

**Відокремлений структурний підрозділ
«Любешівський технічний фаховий коледж Луцького національного
технічного університету»**



**Взаємозамінність, стандартизація
та технічні вимірювання**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для здобувачів освіти освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр
галузь знань 27 Транспорт
спеціальність 274 Автомобільний транспорт
денної форми навчання

Любешів 2023

УДК

До друку

Голова методичної ради ВСП «Любешівський ТФК ЛНТУ»

_____ Герасимик-Чернова Т.П.

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій
коледжу

Бібліотекар _____

Затверджено методичною радою ВСП «Любешівський ТФК ЛНТУ»

протокол № _____ від « _____ » _____ 2023 р.

Рекомендовано до видання на засіданні випускної циклової (методичної) комісії
педагогічних працівників механізаторського профілю, агроінженерії,
автомобільного транспорту

протокол № _____ від « _____ » _____ 2023р.

Голова випускної циклової (методичної) комісії _____ Оласюк Я.В.

Укладач: _____ І.В.Свищук

Рецензент: _____

Відповідальний за випуск: _____ Кузьмич Т.П.

Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання: конспект лекцій для
здобувачів освіти освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр
галузь знань 27 Транспорт, спеціальність 274 Автомобільний транспорт денної
форми навчання. / уклад. І.В. Свищук – Любешів: Любешівський технічний коледж
Луцького НТУ, 2023. – 206 с.

І.В. Свищук. 2023р.

ЗМІСТ

| | |
|--|-----|
| 1. Лекція №1 Основи стандартизації | 3 |
| 2. Лекція №2 Основні поняття про взаємозамінність та якість продукції | 6 |
| 3. Лекція №3 Основні відомості про розміри та сполучення | 11 |
| 4. Лекція №4 Допуски та посадки гладких циліндричних з'єднань | 25 |
| 5. Лекція №5 Допуски й форми та розташування поверхонь. Шорсткість поверхні..... | 38 |
| 6. Лекція №6 Основи метрології | 59 |
| 7. Лекція №7 Методи та похибки вимірювання | 81 |
| 8. Лекція №8 Засоби лінійних вимірювань | 90 |
| 9. Лекція №9 Допуски кутів і конусів. Інструментальні конуси..... | 109 |
| 10. Лекція №10 Допуски і посадки різей..... | 116 |
| 11. Лекція №11 Засоби вимірювання різей | 124 |
| 12. Лекція №12 Шпонкові та шліцьові з'єднання, їх параметри | 131 |
| 13. Лекція №13 Допуски, посадки, вимірювальний інструмент і прилади, контроль шпонкових і шліцьових з'єднань | 136 |
| 14. Лекція №14 Допуски та засоби вимірювання зубчастих коліс і передач | 144 |
| 15. Лекція №15 Основні поняття про розмірні кола | 160 |
| 16. Лекція №16 Контроль нерознімних з'єднань | 167 |
| Список використаних джерел..... | 188 |

Лекція №1 Основи стандартизації

1. Предмет стандартизації
2. Види стандартів
3. Категорії нормативних документів зі стандартизації

Предмет стандартизації

Стандартизація — діяльність з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній галузі за допомогою встановлення положень для загального багаторазового виконання відносно реально існуючих або потенційних завдань.

Об'єкт стандартизації — предмет (продукція, процес, послуга), що підлягає стандартизації.

Стандарт — нормативний документ, розроблений, як правило, на основі відсутності суперечностей з істотних питань більшості зацікавлених сторін і затверджений відповідним органом, у якому встановлено для загального і багаторазового використання правила, вимоги, загальні принципи або характеристики щодо різних видів діяльності або їх результатів для досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній галузі.

Без стандартів сучасна промисловість є немислимою. Рівень розвитку стандартизації характеризує не лише рівень розвитку промисловості, але й її економічні показники.

Між кількістю стандартів, розроблених і застосовуваних у певній галузі, та їх коефіцієнтом корисної дії існує пряма залежність: більше стандартів — менше витрата сировини, втрати тощо.

Держспоживстандарт України організовує і координує роботу зі стандартизації та функціонування державної системи стандартизації; встановлює в державних стандартах загальні організаційно-технічні правила проведення робіт зі стандартизації, здійснює їх міжгалузеву координацію, у тому числі планування, розробку, видання, розповсюдження і застосування державних стандартів; визначає порядок державної реєстрації нормативних документів і бере участь у проведенні заходів щодо міжнародної, регіональної стандартизації відповідно до міжнародних договорів України; організовує навчання і професійну підготовку фахівців у галузі стандартизації.

Стан стандартизації в Україні визначається насамперед стандартами Радянського Союзу.

Держстандарт України тільки починає свою діяльність.

Разом із усіма позитивними ознаками стандартів СРСР, які й надалі

використовуються у виробництві в Україні, слід відзначити, що вони характеризувалися певною обмеженістю. Часто стандарти «йшли» на поступки виробникам, полегшуючи їм збут продукції. Так, у зв'язку з тим, що хімічний склад металобрухту, який ішов на металургійні заводи, контролювався не дуже ретельно, у складі вуглецевих сталей, що виплавлялися, постійно накопичувалася все більша кількість домішок (головним чином, хрому, нікелю, молібдену в брухт легованих сталей). Для того щоб така сталь отримала дозвіл на збут, стандарти періодично переглядалися щодо допустимої кількості домішок.

Значна кількість стандартів розроблялася як стандарти Союзу Економічної Взаємодопомоги (Ст СЕВ). Це обмежувало сферу збуту продукції, виготовленої за цими стандартами, лише країнами СЕВ, ускладнюючи її проникнення на світовий ринок.

Стандарти мають полегшити взаємне постачання продукції, у тому числі й складових частин механізмів і машин, підвищити її якісний рівень і конкурентоспроможність. Тому стандарти України (ДСТУ) не тільки орієнтуються на можливості внутрішнього виробництва, але й узгоджуються з вимогами Міжнародної організації зі стандартизації (ISO).

