри A та a). Кут внутрішнього конуса знаходять за формулою:

$$\sin \alpha = \frac{D - d}{2l} = \frac{D - d}{2(A - a) - (D - d)},$$

$$l = (A - a) - \frac{D - d}{2}.$$

Залежно від вимірюваних лінійних параметрів кутів та конусів і використовуваної згодом тригонометричної функції вимірювання можуть бути синусні і тангенсні.

Їх приклади розглянемо нижче, а поки ознайомимося із засобами для непрямих вимірювань. Основними засобами для вимірювання кутів цим методом є синусні і тангенсні лінійки. Проте на практиці застосовують тільки синусні лінійки (ГОСТ 4046–80).

Синусна лінійка є спеціальним пристосуванням для вимірювання зовнішніх кутів від 0 до 45° непрямым (тригонометричним) методом, а також для установлення виробів на металорізальних верстатах під заданим кутом. Їх виготовляють таких типів: АС – без опорної плити з одним нахилом (рис. 6.21, а та б); АСО – з опорною плитою з одним нахилом (рис. 6.21, в); АСД – з опорною плитою з двома нахилами (рис. 6.21, г). Синусні лінійки виготовляють двох класів точності (1 та 2).

Синусна лінійка типу АС має столик 1 (рис. 6.21, а та б) із двома прикріпленими до нього циліндричними роликами 2, відстань між осями яких витримано з великою точністю. До плити за допомогою гвинтів 3 (рис. 6.21, б) прикріплено передні та бічні планки 4, призначені для утримання контрольованих виробів на плиті. Виріб на плиті закріплюють за допомогою струбцин із гвинтами.

Синусні лінійки типу АСО та АСД забезпечені опорною плитою із шарніром 5 (рис. 6.21, в та г). Лінійки типу АСД дають змогу здійснювати вимірювання у двох взаємно перпендикулярних напрямках із високою точністю.

Вимірюваний виріб закріплюють на столику за допомогою струбцин і гвинтів. Синусну лінійку з виробом встановлюють на повірочну плиту класу 1. На цю ж плиту

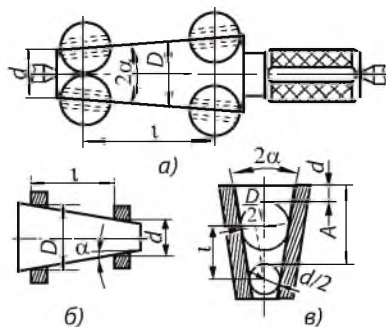


Рис. 6.20. Координатний спосіб вимірювання кута:

а – на інструментальному мікроскопі; б та в – за допомогою каліброваних кілець, кульок і вимірювальних приладів

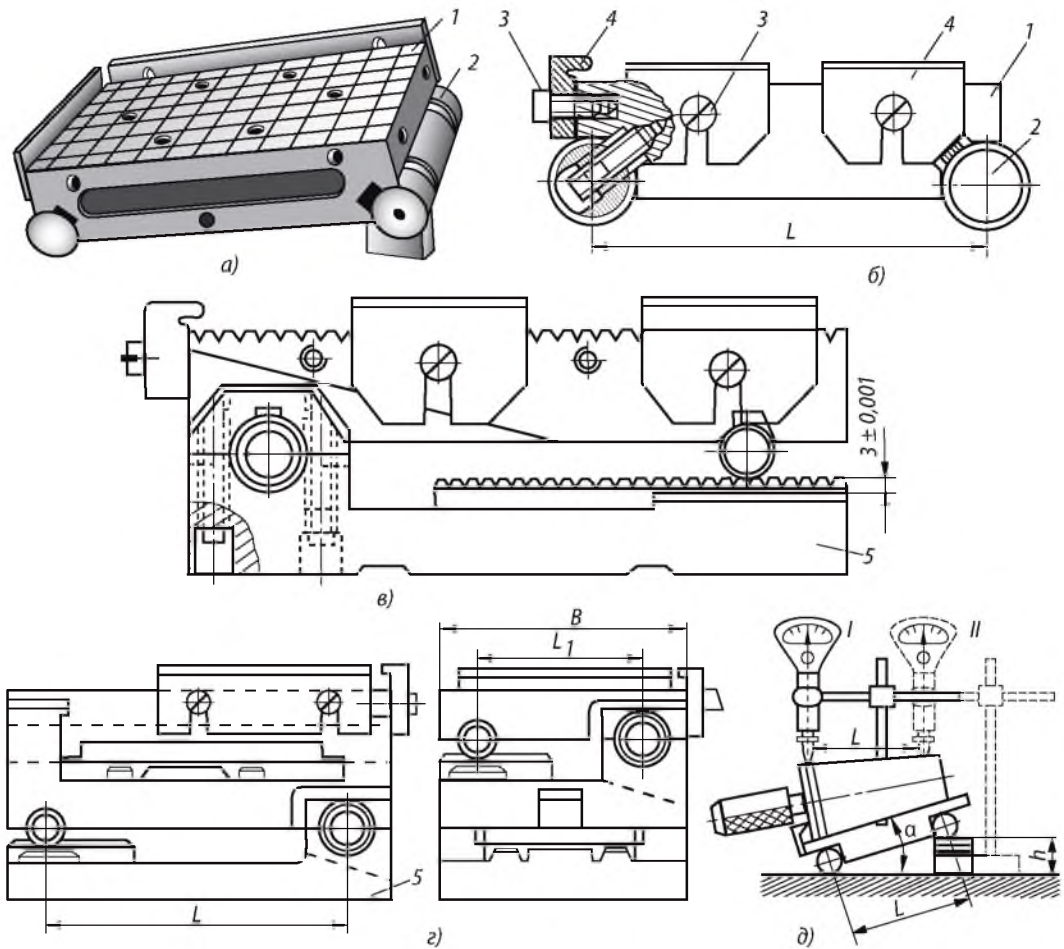


Рис. 6.21. Синусні лінійки:

АС (а), АСО (б), АСД (в, г); приклад вимірювання кута конуса (д)

ставлять стояк із вимірювальною головкою (рис. 6.21, д). Під один із роликів лінійки підкладають блок ПКМД, що розраховується за рівнянням:

$$h = L \sin \alpha,$$

де h – розмір блоку ПКМД; L – відстань між осями роликів синусної лінійки; α – кут установлення лінійки або номінальний кут виробу.

Вимірювальну головку в положенні I (рис. 6.21, д та рис. 6.22, а) настроюють на нульову відмітку. Потім її переміщують у положення II. Відхилення від нульової відмітки вимірювальної головки може мати місце в тому випадку, якщо вимірюваний кут виробу, наприклад, конусного калібру, відрізняється від номінального значення. У цьому випадку змінюють розмір блоку ПКМД, досягаючи однакових показань вимірювальної головки в положеннях I та II. Значення дійсного кута виробу знаходять за наведеним рівнянням і за таблицями тригонометричних функцій; $\sin \alpha = h/L$. Похибка кута – різниця номінального та дійсного кутів виробу.

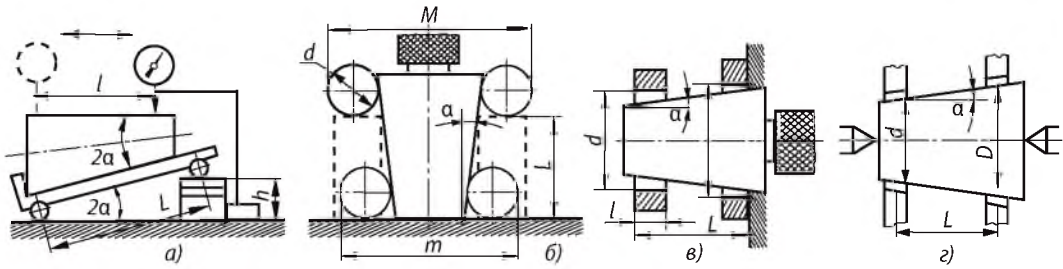


Рис. 6.22. Вимірювання кута зовнішнього конуса

На рис. 6.22 (б, в, г) наведено приклади тангенсних схем вимірювання кута зовнішнього конуса за допомогою атестованих роликів і двох кінцевих мір розміром L (рис. 6.22, б). Вимірювання кута можна проводити за допомогою двох каліброваних кілець (рис. 6.22, в) або на універсальному мікроскопі за допомогою плоских ножів (рис. 6.22, г). Ці схеми зводяться до визначення діаметра конуса у двох нормальних перерізах і відстані між цими перерізами.

Використовуючи позначення на схемах, формули для розрахунку значення кута або половини кута конуса матимуть вигляд: $\sin 2\alpha = h/L$ (рис. 6.22, а); $\operatorname{tg} \alpha = (M - m)/(2L)$ (рис. 6.22, б); $\operatorname{tg} \alpha = (D - d)/[2(L - l)]$ (рис. 6.22, в); $\operatorname{tg} \alpha = (D - d)/(2L)$ (рис. 6.22, г).

На рис. 6.23, а, б показано два варіанти вимірювання внутрішнього конуса: кута β (рис. 6.23, а), кута між твірними конуса 2α (рис. 6.23, б). Розрахунок значення кута аналогічний розглянутому вище прикладу для зовнішнього конуса.