Державна система стандартизації України (ДСТУ) визначається ДСТУ 1.0—93, 1.2—93, 1.4—93, 1.5—93. Ці стандарти охоплюють основні положення щодо стандартизації, відомості стосовно структури, оформлення та змісту стандартів, порядку розроблення та затвердження державних стандартів, стандартів підприємств і технічних умов.

Види стандартів

Відповідно до специфіки об'єкта стандартизації, складу і змісту встановлюваних до нього вимог, для різних категорій нормативних документів із стандартизації розробляють стандарти таких видів:

- засадничі;
- на продукцію, послуги;
- на процеси;
- на методи контролю (випробувань, вимірювань, аналізу).

Засадничі стандарти встановлюють організаційно-методичні і загальнотехнічні вимоги для певної галузі стандартизації, а також терміни і визначення, загальнотехнічні вимоги, норми і правила, що забезпечують упорядкованість, сумісність, взаємозв'язок і взаємоузгодженість різних видів технічної та виробничої діяльності під час розроблення, виробництва, транспортування й утилізації продукції; безпеку продукції, охорону навколишнього природного середовища.

Стандарти на продукцію, послуги встановлюють вимоги до груп однорідної продукції або до конкретної продукції, послуги, що забезпечують її відповідність своєму призначенню.

Стандарти на процеси встановлюють основні вимоги до послідовності і методів (способів, режимів, норм) виконання різних робіт (операцій) у процесах, що використовуються в різних видах діяльності та забезпечують відповідність процесу його призначенню.

Стандарти на методи контролю (випробувань, вимірювань, аналізу) встановлюють послідовність робіт (операцій), способи (правила, режими, норми) і технічні засоби їх виконання для різних видів і об'єктів контролю продукції, процесів, послуг.

Категорії нормативних документів зі стандартизації

Державна система стандартизації передбачає, що на території України діятимуть такі нормативні документи:

Міжнародний стандарт (ISO) — стандарт, прийнятий Міжнародною організацією зі стандартизації, охоплює різні сторони виробничої й економічної діяльності, має, як правило, рекомендаційний характер.

Міждержавний стандарт (колишній ГОСТ) — стандарт, прийнятий країнами, що приєдналися до угоди про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації. Це стандарти колишнього СРСР, які не втратили своєї актуальності або термін дії яких продовжено згідно з угодою, прийнятою країнами СНД.

Державний стандарт України (ДСТУ) — національний стандарт, затверджений Держспоживстандартом України (у галузі будівництва — Мінбудархітектури України), обов'язковий для всіх організацій, що діють на території України.

Галузеві стандарти України (ГСТУ) — стандарти, які діють лише у певних, специфічних галузях промисловості (наприклад, у гірничо-видобувній промисловості).

Стандарт науково-технічних та інших товариств (СТТУ) — нормативний документ, який є обов'язковим для використання лише організаціями того чи іншого науково-технічного товариства. Як правило, розроблюється на дослідну або експериментальну продукцію.

Технічні умови України (ТУУ) — нормативні документи, що регулюють відносини між постачальником і споживачем (замовником) продукції, якщо відсутні державні чи галузеві стандарти. Вони часто створюються на харчову продукцію або товари широкого вжитку.

Стандарти підприємств (СТП) — документи, які регулюють

організацію виробництва, технологічну документацію, звітність, оформлення готової продукції у межах того чи іншого виробництва.

Позначення стандарту, що входить до комплексу стандартів, складається з індексу, реєстраційного номера, перші цифри з крапкою якого визначають комплекс стандартів, а цифри, що стоять після крапки, є номером стандарту в цьому комплексі та відокремлюються довгою рисою від двох останніх цифр — року затвердження, наприклад: ГОСТ 2.304—81, ГОСТ 8.523—85.

Як свідчить практика, стандартизація забезпечує прогрес народного господарства і стабільне підвищення якості всіх видів продукції.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте предмет стандартизації.
2. Що таке стандарт?
3. Які існують категорії стандартів?

Лекція №2 Основні поняття про взаємозамінність та якість продукції

1. **Поняття про взаємозамінність.**
2. **Якість продукції.**
3. **Показник якості**

Поняття про взаємозамінність.

Одним із основних принципів, використовуваних конструктором для розробки й виготовлення всіх машин і їхніх деталей, є принцип взаємозамінності.

Взаємозамінністю називають властивість незалежно виготовлених деталей, вузлів або агрегатів машин, яка дозволяє встановлювати їх під час збирання або ремонту або замінювати без будь-якого припасування додаткової обробки й забезпечувати при цьому їх необхідну працездатність відповідно до заданих технічних умов.

Під незалежним виготовленням деталей розуміють їх виготовлення в різний час у різних місцях (цехах, заводах, містах, навіть країнах). Із прикладами взаємозамінності ми зустрічаємося повсякчас. Гайковий ключ має накладатися на головку болта або гайку, гвинт — вкручуватися в отвір із різьбою, цоколь електролампочки — вкручуватися в патрон, вилка електрошнура — входити в штепсельну розетку, цілі агрегати (наприклад, двигуни автомобілів), виготовлені в різних містах, — збиратися в єдиний виріб на конвеєрі головного заводу.

Взаємозамінність, точніше, потреба в ній, виникла дуже давно. Приблизно в середині XIII ст. у Європі стає відомим димний порох і вже на початку XIV ст. з'являється вогнепальна зброя.

Понад двісті років використання ручної вогнепальної зброї вносили незначні зміни в її конструкцію, покращувалося запалення набою, і вже до кінця XV ст. виявилися вичерпаними всі можливості його вдосконалення. На початку XVI ст. з'явилися гладкоствольні кремнієві рушниці найпростішої будови, які міцно й надовго затвердилися в озброєнні армій різних країн і без змін вони залишалися впродовж трьох сотень років (рис. 2.1).



Рис. 1.1. Рушниці, XVI ст.



Стосовно калібрів існував величезний різнобій (рис. 1.2).

Рис. 1.2. Кулі різних калібрів. Справа внизу для масштабу кулі автомата Калашникова 5,45 Солдати самі відливали кулі відповідно до калібрів своїх рушниць. Такий різнобій завдавав багато незручностей (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Рушничні кулі

Деталі, які мали однакове призначення на різних видах рушниць, були різними, і про їх взаємозамінність не йшлося.

До кінця XVIII ст. взаємозамінність деталей вогнепальної зброї залишалася практично нерозв'язною проблемою. Про це красномовно свідчить сенсаційний виступ фабриканта Е. Вітнея в 1798 р. на з'їзді членів конгресу у Вашингтоні, який запропонував виготовити й поставити американському уряду партію рушниць із взаємозамінними деталями. Не гаючи часу на розмови, він наказав внести ящики з рушницями. Рушниці розібрали, окремі частини перемішали між собою і знову зібрали. Ефект був приголомшливим. Ніхто з членів конгресу, звичайно, не знав, якою ціною була досягнута ця взаємозамінність — усі деталі підганялися вручну за зразками. Вітнею вдалося витіснити своїх конкурентів і отримати дворічне замовлення на виготовлення десяти тисяч рушниць. Однак за перший рік йому вдалося зробити лише п'ятсот рушниць, а інші — за сім довгих років! До цього часу в 1806 р. у Парижі було видано книгу відомого французького інженера Коті, який ділився своїми враженнями про відвідання російських військових заводів. «Я бачив на Тульському заводі, як із безлічі замків, що знаходилися в приймальній палаті, декілька було розкидано, частини їх перемішані; при цьому всі частини відзначалися такою точністю, мовби їх навмисне підганяли одна до одної», — писав Коті про рушничні замки.

У складному для Росії воєнному 1812 р. Тульський завод випускав за місяць десять тисяч рушниць із взаємозамінними деталями (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Рушниці із взаємозамінними деталями

У цьому була велика заслуга талановитого російського винахідника П. Д. Захави. Він же в 1826 р. демонстрував досягнення тульських зброярів перед німецькими принцями Карлом Пруським і Філіпом Гессен-Гамбурзьким у присутності царя Миколая I. За вказівкою цих осіб майстри збирали і розбирали серійні рушниці, міняли в них частини, замки й подавали для стрільняння принцам. Випробовування пройшли блискуче.

Досягти точності виготовлення та взаємозамінності деталей вдалося не підгонкою вручну, а завдяки створеним удосконаленим для того часу верстатам й інструментам.

Але найбільшого поширення взаємозамінність набула з розвитком металообробки, особливо в умовах масового, а останнього часу — автоматизованого виробництва. Дотримання взаємозамінності забезпечує спрощення збирання та ремонту, полегшує процес конструювання (конструктору не потрібно щоразу вигадувати оригінальні рішення, набагато зручніше використовувати вже випробувані й перевірені), надає можливість спеціалізації й кооперації; окремі цехи й заводи в різних містах і країнах спеціалізуються на випуску конкретних деталей і вузлів, які в подальшому постачаються іншим заводам. Спеціалізація, у свою чергу, здешевлює виробництво: є можливість використовувати не універсальне, а спеціальне обладнання, яке має високу продуктивність.

ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ

Якість продукції — сукупність властивостей продукції, що обумовлюють її здатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення (ДСТУ 2925194).

У сучасних умовах якість продукції охоплює не тільки споживацькі, але й технологічні властивості, конструкторсько-художні особливості, надійність, рівень стандартизації й уніфікації деталей і вузлів тощо.

Властивості, які становлять якість продукції, характеризуються безперервними або дискретними величинами, що називаються показниками якості продукції. Вони можуть бути абсолютними, відносними або питомими.

Показник якості продукції, що характеризує одну її властивість, називається одиничним, дві властивості і більше — комплексним. Відносна характеристика якості продукції, заснована на порівнянні її з відповідною сукупністю базових показників, називається рівнем якості продукції. Під час оцінки рівня використовуються як технічні, так і економічні дані.

Критерієм оптимальності рівня якості продукції, тобто її ефективності, може служити інтегральний показник якості, що відображує співвідношення сумарного корисного ефекту від експлуатації продукції і сумарних витрат на її створення й експлуатацію. При найбільшому значенні інтегрального показника якості продукції забезпечується найбільший корисний ефект, одержуваний на кожну гривню витрат.

Управління якістю продукції здійснюється шляхом систематичного контролю відповідності показників якості стандартам, технічним умовам та іншій нормативно-технічній документації, а також цілеспрямованою дією на якість документації, устаткування, інструменту, сировини, матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів, на рівень кваліфікації заготівників. Велике значення при цьому мають економічні методи, які охоплюють питання планування, стимулювання, ціноутворення тощо.

Важливий елемент в управлінні якістю продукції — встановлення обґрунтованих завдань на випуск продукції з певними значеннями показників, які мають бути досягнуті за заданий період часу.

Завдання і заходи щодо підвищення якості продукції розробляються з урахуванням результатів аналізу продукції, виходячи з основних напрямів розвитку галузей народного господарства, прогнозів технічного прогресу, вимог прогресивних стандартів і потреб народного господарства, що випускається.

ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ

Якість машин характеризується низкою показників (ДСТУ 2925—94),

які можна поділити на такі три групи:

Технічний рівень, що визначає ступінь досконалості машини: потужність, ККД, продуктивність, економічність та ін.

Виробничо-технологічні показники (або показники технологічності конструкцій), що фіксують ефективність конструктивних рішень з погляду забезпечення оптимальних витрат праці і засобів на виготовлення виробу, його експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт.

Експлуатаційні показники: а) надійність виробу; б) ергономічна характеристика або ступінь обліку комплексу гігієнічних, фізіологічних і інших потреб людини в системі людина — машина — середовище; в) естетична оцінка, тобто досконалість художньої композиції, зовнішнє оформлення виробу тощо.