Вимірювання внутрішніх конусів часто проводять непрямим методом із застосуванням атестованих кульок і дротів. На рис. 6.23, в показано синусну схему вимірювання внутрішнього конуса за допомогою атестованих кульок із діаметрами D та d . Вимірюючи відстань між поверхнями кульок і торцем конуса, визначають відстань між центрами кульок, а діаметри перерізу конуса приймають рівними діаметрам кульок. У синусній схемі (рис. 6.23, г) використано кульки з рівними діаметрами і атестований дріт. За допомогою вимірювання лінійних розмірів H , h та l , знаючи діаметр d кульок

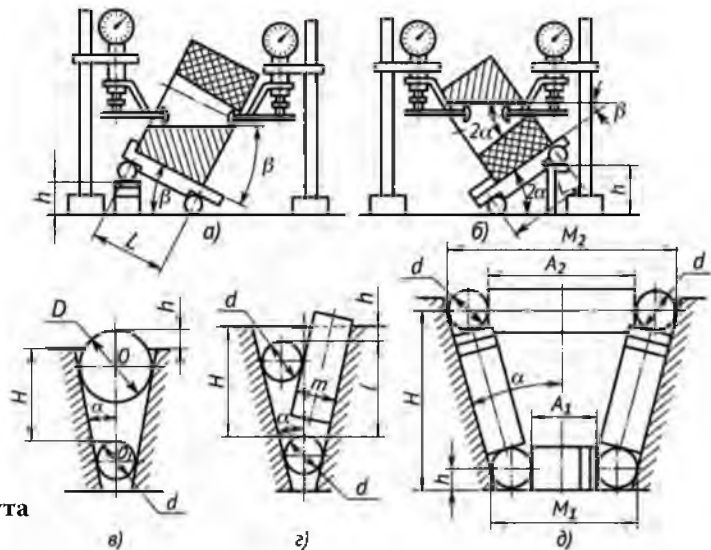


Рис. 6.23. Вимірювання кута внутрішнього конуса

та m дроту, визначають відстань між перерізами і діаметри в цих перерізах. У схемі (рис. 6.23, д) використовуються чотири атестовані кульки і дроти. Вимірювання зводиться до визначення розмірів M_1 та M_2 перерізів і відстані між ними. Розрахункові формули для визначення кута внутрішнього конуса залежно від схеми вимірювання:

$$\sin \alpha = \frac{D - d}{2(H + h) - (D - d)} \quad (\text{рис. 6.23, в});$$

$$\sin \alpha = \frac{m}{2(H - h)} \quad (\text{рис. 6.23, з});$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M_2 - M_1}{2(H - h)} \quad (\text{рис. 6.23, д}).$$

6.3.5. Рівні

Рівні призначені для вимірювання нахилу плоских і циліндричних поверхонь виробів щодо горизонтальної та вертикальної площини, а також для контролю відхилень від прямолінійності і площинності.

Основним елементом рівня є ампула (рис. 6.24, в), що закріплена в корпусі приладу. Вона є скляною трубкою, внутрішня поверхня якої зігнута по дузі великого радіуса. Трубку заповнюють рідиною (етиловим спиртом, ефіром та ін.), і обидва кінці її запаюють. Усередині ампули залишають невелику кількість повітря, що утворює витягнуту в довжину бульбашку, яка прагне зайняти найвище положення. Поверхня рідини, що міститься в ампулі, завжди займатиме строго горизонтальне положення. При нахилі ампули нанесена на її поверхні шкала переміщуватиметься щодо бульбашки, яка знаходиться завжди у найвищій точці.

Штрих у центрі шкали, відносно якого бульбашка встановлюється симетрично за горизонтального положення основи, називається пунктом нуля.

Ціна поділки шкали рівня виражається в секундах, хвилинах або в міліметрах перепаду висоти на довжині одного метра. Ампули (залежно від ціни поділки) поділяють на такі види: малої точності – ціна поділки понад 1', середньої точності – 1'–2" та високої точності – до 2". Інтервал поділки шкал, що нанесені на зовнішню поверхню ампул, становить 2 мм. Радіус внутрішньої поверхні ампули залежить від ціни поділки.

За конструкцією ампули ділять на такі типи:

- АК – круглі сферичні ампули малої точності. Шкалу виконано у вигляді концентричних кіл. Показчиком слугує край бульбашки;
- АЦП – циліндричні прості ампули малої та середньої точності зі штриховою шкалою або перехрестям усередині замість шкали. Відлік беруть за одним із країв бульбашки;

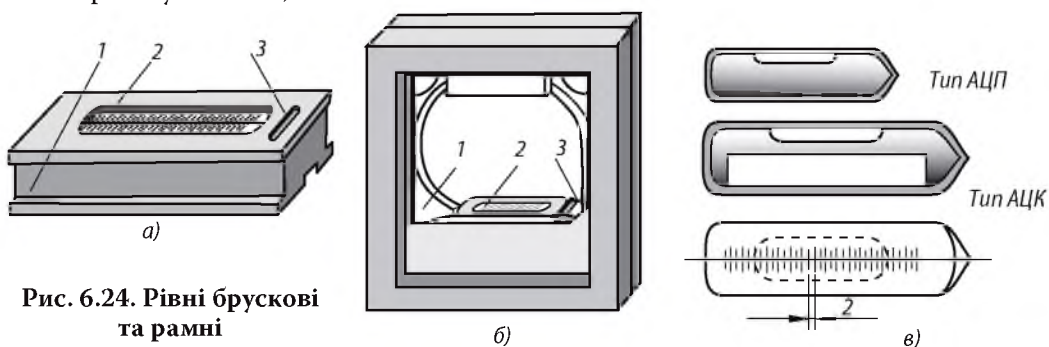


Рис. 6.24. Рівні брусків та рамні

- АЦК – циліндричні компенсовані ампули. Усередину ампули поміщено скляну запаяну трубку, яка зменшує кількість рідини в ампулі і зменшує зміну довжини бульбашки при зміні температури. Відлік беруть за одним із країв бульбашки;
- АЦР – циліндричні камерні ампули з регульованою довжиною бульбашки. Відлік ведуть також за одним із країв бульбашки.

У процесі складальних або ремонтних робіт користуються окремими типами технічних рівнів, до яких належать установлювальні, брускові та рамні рівні. Установлювальні рівні, де використовуються в основному ампули типу АК і рідше АЦП, призначено для контролю правильності установлення станин та основ приладів у горизонтальне положення. Ці рівні кріплять стаціонарно на прилади.

На рис. 6.24, *а, б* показано брусковий та рамні рівні, основними елементами яких є корпус 1, основна (поздовжня) шкала 2 та поперечна (установлювальна) шкала 3.

Брускові рівні (рис. 6.24, *а*) призначено для контролю горизонтального положення поверхонь при складанні, ремонті або перевірці точності верстатів, приладів та іншого устаткування. За конструкцією рівні поділяють на регульовані (мод. 110 та 117) і нерегульовані (мод. 112).

Рамні рівні (рис. 6.24, *б*) використовують для контролю як горизонтального, так і вертикального розташування поверхонь під час монтажу і перевірки точності верстатів та іншого устаткування.

Відповідно до ГОСТу 9392–75 рамні та брускові рівні випускають із робочою довжиною основи 100, 150 та 200 мм. На вимогу замовника довжина основи може бути збільшена до 250 мм.

Рівні з мікрометричною подачею ампули згідно з ГОСТом 11196–74 випускають двох типів: із ціною поділки 2" (0,01 мм/м), із межами вимірювань не менше $\pm 1^{\circ}43'$ (± 30 мм/м).

На рис. 6.25 наведено схему мікрометричного рівня мод. 107. Регульовану ампулу 1 підвішено на плоских пружинах 6. Одним кінцем вона спирається на важіль 8, який мікрогвинтом 5 може повертатися навколо осі 7 і міняти положення корпусу з ампулою 1 по відношенню до основи приладу. Над ампулою розміщується оптична система, що складається з лупи 2 і двох призм 3, які зводять зображення кінців бульбашки рівня в одне поле зору. Результат вимірювання відлічують за лімбом 4 мікрогвинта. Поряд із лімбом встановлено лічильник числа обертів мікрогвинта (на схемі не показаний). При горизонтальному положенні основи рівня зображення кінців бульбашки ампули мають збігатися, лімб і лічильник обертів – перебувати у нульовому положенні. При вимірюванні мікрогвинтом 5 суміщають зображення і за лімбом відлічують кут відхилення площини, яку перевіряють, від горизонталі.

Ціна поділки шкали лімба 0,01 мм/м, ціна поділки лічильника обертів 1 мм/м, межі вимірювання ± 10 мм/м.

Ампули можуть застосовуватися в кутимірних приладах як відліковий пристрій.

На рис. 6.26 показано квадрант, призначений для вимірювань кута нахилу плоских та циліндричних поверхонь або для установлення їх під необхідним кутом до лінії горизонту. Прилад має основу 9 із поздовжнім призматичним пазом для установлення на циліндричну поверхню. На основі закріплено корпус 4, в якому змонтовано скляний лімб зі шкалою, що має ціну поділки 1°. Показання з лімба можна знімати за допомогою

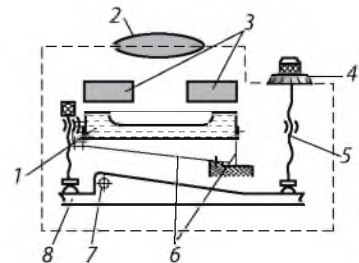


Рис. 6.25. Схема мікрометричного рівня

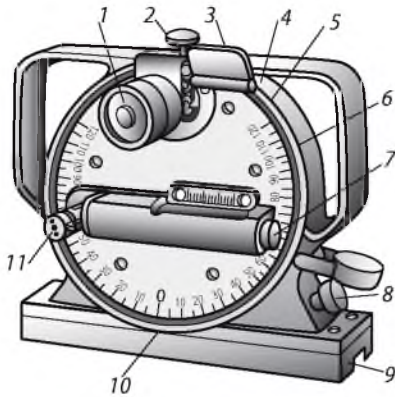


Рис. 6.26. Квадрант

орієнтовно середнього положення. Після цього, зафіксувавши диск стопором 2, мікрогвинтом 8 остаточно виставляють бульбашку поздовжнього рівня в положення нуля-пункт. Далі за відліковим пристроєм мікроскопа 1 знімають відлік кута нахилу вимірюваної поверхні.

Установлення поверхні на необхідний кут до горизонталі проводять у зворотному порядку. Спочатку квадрант виставляють на заданий кут вищеописаним способом. Потім ставлять його основою на встановлювану поверхню і повертають її доти, доки бульбашка поздовжнього рівня не займе положення пункту нуля.

Для зручності відліку з поздовжнього рівня 7 прилад оснащено дзеркалом 3.

Згідно з ГОСТом 14967–80 виготовляють чотири типи квадрантів: КО-2, КО-10 та КО-30, що мають відповідно ціну поділок відлікового мікроскопа 2, 5, 10 та 30". Межі допустимої похибки квадрантів, як правило, не перевищують ціни поділки.

Перевірку всіх розглянутих рівнів проводять із метою визначення правильності установлення в нульове положення і ціни поділки.

Правильність установлення рівня в нульове положення перевіряють на плиті з упором, що займає приблизно горизонтальне положення. Рівень встановлюють на плиту до упору і знімають за шкалою перший відлік. Потім рівень повертають на 180° навколо вертикальної осі, ставлять у те саме положення до упору і знімають другий відлік. За похибку установлення рівня в нульове положення приймають напіврізницю першого та другого відліків. Допустимим вважається відхилення, що становить 0,25 інтервалу шкали (0,5 мм) ампули.

Ціну поділки рівня перевіряють на екзаменаторах (рис. 6.27). Рівень або окремо ампулу 2 встановлюють на робочу поверхню планки 1 екзаменатора. Потім диференціальним гвинтом 4 здійснюють нахил планки так, щоб край бульбашки послідовно поєднувався зі штрихами шкали. Відліки при цьому знімають із вимірювальної головки 3. Вимірювання проводять при прямому та зворотному переміщеннях бульбашки і за результат приймають середнє арифметичне. Потім виконують ті ж операції, переміщуючи інший кінець бульбашки.

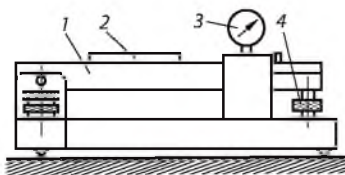


Рис. 6.27. Екзаменатор

відлікового мікроскопа 1. Мікроскоп і лімба за побудовою не відрізняються від відомої окулярної кутомірної головки. Зовні корпусу встановлено диск 5 зі шкалою 6, що дозволяє здійснювати приблизний відлік кута повороту мікроскопа відносно лімба. Відлік зі шкали 6 знімають відносно нерухомого покажчика 10. Диск 5 фіксують у потрібному положенні стопором 2. На зовнішньому диску зі шкалою укріплено основний поздовжній рівень 7 та поперечний установлювальний рівень 11. Ціна поділки поздовжнього рівня 30", а поперечного – 2'.

Вимірювання проводять таким чином. Квадрант установлюють основою на вимірювану поверхню. Відпустивши стопорний гвинт, повертають диск 5 доти, поки бульбашка поздовжнього рівня не займе

положення пункту нуля.

Після цього, зафіксувавши диск стопором 2, мікрогвинтом 8 остаточно виставляють бульбашку поздовжнього рівня в положення нуля-пункт.

Потім ставлять його основою на встановлювану поверхню і повертають її доти, доки бульбашка поздовжнього рівня не займе положення пункту нуля.

Для зручності відліку з поздовжнього рівня 7 прилад оснащено дзеркалом 3.

Згідно з ГОСТом 14967–80 виготовляють чотири типи квадрантів: КО-2, КО-10 та КО-30, що мають відповідно ціну поділок відлікового мікроскопа 2, 5, 10 та 30". Межі допустимої похибки квадрантів, як правило, не перевищують ціни поділки.

Перевірку всіх розглянутих рівнів проводять із метою визначення правильності установлення в нульове положення і ціни поділки.

Правильність установлення рівня в нульове положення перевіряють на плиті з упором, що займає приблизно горизонтальне положення. Рівень встановлюють на плиту до упору і знімають за шкалою перший відлік. Потім рівень повертають на 180° навколо вертикальної осі, ставлять у те саме положення до упору і знімають другий відлік. За похибку установлення рівня в нульове положення приймають напіврізницю першого та другого відліків. Допустимим вважається відхилення, що становить 0,25 інтервалу шкали (0,5 мм) ампули.

Ціну поділки рівня перевіряють на екзаменаторах (рис. 6.27). Рівень або окремо ампулу 2 встановлюють на робочу поверхню планки 1 екзаменатора. Потім диференціальним гвинтом 4 здійснюють нахил планки так, щоб край бульбашки послідовно поєднувався зі штрихами шкали. Відліки при цьому знімають із вимірювальної головки 3. Вимірювання проводять при прямому та зворотному переміщеннях бульбашки і за результат приймають середнє арифметичне. Потім виконують ті ж операції, переміщуючи інший кінець бульбашки.

Результатом перевірки ціни поділки є середнє значення ціни поділки, визначене за обома кінцями

бульбашки при прямому та зворотному переміщеннях.

У **гідростатичному рівні** (ТУ 2-034–75) використовують властивість сполучених посудин. Рівень складається з двох або кількох вимірювальних головок (рис. 6.28), сполучених між собою повітряними 1 та рідинними 2 гнучкими трубопроводами. Корпус 3 головки – з бронзи; у ньому закріплено скляну посудину 5, заповнену водою. У кришці 4 гідростатичного рівня встановлено мікрометричний глибиномір. Скляна посудина дозволяє бачити рівень рідини в головці і кінець мікрометричного гвинта 6 глибиноміра. Рівень рідини визначають за торканням до неї кінця мікрометричного гвинта. Показання відлічують за шкалами барабана 8 та стебла 7 мікрометричного глибиноміра. Сполучені через повітряні трубопроводи вимірювальні головки утворюють повітряну систему з однаковим тиском повітря.

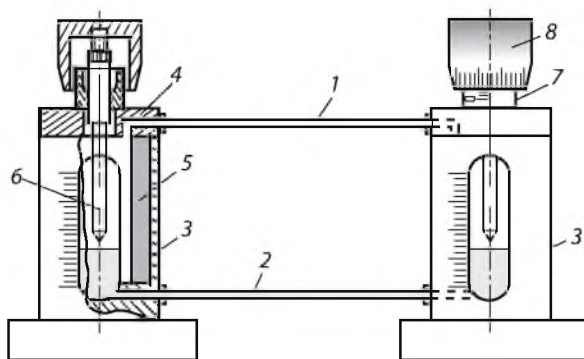


Рис. 6.28. Гідростатичний рівень

У процесі вимірювання одна з вимірювальних головок розміщується в початковій точці вимірювальної поверхні, а інша головка – в наміченій точці вимірювання. Унаслідок відхилення від прямолінійності контрольованої поверхні рівень рідини в другій головці зміниться. Різниця відліків за обома головками – відхилення від прямолінійності наміченої точки вимірювання від початкової (рис. 6.28).

Електронний рівень мод. 128 призначено для вимірювання кутів нахилу контрольованої поверхні щодо горизонтальної площини. Одночасне застосування двох рівнів дає можливість проводити диференціальні вимірювання.

Електронний рівень складається з перетворювача 1 (рис. 6.29, а) та електронного блоку 6 із цифровим табло. Перетворювач має закріплену всередині корпусу рамку, що розгойдується на дротяному підвісі. Положення рамки залежить від кута нахилу, вимірюваного рівнем, і реєструється індуктивним перетворювачем, якір якого закріплено у розгойдуваній рамці, а статор (дві феритові чашки із сердечниками та котушками) розміщено у корпусі. У вимірювальний механізм перетворювача вбудовано магнітно-електричну систему, призначену для силової дії на рамку.

Сигнал з індуктивного перетворювача подається по кабелю зв'язку на електронний блок із системою автоматичного регулювання, яка забезпечує постійність положення рамки щодо корпусу перетворювача, встановленого на вимірювану поверхню.

При нахилі корпусу перетворювача на рамку діє тангенціальна складова сили тяжіння, пропорційна куту нахилу. Цю силу компенсує сила електромагнітного поля, що створюється пристроєм магнітно-електричної системи, котушка якої включена в коло зворотного зв'язку системи автоматичного регулювання.

Сила електромагнітного поля пропорційна струму, який проходить через котушку і пропорційний куту нахилу вимірюваної поверхні щодо горизонтальної площини та слугує для подальшого перетворення й відліку цього кута.

Структурну схему електронного рівня наведено на рис. 6.29, б. Генератор Г із частотою 10 кГц живить індуктивний перетворювач П рівня і фазовий демодулятор пристрою автоматичного регулювання ПАР, призначеного для посилення сигналу від пе-

7.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ

Нарізні з'єднання поділяються на два різновиди, які виконують різні функції: різні нерухомі з'єднання болтами та гайками або гвинтами та шпильками, що закручуються у нарізні гнізда сполучених деталей; рухомі з'єднання – передачі «гвинт – гайка», що перетворюють обертальний рух у поступальний (іноді з отриманням повільного руху і великого виграшу в силі). Завдяки відносній простоті й компактності нарізних з'єднань частка деталей із різь в машинах перевищує 60 %. Різь – це гвинтові канавки на циліндричних (циліндрична різь) або конічних (конічна різь) деталях, причому форма канавок визначається встановленим профілем різі в осьовому перерізі.