Рівень якості — відносна характеристика якості продукції, заснована на порівнянні показників якості даного виробу з базовими значеннями відповідних показників. Систематичне підвищення рівня якості — відповідальне завдання і конструктора виробу, і технолога.

Одним із найважливіших чинників у галузі управління якістю продукції є її атестація, яка проводиться систематично. Підприємства розробляють і здійснюють комплекс заходів для планомірного підвищення якості продукції, оновлення її номенклатури.

Стандартом ДСТУ 2296—93 встановлено національний знак відповідності і правила його застосування при сертифікації продукції, процесів, послуг в Системі сертифікації УкрСЕПРО (далі — Система). Знак відповідності призначений для забезпечення сертифікованої продукції з метою інформування споживача про те, що продукція сертифікована відповідно до правил Системи. Встановлюється для продукції, яка відповідає обов'язковим вимогам нормативних документів, які поширюються на цю продукцію (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Знак відповідності сертифікованої продукції



Рис. 1.6. Знак відповідності продукції, яка не підлягає сертифікації

Знак відповідності, зображений на рис. 1.6, застосовується також для позначення продукції, яка не підлягає обов'язковій сертифікації, проте сертифікована за ініціативою виробника (виконавця), продавця або споживача.

Контрольні запитання

1. Що таке взаємозамінність?
2. Що включає поняття «якість продукції»?
3. У чому виявляється вплив стандартизації на якість продукції?

Лекція №3 Основні відомості про розміри та сполучення

1. **Лінійні розміри, відхилення та допуски лінійних розмірів**
2. **Розміри відхилення, допуски**
3. **Типи посадок**
4. **Посадки в системі отвору та в системі вала**

Лінійні розміри, відхилення та допуски лінійних розмірів

У процесі виготовлення будь-якого виробу завжди користуються кресленням, на якому позначають усі його розміри.

Лінійний розмір — це числове значення лінійної величини (діаметра, довжини) в обраних одиницях вимірювання. Лінійні розміри на кресленнях проставляються в міліметрах (мм).

Для того щоб зменшити розмаїтість призначуваних конструкторами розмірів із усіма перевагами (звуженням сортаменту матеріалів, номенклатури мірного різального й вимірювального інструменту,

скороченням типорозмірів виробів і запасних частин до них тощо), а також з метою застосування науково обґрунтованих, найраціональніше побудованих рядів чисел, при конструюванні слід керуватися ГОСТ 6636—69 на нормальні лінійні розміри.

Стандарт складається з чотирьох основних рядів чисел (табл. 3.1):

Ra5, Ra10, Ra20 і Ra40, побудованих на геометричній прогресії зі знаменниками, які дорівнюють $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$; $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$; $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$; $\sqrt[40]{10} \approx 1,06$.

Кожен ряд містить у кожному десятковому інтервалі відповідно 5, 10, 20 і 40 різних чисел. Більш рідкий ряд завжди є переважним порівняно з частішим. Цифри в інших десяткових інтервалах отримують множенням або діленням зазначених величин на 10, 100, 1000 тощо. Стандарт не поширюється на технологічні міжопераційні розміри та на розміри, пов'язані розрахунковими залежностями з іншими прийнятими розмірами або розмірами стандартних комплектуючих виробів.

Таблиця 3.1

Нормальні лінійні розміри за ГОСТ 6636—69, мм

| Ra5 | Ra10 | Ra20 | Ra40 |
|-----|------|------|------|
| 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | | | 1,05 |
| | | | 1,1 |
| | | | 1,15 |
| | | | 1,2 |
| | | | 1,3 |
| | | | 1,4 |
| 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,5 |
| | | 1,6 | 1,6 |
| | | | 1,7 |
| | | | 1,8 |
| | | | 1,8 |
| | | | 1,9 |
| | | | 2,0 |
| | | | 2,0 |
| | | | 2,1 |
| | | | 2,2 |
| | 2,4 | | |

| | | | |
|-----|-----|-----|--|
| 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 |
| 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 4,2 4,5 4,8 5,0 5,3 5,6 6,0 |
| 6,3 | 6,3 | 6,3 | 6,3 6,7 7,1 7,5 8,0 8,5 9,0 9,5 |
| 10 | 10 | 10 | 10 |

Розміри відхилення, допуски

Будь-яка машина або прилад складаються з окремих вузлів і деталей. У з'єднанні двох деталей, що входять одна в одну, розрізняють охоплюючі й охоплювані поверхні з'єднання.

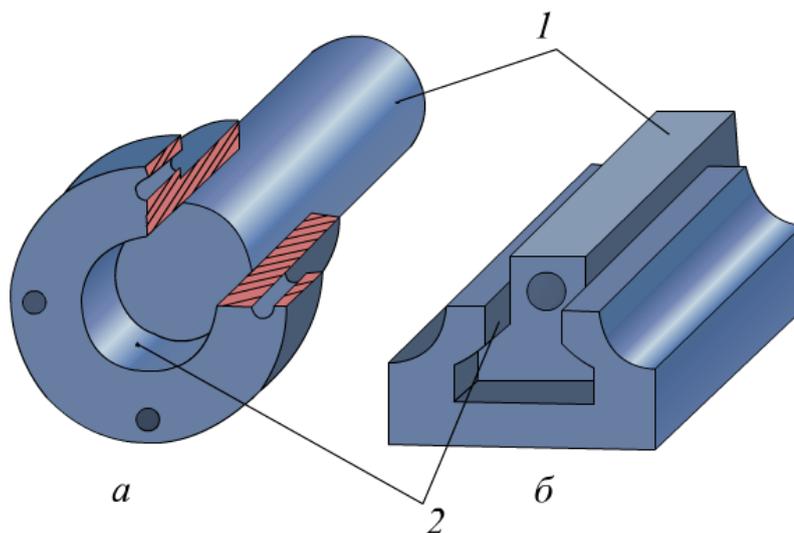


Рис. 3.1. З'єднання деталей:

1 — охоплювані поверхні (вали); 2 — охоплюючі поверхні (отвори)

Охоплююча поверхня циліндричних з'єднань (рис. 3.1, а) має загальну назву отвір, а охоплювана — вал. Назви отвір і вал умовно можуть застосовуватися також до інших поверхонь, наприклад плоских з'єднань (рис. 3.1, б) з паралельними площинами.