За формою осьового профілю різі можна поділити на п'ять основних різновидів: метричні трикутного вихідного профілю (рис. 7.1, а), трапецеїдальні одно- та багатозахідні (рис. 7.1, б), упорні та упорні підсилені пилкоподібного профілю (рис. 7.1, в), конічні метричні та трубні трикутні вихідного профілю, виконаного на конічній поверхні (рис. 7.1, г).

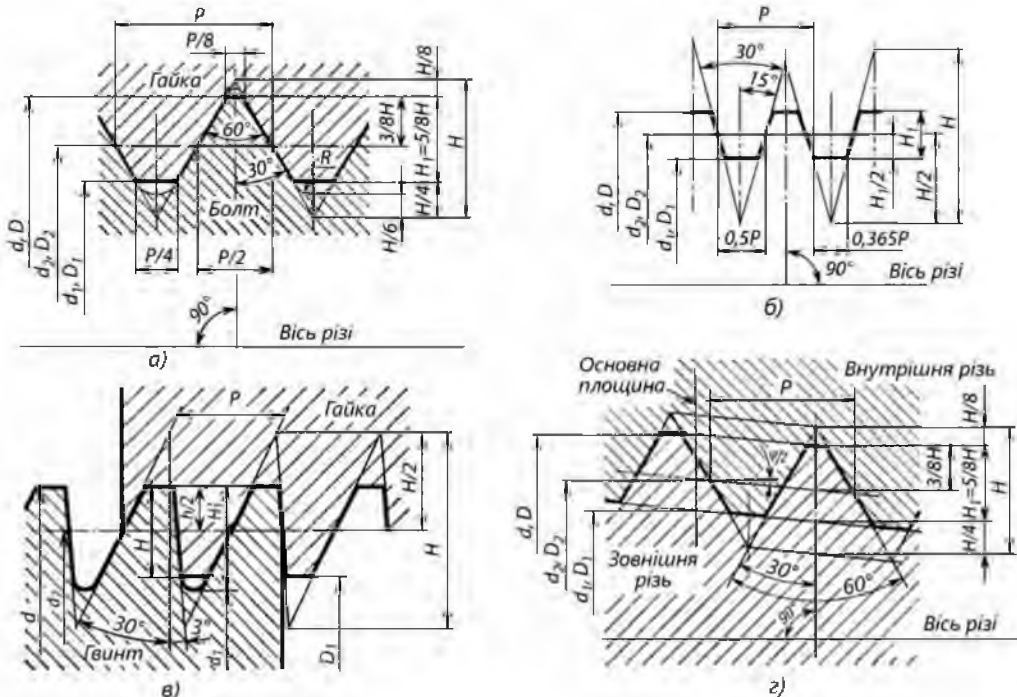


Рис. 7.1. Різь загального призначення

На рис. 7.1 показано, що ці профілі отримують за допомогою трикутників із висотою H . Вихідний трикутник метричної різі рівнобедрений із кутом профілю біля вершини $\alpha = 60^\circ$; вершину його зрізують на $H/8$ і основу на $H/4$. Для трапецеїдальної різі застосований також рівнобедрений трикутник із кутом профілю $\alpha = 30^\circ$, вершина і основа якого зрізані так, що робоча висота профілю дорівнює $H/2$. Упорна різь отримана з трикутника, кут між лівою стороною якого і перпендикуляром до осі різі становить 30° (у підсиленій різі 45°), а з правого боку – 3° (рис. 7.1, в).

Вихідний трикутник метричної конічної різі такий, як у метричної циліндричної (кут профілю трубної конічної різі $\alpha = 55^\circ$), а його бісектриса перпендикулярна до осі різі, що дозволяє згвинчувати різь із циліндричною різзю. Ця різь нарізана на конічній поверхні з конусністю 1:16, із кутом конуса $\phi = 3^\circ 34' 48''$ та кутом відхилення $\frac{\phi}{2} = 1^\circ 47' 24''$.

Найпоширенішою є метрична різь. Її основні геометричні параметри такі (рис. 7.1, а): зовнішній діаметр $d(D)$; внутрішній діаметр $d_1(D_1)$; середній діаметр $d_2(D_2)$; крок різі P ; кут профілю $\alpha = 60^\circ$. Вони мають визначені функціональні призначення. Малі літери вживають для позначення діаметрів зовнішньої різі, а великі – внутрішньої.

Номинальний профіль нарізки і розміри його елементів установлює ГОСТ 9150–81. Нормування діаметрів у діапазоні 0,25...600 мм і кроків від 0,075 до 6 мм здійснює ГОСТ 8724–81.

Діаметри і кроки різей для діаметрів 0,25–600 мм поділяються на три ряди. Перший ряд, який має близько 5 значень діаметра, складених (з округленням) у відповідності з рядом R10 переважних чисел, має перевагу перед другим рядом, а другий ряд – перед третім. При цих діаметрах кроки мають понад 30 значень (від 0,075 до 6 мм). Різі з діаметрами до 68 мм можуть бути виконані з великими та дрібними кроками. Завдяки округленням коефіцієнти подрібнення не мають сталих значень, наприклад, при $d = 68$ мм крок крупної різі становить 6 мм, а кроки дрібних різей – 4; 3; 2; 1,5 та 1 мм. На креслениках різей із крупним кроком проставляють літеру «М» і зовнішній діаметр у міліметрах, наприклад M12; для різей із дрібним кроком додатково вказують крок, наприклад M12×1, оскільки крок різі M12 із крупним кроком дорівнює $P = 1,75$ мм. Ліва різь позначається додатковими літерами LH, наприклад M12LH. В умовне позначення багатозахідної різі повинні входити числові значення ходу і в дужках літера P і числове значення кроку, наприклад M24×3 (P1).

Для різей із діаметрами від 3 до 8 мм на деталях із пластмас дозволяється використання різей з особливо крупними кроками, що перевищують у 1,5 разу крупні кроки.

Нерухомі з'єднання можуть бути із зазорами, з перехідними посадками і натягами за середнім діаметром. Різі із зазорами для нерухомих з'єднань виконують під антикорозійні покриття, а також для забезпечення швидкого і легкого складання – розбирання навіть за наявності корозії, забруднення або незначних пошкоджень, інколи ще для компенсації теплових деформацій. Різі з перехідними посадками і з натягами в основному використовуються як засіб запобігання самовідгвинчуванню шпильок із гнізд при вібраційних навантаженнях.

У рухомих з'єднаннях метричні різі, як правило, не використовують.

Для перехідних посадок, які не гарантують натягу, але призначені для розвантаження основного матеріалу деталі, рекомендують вживання додаткового елемента заклинення одним із трьох способів: конічного збігу різі (ділянка неповного профілю в

зоні переходу різі до рівної частини деталі), плоского бурту і циліндричної цапфи. Перший спосіб найбільш часто використовують у наскрізних та глухих отворах через його простоту, однак він не може бути рекомендований за високих динамічних навантажень. При другому способі, також уживаному в наскрізних та глухих отворах, площина заклинювання бурту повинна бути перпендикулярна до осі отвору, а діаметр бурту має бути не менший за $1,5d$. Третій спосіб використовується тільки в глухих отворах і має меншу гальмівну дію, ніж перші два способи. Діаметр циліндричної цапфи повинен бути менший за діаметр внутрішньої різі.

Номинальні діаметри зовнішньої (d) та внутрішньої (D) різей у нарізному з'єднанні дорівнюють одне одному.

При побудові номінального профілю різі використовують висоту H вихідного трикутника, яку обчислюють за формулою:

$$H = 0,5 \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} P = 0,86603 P. \quad (7.1)$$

Оскільки з вершини вихідного трикутника знімають $1/8$ і з основи $1/4$ висоти H , то в результаті робоча висота H_1 профілю дорівнює $H_1 = 5/8 H$, $H = 0,541 P$. У западині зовнішньої різі дозволяється закруглення радіуса R , причому найнижча точка закругленої западини розташована на відстані $H/6$ від основи вихідного трикутника. Іноді розглядають іще внутрішній діаметр зовнішньої різі у западинах:

$$d_3 = d - 2 \frac{17}{24} H = d - 1,22686 P.$$

Середній діаметр різі $d_2(D_2)$ – це діаметр співвісного з різью уявного циліндра, твірна якого перетинає профіль різі в точці, у якій ширина канавки дорівнює половині номінального значення кроку, тобто становить $P/2$. Цей діаметр дорівнює відстані між різнойменними (паралельними) боковими сторонами профілю сусідніх витків, що лежать по обидва боки від осі різі. Зовнішній діаметр d – це характерний конструктивний елемент, номінальне значення якого разом із вимогами до точності проставляють на креслениках; він визначає діаметр отвору під болт у деталях, які з'єднують, і може бути визначений у болта звичайними засобами вимірювань зовнішніх розмірів. Внутрішній діаметр d_1 і діаметр різі по западинах d_3 відіграють головну роль у співвідношенні міцності болтового з'єднання, бо вони визначають небезпечний переріз болта. Внутрішній діаметр дорівнює

$$d_1 = D_1 = d - 2 \frac{5}{8} H = d - 1,082532 P. \quad (7.2)$$

Крок різі P є основним кінематичним параметром рухомого з'єднання, оскільки його множення на число заходів різі дає хід різі, тобто величину осьового руху за один оберт гвинта.

Параметром різі, що визначає точність згвинчування болта з гайкою і тим самим – складальність як головний елемент взаємозамінності, є середній діаметр $d_2 = D_2$. Із рис. 7.1, a і формули (7.1) впливає співвідношення між середнім та зовнішнім діаметрами різі і кроком:

$$d_2 = d - \frac{6}{8} H = d - 0,649519 P. \quad (7.3)$$

Середній діаметр d_2 разом із кроком P та кутом профілю α визначають положення бокових сторін профілю (прямолінійних ділянок, що належать гвинтовим поверхням), по яких здійснюється контакт болта з гайкою при згвинчуванні. Діаметр d_2 до-

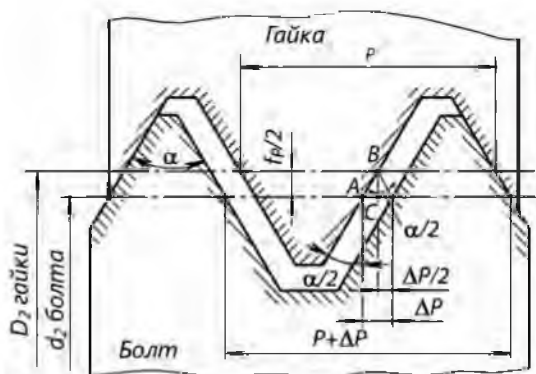


Рис. 7.2. Діаметральна компенсація похибки кроку метричної різі

зволяє певною мірою компенсувати похибки кроку і кута профілю, і його можна досить точно виміряти. Компенсацію абсолютної величини відхилення ΔP кроку в межах довжини згвинчування і відхилення $\Delta \frac{\alpha}{2}$ половини кута профілю (середнє арифметичне значення абсолютних величин відхилення обох половин кута профілю) здійснюють за рахунок збільшення середнього діаметра гайки або зменшення середнього діаметра болта на такі величини:

$$f_p = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \Delta P = 1,732 \Delta P, \quad (7.4)$$

$$f_\alpha = 0,36 P \Delta \frac{\alpha}{2}. \quad (7.5)$$

Співвідношення (7.4) впливає безпосередньо з трикутника ABC (рис. 7.2), друге (7.5) – отримане аналогічно. Середній діаметр різі з поправкою на діаметральні компенсації похибок кроку і кута профілю називається сумарним (приведеним) середнім діаметром; він визначається співвідношенням:

$$D_\Sigma = d_2 \pm (f_p + f_\alpha), \quad (7.6)$$

де знак «+» перед дужкою відносять до зовнішньої різі, а знак «-» відносять до внутрішньої різі. Із цього ясно, що приведений середній діаметр дорівнює середньому діаметру уявної різі, яка не має похибок кроку й кута профілю і щільно з'єднується з дійсною різзю, що має такі ж самі похибки. Діаметр D_Σ є основним показником згвинчуваності болта з гайкою.

Допустимі відхилення від номінальних параметрів різі визначають граничні контури різі; в них повинні вписуватися дійсні контури нарізних виробів для забезпечення згвинчування зовнішньої різі з внутрішньою різзю по всій довжині.

7.2. СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ

Нарізні метричні з'єднання із зазорами, перехідні та з натягами. Для метричної різі за діаметрами d , d_2 , D_2 та D_1 встановлені допуски за ступенями точності 2, ..., 10. 9-й та 10-й ступені призначені тільки для різей пластмасових деталей, а 2-й ступінь вживається тільки в посадках із натягами (ГОСТ 4608–81). Допуски для внутрішнього діаметра d_1 різі і зовнішнього діаметра D внутрішньої різі не регламентовані. Допуски середніх діаметрів d_2 та D_2 різі є сумарними.

Деякі числові значення допусків різей наведені в таблицях 7.1–7.3.

У метричних нарізних з'єднаннях, як зазначено вище, отримують посадки тільки за середнім діаметром із зазорами (ГОСТ 16093–81), перехідні (ГОСТ 24834–81) і з натягами (ГОСТ 4608–81) за допомогою основних відхилень, аналогічних основним відхиленням гладких з'єднань ЄСДП.

Для d_1 встановлені тільки верхні відхилення, а для D – тільки нижні.

Для середнього діаметра і діаметра виступів (зовнішнього діаметра d зовнішньої різі або внутрішнього діаметра D_1 внутрішньої різі) встановлені основні відхилення зовнішньої різі c (тільки для d), d, e, f, g, h (у посадках із зазорами), jh, j, jk, m, n, p (у перехідних посадках) та r (у посадках із натягами, в яких використовуються також основні відхилення m та n) і основні відхилення внутрішньої різі C, D (тільки для D_1), E, F, G та H .

Положення полів допусків різі при посадках із зазорами і при ковзній посадці (основні відхилення h та H) показані на рис. 7.3. Із цього рисунка видно, що відхилення розраховують від номінального профілю по перпендикуляру до осі різі. Друге відхилення (неосновне) визначається так само, як і в гладких циліндричних з'єднаннях за формулами:

$$\begin{aligned} ei &= es - IT; \\ es &= ei + IT; \\ ES &= EI + IT; \\ EI &= ES - IT. \end{aligned}$$

Загальна схема положення полів допусків показана на рис. 7.4. Із рисунка видно, що наведені на схемі рекомендовані поля допусків різі розташовані аналогічно полям допусків гладких циліндричних основних з'єднань.

Позначення поля допуску діаметра різі складається із цифри (ступеня точності) та літери (основне відхилення). Наприклад, $4h; 6g; 6H$.

Позначення поля допуску різі складається з позначення поля допуску середнього діаметра, яке розміщене на першому місці, і позначення поля допуску діаметра виступів. Наприклад, $7h6g$ означає поле допуску $7g$ діаметра d_2 і поле допуску $6g$ діаметра d , а $5H6H$ означає поле допуску $5H$ діаметра D_2 і поле допуску $6H$ діаметра D_1 .

Якщо позначення поля допуску діаметра виступів збігається з позначенням поля допуску середнього діаметра, то воно в позначенні поля допуску різі не повторюється.

В умовному позначенні різі позначка поля допуску повинна слідувати за позначкою розміру різі. Наприклад, зовнішню різь із крупним кроком позначають $M12-6g$,

Таблиця 7.1. Допуски діаметрів d і D_1

Крок P , мм	Зовнішня різь			Внутрішня різь				
	Ступінь точності							
	4	6	8	4	5	6	7	8
	Допуск, мкм							
1	112	180	280	150	190	236	300	375
1,25	132	212	335	170	212	265	335	425
1,5	150	236	375	190	236	300	375	475
1,75	170	265	425	212	265	335	425	530
2	180	280	450	236	300	375	475	600
2,5	212	335	530	280	355	450	560	710

Таблиця 7.2. Допуски діаметра d_2

Номінальний діаметр різі d , мм	Крок P , мм	Ступінь точності					
		3	4	5	6	7	8
		Допуск T_{d2} , мкм					
Від 5,6 до 11,2	1	56	71	90	112	140	180
	1,25	60	75	95	118	150	190
	1,5	67	85	106	132	170	212
Від 11,2 до 22,4	1	60	75	95	118	150	190
	1,25	67	85	106	132	170	212
	1,5	71	90	112	140	180	224
	1,75	75	95	118	150	190	236
	2	80	100	125	160	200	250
2,5	85	106	132	170	212	265	

Таблиця 7.3. Допуски діаметра D_2

Номінальний діаметр різі d , мм	Крок P , мм	Ступінь точності					
		4	5	6	7	8	9
		Допуск T_{D2} , мкм					
Від 5,6 до 11,2	1	95	118	150	190	236	300
	1,25	100	125	160	200	250	315
	1,5	112	140	180	224	280	355
Від 11,2 до 22,4	1	100	125	160	200	250	315
	1,25	112	140	180	224	280	355
	1,5	118	150	190	236	300	375
	1,75	125	160	200	250	315	400
	2	132	170	212	265	335	425
2,5	140	180	224	280	355	450	