При обробці деталей неможливо досягти абсолютно точно заданого розміру не тільки кількох оброблюваних деталей, але й однієї деталі в різних перерізах. Це пояснюється тим, що на процес обробки деталей впливають численні причини. Основними джерелами появи відхилень від заданих розмірів і форми виробів є: неточність виготовлення устаткування (верстатів, пресів тощо), пристроїв для обробки різальних інструментів і ступінь їх спрацьованості; неоднорідність заготовок для деталей за розмірами, формою, твердістю, механічними властивостями; неточність базування заготовок і неправильне закріплення їх у пристроях; температурні впливи, що спричинюють зміну розмірів оброблюваних деталей, а також окремих частин устаткування, пристроїв або різальних інструментів; пружні деформації деталей устаткування пристроїв, різальних інструментів та оброблюваних виробів; відхилення від установлених режимів обробки (швидкостей, подач, глибин різання тощо); вібрації фундаменту, на якому встановлено устаткування, тощо.

Розмір, отриманий конструктором у результаті розрахунків (на міцність, жорсткість) або з урахуванням різних конструкторських або технологічних міркувань при проектуванні, називають номінальним.

Номінальні розміри можуть бути як цілими, так і дробовими числами. Однак конструктор не повинен будь-який розмір, отриманий ним під час розрахунку, приймати за номінальний і проставляти на кресленні. В іншому випадку для отримання, наприклад, отворів, знадобиться виготовляти свердла і розвертки для кожного проставленого розміру, що економічно недоцільно. Тому, щоб зменшити різноманітність призначуваних конструктором номінальних лінійних розмірів, а отже, зменшити номенклатуру різального й вимірювального інструменту, типорозмірів виробів і запасних частин до них тощо, встановлено обов'язкове застосування так званих нормальних лінійних розмірів. На кресленні як номінальний лінійний розмір позначається лише такий розмір, який після розрахунку округлений до найближчого більшого значення з установленого ряду нормальних лінійних розмірів відповідно до ГОСТ 6636—69 (табл. 3.1).

Розмір, отриманий у результаті обробки деталі, відрізняється від номінального, і значення цього розміру стає відомим лише в результаті вимірювання, а воно, в свою чергу, також може виконуватися з похибкою.

Тому в подальшому буде йтися про дійсний розмір і розмір, установлений вимірюванням із допустимою похибкою.

Для того щоб дійсний розмір забезпечував функціональну придатність деталі, конструктор, виходячи з цілого ряду факторів, має встановити після розрахунку номінального розміру два граничних розміри — найбільший і найменший. Це гранично допустимі розміри, між якими має знаходитися або яким може бути дійсний розмір придатної деталі.

Однак задавати на кресленні два розміри незручно, тому роблять так: як додаток до номінального розміру на кресленні проставляють його граничні відхилення — верхнє та нижнє.

Верхнє відхилення — це алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і номінальним розмірами.

Нижнє відхилення — це алгебраїчна різниця між найменшим граничним і номінальним розмірами.

Визначення відхилень як алгебраїчної різниці числових величин

$$15 \begin{matrix} +0,3 \\ -0,2 \end{matrix}$$

означає, що вони завжди мають знак: плюс (+) або мінус (–), наприклад.

Тепер номінальний розмір можна визначити як розмір, відносно якого визначаються граничні розміри і який служить початком відліку всіх відхилень, як граничних (верхнього та нижнього), так і дійсних.

Дійсне відхилення — це алгебраїчна різниця між дійсним і номінальним розмірами.

Зона значень розмірів, між якими має знаходитися дійсний розмір придатної деталі, характеризує точність розміру і називається допуском, він позначається літерою T. Іншими словами, допуск — це різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами, або алгебраїчна різниця між верхнім і нижнім відхиленнями. Допуск, на відміну від відхилень, знаку немає.

Усі розглянуті поняття — номінальний розмір, дійсний розмір, граничні розміри (найбільший і найменший), граничні відхилення (верхнє та нижнє), допуск — можна подати графічно у вигляді полів допусків. При цьому вісь виробу завжди розташовують під схемою.

Поле допуску визначається:

1. Великою допуску.
2. Його положенням відносно номінального розміру.

При графічному зображенні поле допуску розташоване між двома прямими лініями, які відповідають верхньому та нижньому відхиленням

відносно так званої нульової лінії.

Під нульовою лінією розуміють лінію, що відповідає номінальному розміру, від якого відкладаються відхилення розмірів при графічному зображенні допусків. У разі горизонтального розташування нульової лінії додатні відхилення відкладаються від неї вгору, а від'ємні — донизу. Граничні відхилення та їх знаки (+ або -) зазначаються безпосередньо після номінального розміру. Позначення верхнього граничного відхилення зазначається над ними. Граничні відхилення, які дорівнюють нулю, не зазначаються.

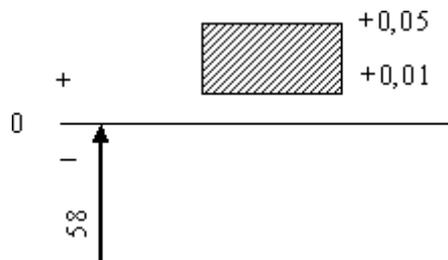
За заданими граничними відхиленнями номінальних розмірів можна визначити підрахунком граничні розміри, допуск і поле допуску.