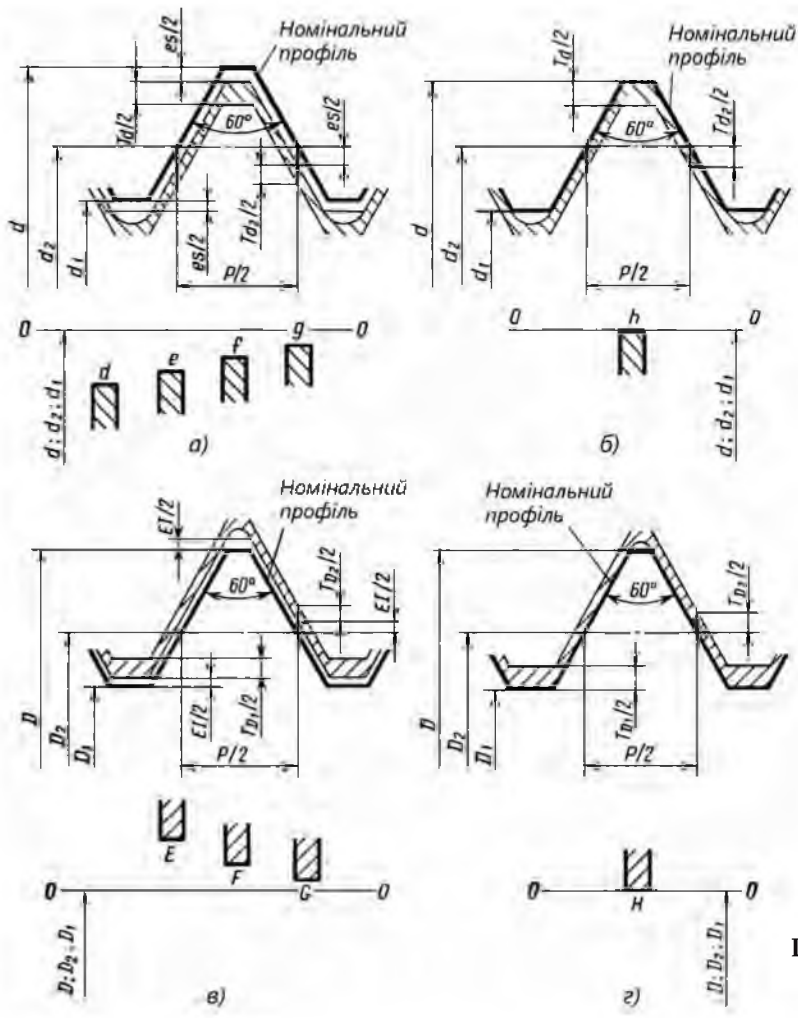


Рис. 7.3. Положення полів допусків метричної різі

Таблиця 7.4. Довжини згвинчування метричних різей із зазорами

Номинальний діаметр різі d , мм	Крок P , мм	Довжина згвинчування, мм		
		S	N	L
Від 5,6 до 11,2	1	До 3	Від 3 до 9	Більше 9
	1,25	» 4	» 4 » 12	» 12
	1,5	» 5	» 5 » 15	» 15
Від 11,2 до 22,4	1	До 3,8	Від 3,8 до 11	Більше 11
	1,25	» 4,5	» 4,5 » 13	» 13
	1,5	» 5,6	» 5,6 » 16	» 16
	1,75	» 6	» 6 » 18	» 18
	2	» 8	» 8 » 24	» 24
	2,5	» 10	» 10 » 30	» 30

а внутрішню – $M12-6H$, зовнішню різь із дрібним кроком вказують як $M12 \times 1-6g$ і внутрішню – $M12 \times 1-6H$.

Довжини згвинчування в посадках із зазорами поділяються на три групи: короткі S , нормальні N та довгі L (табл. 7.4).

Для кріпильної нарізки з крупним кроком (P від 0,2 до 6 мм) і номінальним діаметром нарізки 0,8...68 мм розміри збігів нарізки встановлює ГОСТ 27148-86.

Довжина згвинчування позначається на креслениках у міліметрах,

$P = 2$ мм) до $\pm 1,4$ мм ($d = 24...60$ мм, $P = 2$ мм) для зовнішньої різі та від $\pm 1,2$ мм до $\pm 1,8$ мм – для внутрішньої.

Зміщення основної площини є сумарним, воно містить у собі відхилення середнього діаметра, кроку, кута нахилу бокової сторони профілю і кута конуса.

Поле допуску середнього діаметра внутрішньої циліндричної різі, з якої згвинчується зовнішня конічна різь, має бути $6H$.

7.3. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ

Вибір вимог до точності виготовлення нарізних з'єднань залежить від класу точності. У стандартах різі поділені на три класи точності: точний, середній та грубий. Класи точності спеціальних позначень не мають і визначаються ступенями точності при фіксованих довжинах згвинчування у зв'язку з тим, що допуски середнього діаметра є сумарними і вміщують у собі накопичену по довжині згвинчування похибку кроку.

Таблиця 7.5. Поля допусків за класами точності

Клас точності	Довжина згвинчування		
	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>L</i>
<i>Зовнішня різь</i>			
Точний	3h 4h	4g 4h	(5h 6h)
Середній	5g 6g 5h 6h	6d 6e 6f 6g* 6h	7e 6e 7g 6g (7h 6h)
Грубий		8g (8h)	(9g 8g)
<i>Внутрішня різь</i>			
Точний	4H	$\frac{4H}{5H}$ 5H	6H
Середній	5G 5H	6G 6H*	(7G) 7H
Грубий		7G 7H	8G 8H

Примітка. Зірочкою позначене переважне поле, в дужках – нерекомендоване.

У високонапружених і особливо відповідальних нарізних з'єднаннях часто матеріал гайки або нарізного гнізда буває менш міцний, ніж матеріал гвинта, і тоді за недостатньої (для забезпечення рівномірності) довжини внутрішньої нарізки зрізається різь гайки по циліндричній поверхні, що має діаметр, який дорівнює зовнішньому діаметру гвинта d . Умова міцності витків різі на зріз формулюється у цьому разі у вигляді

$$\frac{P_0}{\pi d k_c l m} \leq [\tau]_{\text{ср}}$$

де P_0 – навантаження, Н; d – зовнішній діаметр гвинта, м; l – довжина згвинчування, м; $[\tau]_{\text{ср}}$ – допустима напруга на зріз, Па; $k_c = 1 - \frac{\Delta P}{P} = 1 - \frac{\Delta H}{H}$ – коефіцієнт повноти перерізу витків внутрішньої різі, причому $\frac{\Delta H}{H}$ – частка висоти H вихідного трикутника внутрішньої різі, що розташований між вершиною трикутника і зовнішнім діаметром різі $D = d$ (рис. 7.3); P – крок різі; $m = 5 \frac{P}{d}$ (при $\frac{d}{P} \leq 16$) – коефіцієнт, який враховує нерівномірність навантаження витків різі.

При від'ємному нижньому відхиленні e_{id} зовнішнього діаметра гвинта і додатному верхньому відхиленні ES_{D_2} середнього діаметра внутрішньої різі відбувається зменшення площі перерізу зрізу кожного витка внутрішньої різі на величину $\frac{|e_{id}| + ES_{D_2}}{1,732}$, і, відповідно, відбувається зменшення коефіцієнта повноти перерізу витків внутрішньої різі на величину

$$k_{сн} - k_{сн} = \Delta k_{сн} - \frac{|e_{id}| + ES_{D_2}}{2H},$$

де $k_{сн}$ – номінальне значення k_c , яке дорівнює у метричній різі трикутного профілю

$$k_{сн} = 1 - \frac{\Delta H}{H} = 1 - \frac{1}{8} = 0,875;$$

$k_{сн}$ – значення коефіцієнта k_c , відповідного нижній межі d і верхній межі D_2 .

Вимоги до точності рухомих нарізних з'єднань типу передач «гвинт – гайка» у силовому співвідношенні при значних навантаженнях обґрунтовуються так само, як і для нерухомих з'єднань, тобто за міцністю на зріз витків, а для точних кінематичних передач – безпосередньо з експлуатаційного призначення. Наприклад, для мікрометричних передач приладів і верстатів як основні експлуатаційні показники встановлюються норми точності поступальних переміщень. Ці норми безпосередньо визначають вимоги до точності кроку гвинтової передачі.

7.4. КОНТРОЛЬ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ

Нарізні калібри. Контроль циліндричної різі, що забезпечує її взаємозамінність, здійснюють комплексними граничними калібрами (ГОСТ 17756–72...ГОСТ 17767–72). Прокідні пробки калібру і кільця калібру мають повний профіль; за їх допомогою контролюють приведений середній діаметр різі, що враховує вплив усіх її параметрів на згвинчуваність. Непрохідні калібри мають укорочений профіль і невелику кількість витків різі; ними контролюють тільки середній діаметр різі. Непрохідні калібри не повинні згвинчуватися з придатним виробом більше ніж на два витки.

Калібри-пробки для метричної різі випускають кількох типів: двосторонні калібри зі вставками, прохідні та непрохідні (рис. 7.5, а); односторонні калібри з насадкою (рис. 7.5, б); калібри з ручками (рис. 7.5, в). Непрохідні пробки мають гладкі циліндричні нап'ямні. Жорсткі кільця (рис. 7.6, а) калібру застосовують для контролю різі діаметром 1...300 мм; непрохідне кільце має проточку. У кільця діаметром 105...300 мм утвинчуються ручки, що полегшують

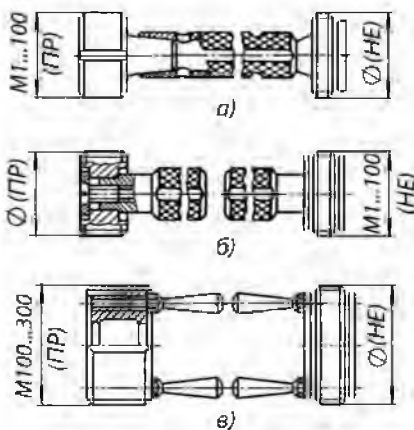


Рис. 7.5. Нарізні калібри-пробки:

а – двосторонні; б – односторонні;
в – з ручками

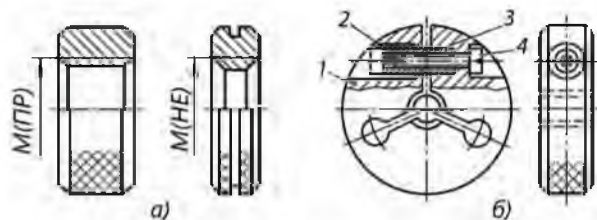


Рис. 7.6. Нарізні кільця калібру:

а – жорсткі односторонні; б – регульовані

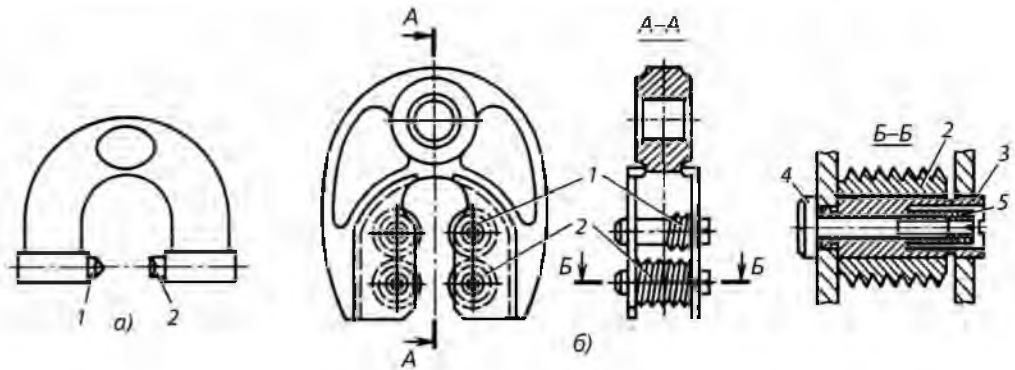


Рис. 7.7. Нарізні скоби:

a – жорсткі; *б* – роликові регульовані

роботу. Регульовані кільця (рис. 7.6, б) калібру мають нарізну пробку 2, якою через втулку 3 розтискають кільце 1 до необхідного розміру. Гвинтом 4 фіксують установлений розмір. Глухі виточки забезпечують підпружинювання корпусу.