Відхилення відкладаються в масштабі. Встановлено 5 випадків положення відхилень і зображення їх графічно, наприклад:

1. $58^{+0,05}_{+0,01}$
2. $49^{+0,06}$
3. $27^{+0,04}_{-0,02}$
4. $14^{-0,28}_{-0,32}$
5. $38_{-0,04}$

Позначимо d — номінальний розмір; d_{\max} — найбільший граничний розмір; d_{\min} — найменший граничний розмір; IT — допуск; ES — верхнє відхилення; EI — нижнє відхилення; $d_{\max} = d + ES$; $d_{\min} = d + EI$; $IT = ES - EI$.

Розглянемо кожен із п'яти випадків. Визначити граничні розміри, величину допуску, побудувати графічно поле допуску.



$$d = 58;$$

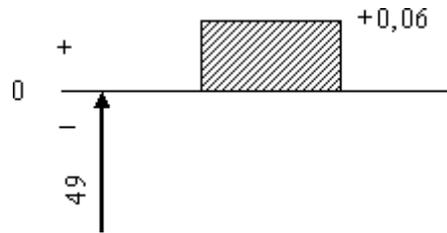
$$ES = +0,05;$$

$$EI = +0,01;$$

$$d_{\max} = d + ES = 58 + 0,05 = 58,05; d_{\min} = d + EI = 58 + 0,01 = 58,01;$$

$$IT = d_{\max} - d_{\min} = 58,05 - 58,01 = 0,04; IT = ES - EI = 0,05 - 0,01 = 0,04.$$

$$d = 49;$$



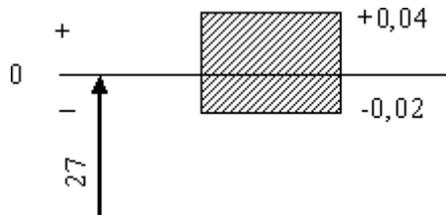
$$ES = +0,06;$$

$$EI = 0.$$

$$d_{\max} = d + ES = 49 + 0,06 = 49,06; d_{\min} = d + EI = 49 + 0 = 49,0;$$

$$IT = d_{\max} - d_{\min} = 49,06 - 49,0 = 0,06; IT = 0,06.$$

$$d = 27;$$

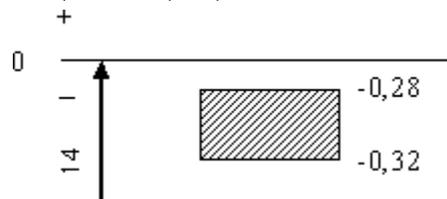


$$ES = +0,04;$$

$$EI = -0,02;$$

$$d_{\max} = d + ES = 27 + 0,04 = 27,04; d_{\min} = d + EI = 27 + (-0,02) = 26,98;$$

$$IT = d_{\max} - d_{\min} = 27,04 - 26,98 = 0,06; IT = ES - EI = 0,04 - (-0,02) = 0,06.$$



$$d = 14;$$

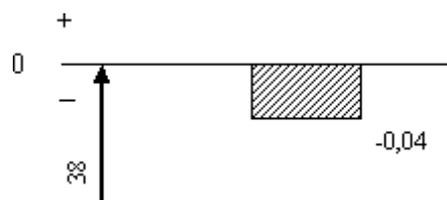
$$ES = -0,28;$$

$$EI = -0,32;$$

$$d_{\max} = d - (-ES) = 14 + (-0,28) = 13,72;$$

$$d_{\min} = d - (-EI) = 14 + (-0,32) = 13,68; IT = d_{\max} - d_{\min} = 13,72 - 13,68 = 0,04;$$

$$IT = 0,04.$$



$$d = 38;$$

$$ES = 0;$$

$$EI = -0,04;$$

$$d_{\max} = d + 0 = 38;$$

$$d_{\min} = d + EI = 38 + (-0,04) = 37,96; IT = d_{\max} - d_{\min} = 38 - 37,96 = 0,04;$$

$$IT = 0,04.$$

Одного вміння правильно прочитати розмір на кресленні замало, необхідно вміти враховувати вимоги, задані на кресленні, у процесі виготовлення виробу, в першу чергу — визначати придатність дійсного розміру.

Дійсний розмір (DД), тобто розмір, встановлений вимірюванням, буде придатним, якщо він не перевищуватиме найбільший граничний розмір і не буде меншим від найменшого граничного розміру або дорівнюватиме їм. Це і є умовою придатності дійсного розміру.

$$D_{\min} \leq DД \leq D_{\max} \quad (3.1)$$

$$d_{\min} \leq dД \leq d_{\max} \quad (3.2)$$

Введення термінів «вал» і «отвір» (тобто прив'язка розміру до креслення деталі) дозволяє уточнити умову придатності дійсного розміру. Якщо розмір — брак, то необхідно надати характеристику браку: брак виправний, брак невивправний.

Якщо елемент деталі є зовнішнім, тобто валом, то завищений дійсний розмір (більше найбільшого граничного) можна виправити додатковою обробкою — брак є виправним.

Якщо елемент деталі є внутрішнім, тобто отвором, то завищений дійсний розмір (більше найбільшого граничного) виправити обробкою (зробити менше) вже не можна, отже, в цьому випадку брак невивправний.

Розглянемо випадок, коли елемент деталі є зовнішнім, тобто валом (рис. 3.2):

- якщо дійсний розмір виявиться більше найбільшого граничного розміру — брак виправний;
- якщо дійсний розмір виявиться менше найменшого граничного розміру — брак невивправний (остаточний).

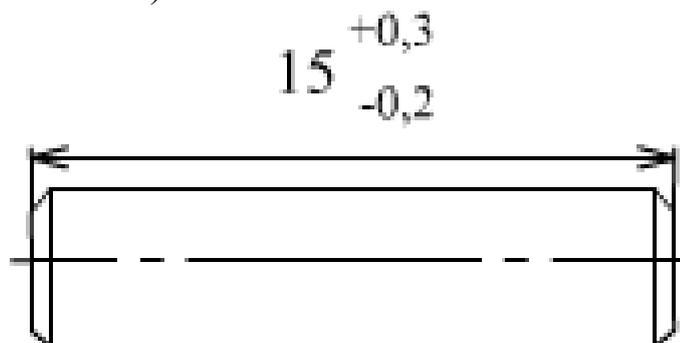


Рис. 3.2. Розмір деталі — зовнішній

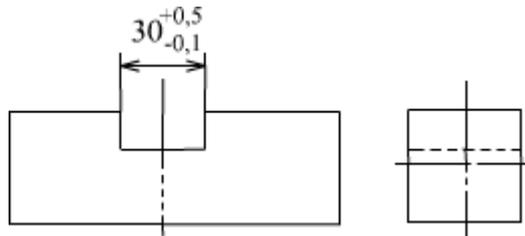
Таблиця 3.2

Визначення придатності деталі

| Дійсний розмір, $DД$ | Висновок стосовно придатності |
|----------------------|--------------------------------------|
| 15,6 | $dД > d_{max}$ — брак виправний |
| 15,3 | $dД = d_{max}$ — придатний |
| 15,0 | $d_{min} < dД < d_{max}$ — придатний |
| 14,7 | $dД < d_{min}$ — брак невиправний |

Розглянемо випадок, коли елемент деталі є внутрішнім, тобто отвором (рис. 3.3):

- якщо дійсний розмір виявиться менше найменшого граничного розміру — брак виправний;
- якщо дійсний розмір виявиться більше найбільшого граничного розміру



- брак невиправний (остаточний).

Рис. 3.3. Розмір деталі — внутрішній

Таблиця 3.3

Визначення придатності деталі

| Дійсний розмір, $DД$ | Висновок стосовно придатності |
|----------------------|--------------------------------------|
| 30,6 | $DД > D_{max}$ — брак невиправний |
| 30,5 | $DД = D_{max}$ — придатний |
| 30,0 | $D_{min} < DД < D_{max}$ — придатний |
| 29,5 | $DД < D_{min}$ — брак виправний |

Типи посадок

Усі машини, верстати, пристрої, механізми складаються з взаємоз'єднаних деталей. Конструкції з'єднань і вимоги до них можуть бути різними. Залежно від призначення з'єднання сполучувані деталі машин і механізмів під час роботи або мають здійснювати один відносно одного той чи інший рух, або, навпаки, зберігати один відносно одного повну

нерухомість.

Для забезпечення рухомості з'єднання потрібно, щоб дійсний розмір охоплюваного елемента однієї деталі (отвору) був більше дійсного розміру охоплюваного елемента іншої деталі (вала).

Різниця дійсних розмірів отвору і вала, якщо розмір отвору більше розміру вала, називається зазором.

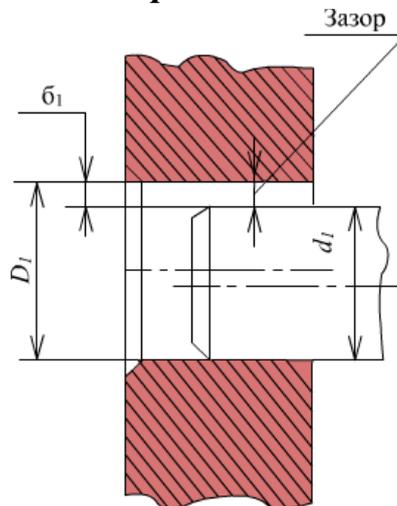


Рис. 3.4. Посадка із зазором:

b_1 — величина зазору; D_1 — діаметр отвору; d_1 — діаметр вала

Для отримання нерухомого з'єднання потрібно, щоб дійсний розмір охоплюваного елемента однієї деталі (вала) був більше дійсного розміру охоплюючого елемента іншої деталі (отвору).

Різниця дійсних розмірів вала й отвору до складання, якщо розмір вала більше розмірів отвору, називається натягом.

Слід мати на увазі, що після складання розміри вала й отвору при створенні натягу будуть однакові, оскільки при складанні деталі деформуються, чим і забезпечується нерухомість з'єднання.

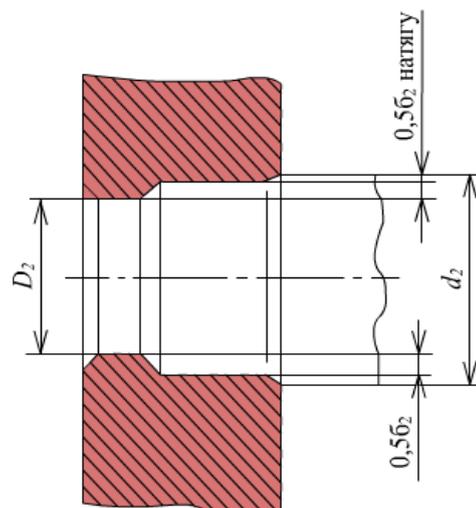


Рис. 3.5. Посадка з натягом:

b_2 — величина натягу; D_2 — діаметр отвору; d_2 — діаметр вала

Технологічний процес складання з'єднання з натягом виконується або запресуванням із зусиллям вала в отвір (при малих натягах), або за рахунок збільшення безпосередньо перед складанням розміру отвору шляхом нагрівання (при великих натягах).

Сполучення, створене в результаті з'єднання отворів і валів (охоплюючих і охоплюваних елементів деталей) з однаковими номінальними розмірами, зазвичай називають посадкою. Точнішим є таке визначення: посадка — це характер з'єднання деталей, визначений величиною отримуваних у ньому зазорів або натягів.

Слід звернути особливу увагу на таке: характер з'єднання залежить від дійсних розмірів сполучуваних деталей перед складанням, а номінальні розміри отвору і вала, які складають з'єднання, є однаковими.

Оскільки дійсні розміри придатних отворів і валів у партії деталей, виготовлених за одними і тими самими кресленнями, можуть коливатися між заданими граничними розмірами, отже, і величина зазорів і натягів може коливатися залежно від дійсних розмірів сполучуваних деталей. Тому розрізняють найбільший і найменший зазори і відповідно найбільший і найменший натяги.