Для контролю окремих ділянок зовнішньої різі застосовують скоби, що не вимагають тривалої операції згвинчення. Жорсткі нарізні скоби (рис. 7.7, *a*) мають конічну 1 і призматичну 2 вставки, які вводять у заглиблення різі. Роликові регульовані скоби (рис. 7.7, *б*) мають дві пари прохідних 2 і непрохідних 1 роликів, що вільно обертаються на ексцентричних валиках 3. Поворот валиків дає можливість змінювати відстань між осями роликів у межах 0,6...1 мм. Встановлений розмір фіксують гвинтом 4 та гайкою 5.

Умовні позначення нарізних калібрів: ПР (НЕ) – робочі кільця і пробки, прохідні (непрохідні); КПР–ПР (КПР–НЕ) – контрольні пробки для нерегульованих прохідних кілець, прохідні (непрохідні); КНЕ–ПР (КНЕ–НЕ) – контрольні пробки для нерегульованих непрохідних кілець, прохідні (непрохідні); К–И (КНЕ–И) – непрохідні пробки для контролю зношування нерегульованого і регульованого кільця, прохідні (непрохідні); У–ПР (У–НЕ) – установлювальні пробки для регульованого кільця, прохідні (непрохідні).

Вимірювання кроку різі. Крок різі можна виміряти індикаторними крокомірами і нарізними шаблонами (рис. 7.8).

Крокомір використовують для вимірювання кроку калібрів-пробок діаметром понад 100 мм (рис. 7.8, *a*). Він складається з пружинної головки 4, на якій кріпиться базова ніжка 3 і вимірювальний важіль 1 із кульовими наконечниками. За зразковим калібром прилад настроюють на нуль, потім ніжки встановлюють у западини вимірюваної різі. Відхилення кроку викликають поворот ніжки 1 і переміщення вимірювального наконечника 2, яке знімається за шкалою вимірювальної головки.

Нарізні шаблони 1 (рис. 7.8, *б*) випускають за ГОСТом 519–77 у вигляді наборів в обіймі 2 для

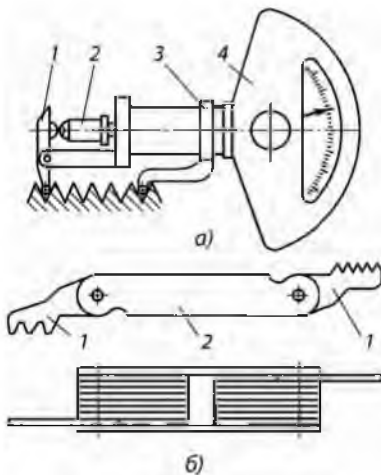


Рис. 7.8. Вимірювання кроку різі:

a – крокоміром; *б* – нарізними шаблонами

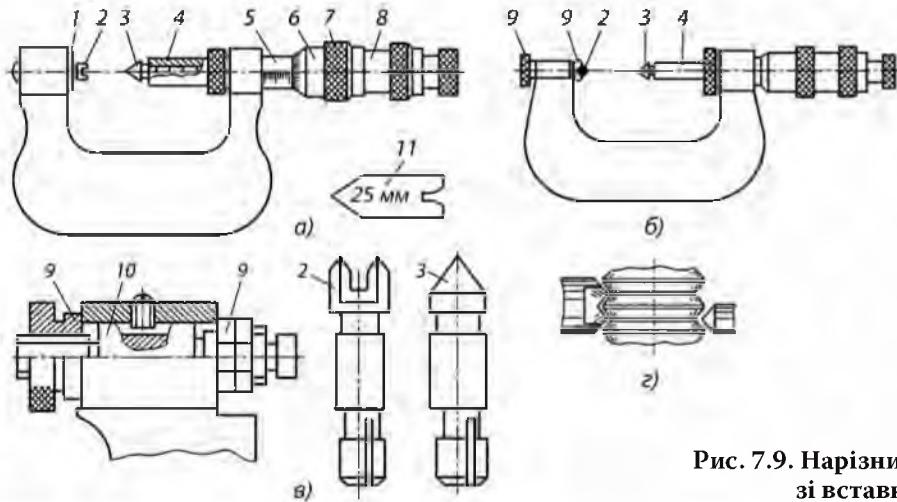


Рис. 7.9. Нарізний мікрометр зі вставками

контролю метричної різі з кроком від 0,4 до 6 мм і дюймової з кількістю ниток на дюйм від 28 до 4. Вони є нормальними нарізними калібрами, за допомогою яких контролюють крок різі методом «на просвіт». Крок різі відповідає кроку, вказаному на тому шаблоні, який найкращим чином прилягає до профілю різі.

Нарізні мікрометри. За допомогою мікрометрів можна проводити вимірювання циліндричних нарізних деталей. Для таких цілей використовують нарізні мікрометри (ГОСТ 4380–78).

Конструкція нарізного мікрометра (рис. 7.9) відрізняється від конструкції гладкого тим, що у торці мікрометричного гвинта 4 і п'яти 1 є отвори, в які вставляються спеціальні змінні вставки. Призматичні вставки 2 (за формою заглибини різі) вставляються в отвір п'яти, конічні 3 (за формою виступу різі) – у мікрометричний гвинт. Вставки до мікрометра (рис. 7.9, в) виготовляються парами, кожна з яких призначена для вимірювання різі певного кута профілю і з певним інтервалом кроку.

Для захисту від випадання хвостовики вставок мають розрізні пружинні кінці. Тому вставки надійно утримуються в отворі, але можуть вставатися в нього, орієнтуючись по витку різі. Щоб компенсувати зміну довжини вставок, барабан виготовляють розсувним: він складається з двох частин 6 та 8, що стягуються спеціальною гайкою 7 (рис. 7.9, а). В іншій конструкції (рис. 7.9, б) мікрометри оснащуються переставною п'ятою 10, закріпленою в необхідному положенні гайками 9. Для перевірки нульового показання мікрометра використовується встановлювальна міра 11.

Схему встановлення вимірювальних поверхонь вставок на різь наведено на рис. 7.9, г.

Нарізний мікрометр підвищеної точності (рис. 7.10) має цифрову шкалу з дискретністю 0,001 мм. Діапазони вимірювань – від 0...25 мм до 125...150 мм. Мікрометр оснащується вимірювальними вставками для вимірювання різі кроком 0,4...6 мм.



Рис. 7.10. Нарізний мікрометр підвищеної точності

Вимірювання середнього діаметра різи за допомогою дротів. Для більш точного вимірювання середнього діаметра різи застосовують дроти і ролики, які виготовляють трьох типів (рис. 7.11, а): тип *I* – дроти гладкі, тип *II* – дроти ступінчасті виконання А, Б та В і тип *III* – ролики. Дроти типу *I* кріпляться у спеціальних колодках, дроти типу *II* мають робочу частину всередині. Дроти типу *II* мають спеціальне вушко для підвішування їх у процесі вимірювання.

Метод вимірювання середнього діаметра за допомогою дротів полягає в тому, що дроти закладають у западини різи. За допомогою універсальних засобів вимірюють розмір *M* (рис. 7.11, б) між виступаючими поверхнями дротів. Діаметр дротів вибирають залежно від кроку різи так, щоб дроти, вміщені в западину різи, торкалися її профілю посередині його висоти. Для метричної різи найбільш вигідний діаметр дроту вибирають, виходячи зі співвідношення $D_{\text{п}} = 0,577P$.

Вимірювання середнього діаметра можна провести за допомогою трьох, двох і одного дроту. Вимірювання з одним дротом проводять у край рідко, у деталях із діаметром більше 100 мм. Частіше застосовують метод трьох дротів. Вимірювання проводять за схемою, зображеною на рис. 7.11, б. При вимірюванні різей із кроком 0,5 мм і менше два нижні дроти можуть поміщати не в сусідні западини, а в подальші, але вони повинні обов'язково розташовуватися симетрично відносно верхнього дроту.

Залежно від необхідної точності розмір *M* може бути виміряний за допомогою мікрометра, оптиметра, контактного інтерферометра, довжиноміра і т. ін.

Мікрометр 4 (рис. 7.11, в) закріплюють у спеціальній підставці 5. На п'яту і мікрогвинт встановлюють державки 1 та 2 із закріпленням у них дротом 3. Державки з дротом можуть повертатися навколо своїх опор, що дозволяє дроту самовстановлюватися по западинах профілю.

Вимірювання нарізних калібрів діаметром до 60 мм можна проводити на оптиметрі (рис. 7.11, г). Для цього, заздалегідь налаштувавши оптиметр на нуль за кінцевою мірою, відповідною номінальному значенню розміру *M*, встановлюють на предметний столик 6 нарізний калібр 5, що перевіряється, і за допомогою струбцини 4 фіксують його. Дроти 2 підвішують за державки 3 на кронштейні 1. Подальші вимірювання проводять

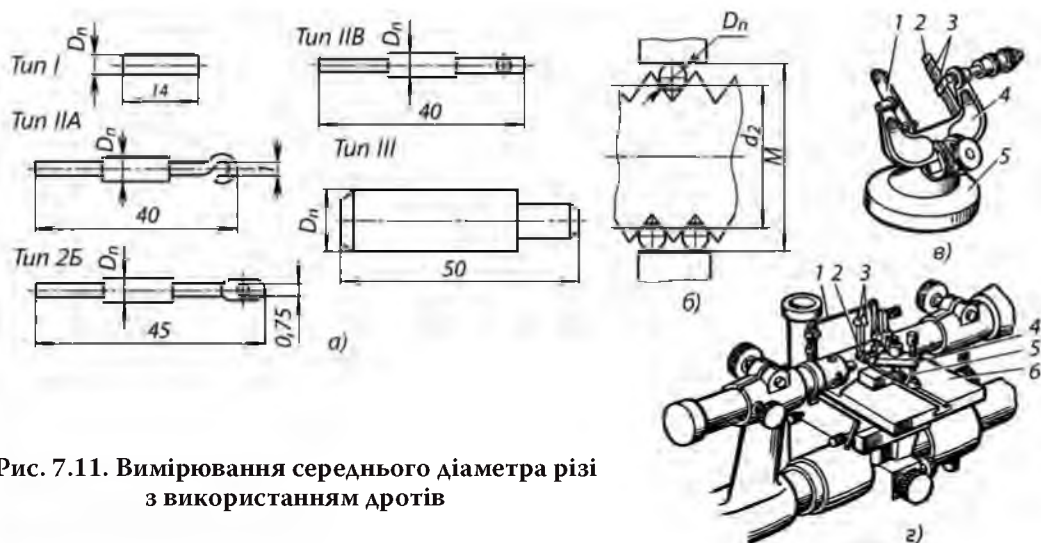


Рис. 7.11. Вимірювання середнього діаметра різи з використанням дротів

Список використаних джерел

1. Белкин И. М. Средства линейно-угловых измерений : справочник / И. М. Белкин. – М. : Машиностроение, 1987. – 368 с.
2. Васильев А. С. Основы метрологии и технические измерения : учеб. пособ. для сред. ПТУ / А. С. Васильев. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М. : Машиностроение, 1988. – 240 с.
3. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання : підручник / Ю. Є. Кирилюк, Г. К. Якимчук, Ю. М. Бугай ; за ред. Ю. М. Бугая. – К. : КМУЦА, 1997. – 212 с.
4. Взаємозамінність та технічні вимірювання : підруч. для вищ. і серед. техн. навч. закл. / А. П. Кудрін, В. В. Лубяний, В. Д. Хижко. – К. : Астра Пол, 2005. – 208 с.
5. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. для вузов / А. И. Якушев, А. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и дополн. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
6. Дунин-Барковский И. В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учебник / И. В. Дунин-Барковский. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 352 с.
7. Журавлев А. Н. Допуски и технические измерения : учеб. для сред. проф.-техн. училищ / А. Н. Журавлев. – 7-е изд., испр. – М. : Высш. школа, 1981. – 256 с.
8. Контрольно-измерительные инструменты и приборы в машиностроении : справочник / В. Г. Кострицкий, А. И. Кузьмин. – К. : Техніка, 1986. – 135 с.
9. Маханько А. М. Контроль станочных и слесарных работ : учеб. пособ. для сред. ПТУ / А. М. Маханько. – М. : Высш. шк., 1986. – 271 с.
10. Неразрушающий контроль качества при изготовлении и оценке технического состояния изделий авиационной техники : учеб. пособ. / А. М. Овсянкин, Г. М. Зайвенко, В. В. Лубяный, Г. А. Волосович, В. В. Черняк. – К. : КМУЦА, 1999. – 232 с.
11. Основи метрології та метрологічна діяльність : навч. посіб. / О. М. Величко, А. М. Коцюба, В. М. Новиков. – К., 2000. – 228 с.
12. Точность и производственный контроль в машиностроении : справочник / И. И. Балонкина, А. К. Кутай, Б. М. Сорочкин, Б. А. Тайц ; под общ. ред. А. К. Кутая, Б. М. Сорочкина. – Л. : Машиностроение, 1983. – 368 с.

Вступ	3
-------------	---

Розділ 1. ЄДИНА СИСТЕМА ДОПУСКІВ І ПОСАДОК ТА ОСНОВИ ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

1.1. Допуски і посадки як складові взаємозамінності	4
1.2. Єдина система допусків і посадок	7
1.3. Вибір посадок	16
1.4. Допуски, посадки і технічні вимірювання	24
1.5. Основи технічних вимірювань	25
1.6. Класифікація засобів вимірювань	29
1.7. Метрологічні характеристики засобів вимірювань	30
1.8. Вибір засобів вимірювань	33
1.9. Похибки вимірювань	34
1.9.1. Класифікація похибок	34
1.9.2. Оцінка випадкових похибок	36

Розділ 2. ЗАСОБИ ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

2.1. Міри	42
2.1.1. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини	42
2.1.2. Штрихові міри довжини	46
2.2. Калібри	47
2.2.1. Класифікація калібрів	47
2.2.2. Калібри для гладких валів і отворів	48
2.2.3. Калібри для контролю лінійних розмірів	49
2.2.4. Профільні шаблони	50
2.3. Механічні прилади	51
2.3.1. Штангенприлади	51
2.3.2. Мікрометри	60
2.3.3. Мікрометричні глибиноміри і нутроміри	68
2.4. Важільно-механічні прилади	71
2.4.1. Класифікація та призначення	71
2.4.2. Зубчасті вимірювальні головки	72
2.4.3. Важільно-зубчасті вимірювальні головки	76
2.4.4. Пружинні вимірювальні головки	78
2.4.5. Важільні мікрометри і скоби з відліковим пристроєм	80
2.4.6. Індикаторні нутроміри та глибиноміри	83
2.5. Оптичні та оптико-механічні вимірювальні прилади	89
2.5.1. Класифікація та призначення	89
2.5.2. Основи оптичних методів вимірювань	89
2.5.3. Оптикатори	91
2.5.4. Вертикальний окулярний оптиметр	92
2.5.5. Горизонтальний окулярний оптиметр	95
2.5.6. Вертикальні екранні оптиметри	98
2.5.7. Оптичні довжиноміри	99
2.5.8. Оптико-механічні машини для вимірювання довжини	102
2.5.9. Інструментальні та універсальні мікроскопи	103

2.5.10. Проектори	110
2.5.11. Основи інтерференційних методів вимірювань	113
2.5.12. Плоскі скляні пластини	115
2.6. Пневматичні прилади	118
2.6.1. Принцип дії і класифікація	118
2.6.2. Довжиноміри низького тиску	118
2.6.3. Довжиноміри високого тиску	121
2.6.4. Пневматичні прилади диференціального типу	123

Розділ 3. КОНТРОЛЬ ВІДХИЛЕНЬ ВІД ФОРМИ І РОЗТАШУВАННЯ, ШОРСТКІСТЬ ТА ХВИЛЯСТІСТЬ ПОВЕРХОНЬ

3.1. Класифікація відхилень поверхонь	128
3.2. Вимірювання відхилень від прямолінійності та площинності	131
3.3. Контроль відхилень форми циліндричних деталей	135
3.4. Контроль відхилень розташування поверхонь і осей	140
3.5. Шорсткість поверхонь	148
3.6. Контроль шорсткості поверхонь	154
3.7. Хвилястість поверхонь деталей	164
3.8. Вплив шорсткості, хвилястості, відхилень форми і розташування поверхонь деталей на взаємозамінність і якість машин	165

Розділ 4. ОСОБЛИВОСТІ ДОПУСКІВ І ПОСАДОК ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

4.1. Особливості системи допусків підшипників кочення	167
4.2. Призначення посадок для кілець підшипників кочення	169

Розділ 5. ДОПУСКИ І ПОСАДКИ ШПОНКОВИХ І ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ ТА ЇХ КОНТРОЛЬ

5.1. Допуски і посадки шпонкових з'єднань	175
5.2. Контроль шпонкових з'єднань	176
5.3. Допуски і посадки шліцевих з'єднань	177
5.4. Контроль шліцевих виробів	180

Розділ 6. ДОПУСКИ КУТІВ, КОНУСІВ І ПОСАДОК КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ ТА ЇХ КОНТРОЛЬ

6.1. Кутові розміри та конічні з'єднання	183
6.2. Стандартизація точності виконання куткових розмірів та конічних з'єднань	186
6.3. Кутові вимірювання	191
6.3.1. Кутові міри та повірочні косинці	192
6.3.2. Калібри для контролю конусів	194
6.3.3. Прилади для вимірювання кутів	195
6.3.4. Непрямі методи вимірювання кутів та конусів	200
6.3.5. Рівні	204

Розділ 7. ДОПУСКИ І ПОСАДКИ НАРІЗНИХ З'ЄДНАНЬ ТА ЇХ КОНТРОЛЬ

7.1. Класифікація та взаємозамінність нарізних з'єднань	209
7.2. Стандартизація точності нарізних з'єднань	212
7.3. Вибір та обґрунтування вимог до точності виготовлення нарізних з'єднань	216
7.4. Контроль нарізних з'єднань	217

Список використаних джерел	222
---	------------