Найбільший зазор S_{\max} дорівнює різниці між найбільшим граничним розміром отвору D_{\max} і найменшим граничним розміром вала d_{\min} :

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} \quad (3.3)$$

Найменший зазор S_{\min} дорівнює різниці між найменшим граничним розміром отвору D_{\min} і найбільшим граничним розміром вала d_{\max} :

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}. \quad (3.4)$$

Найбільший натяг N_{\max} дорівнює різниці між найбільшим граничним розміром вала d_{\max} і найменшим граничним розміром отвору D_{\min} :

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}. \quad (3.5)$$

Найменший натяг N_{\min} дорівнює різниці між найменшим граничним розміром вала d_{\min} і найбільшим граничним розміром отвору D_{\max} :

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}. \quad (3.6)$$

Покажемо на прикладах, як обчислюються відповідно до наведених визначень найбільші та найменші зазори і натяги.

Приклад 1. На кресленні отвору зазначений розмір $50^{+0.02}$, а на кресленні вала — $50^{-0.03}$ розмір. Здійснимо необхідні розрахунки.
Граничні розміри отвору, мм: $D_{\max} = 50,0 + 0,02 = 50,02$; $D_{\min} = 50,00$.

Граничні розміри вала, мм: $d_{\max} = 50,00 - 0,03 = 49,97$; $d_{\min} = 50,00 - 0,06 = 49,94$.

Зазор, мм: $S_{\max} = 50,02 - 49,94 = 0,08$; $S_{\min} = 50,0 - 49,97 = 0,03$.

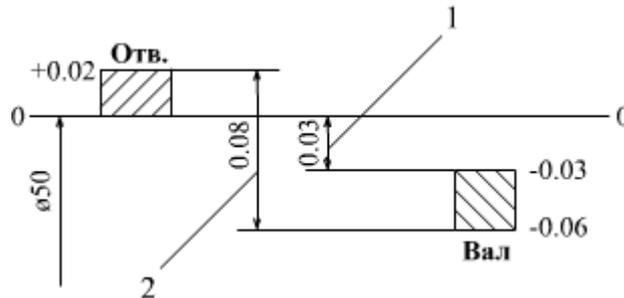


Рис. 3.6. Графічне зображення посадки із зазором:
1 — найменший зазор S_{\min} ; 2 — найбільший зазор S_{\max}

Приклад 2. На кресленні отвору зазначений розмір $50^{+0.02}$, а на кресленні вала — $50^{+0.05}_{+0.03}$ розмір. Проведемо необхідні розрахунки.

Граничні розміри отвору, мм: $D_{\max} = 50,00 + 0,02 = 50,02$; $D_{\min} = 50,00$.

Граничні розміри вала, мм: $d_{\max} = 50,00 + 0,05 = 50,05$; $d_{\min} = 50,00 + 0,03 = 50,03$.

Натяг, мм: $N_{\max} = 50,05 - 50,00 = 0,05$; $N_{\min} = 50,03 - 50,02 = 0,01$.

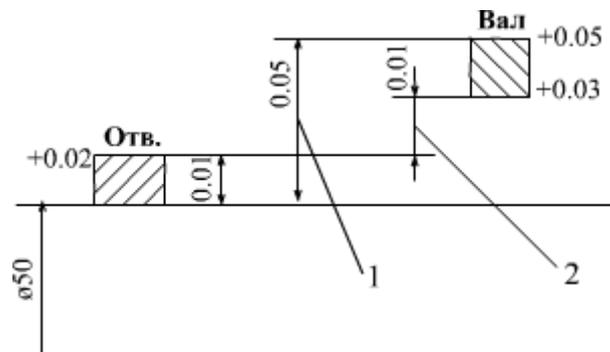


Рис. 3.7. Графічне зображення посадки з натягом:
1 — найбільший натяг N_{\max} ; 2 — найменший натяг N_{\min}

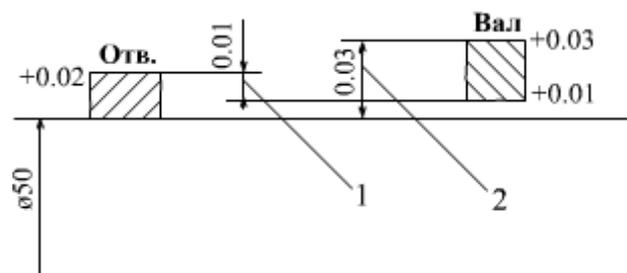
На рис. 3.6 видно, що при графічному зображенні посадки із зазором поле допуску отвору розташовується над полем допуску вала, тобто розміри придатного отвору завжди більші за розміри придатного вала, як і було зазначено раніше при введенні поняття «зазор».

У такий самий спосіб на рис. 3.7 можна побачити, що при графічному зображенні посадки з натягом поле допуску отвору розташоване під полем допуску вала, тобто розміри придатного отвору завжди менші від розмірів придатного вала, як і було зазначено раніше при введенні поняття «натяг». Разом з посадками із зазором і посадками з натягом, коли зазор або відповідно натяг у з'єднанні гарантуються сполученням будь-яких придатних

отворів і валів, можливий і такий варіант, коли граничні розміри сполучуваних деталей не гарантують отримання у сполученні лише зазору або лише натягу. Такі посадки називають перехідними, в цьому випадку можливе отримання як зазору, так і натягу, конкретний характер з'єднання залежатиме від дійсних розмірів сполучуваних додатних отворів і валів. Покажемо це на прикладі.

Приклад 3.

На кресленні отвору зазначений розмір $50^{+0.02}$, а на кресленні вала —



$50^{+0.03}_{+0.01}$. Здійснимо необхідні розрахунки. Граничні розміри отвору, мм: $D_{\max} = 50,00 + 0,02 = 50,02$; $D_{\min} = 50,00$. Граничні розміри вала, мм: $d_{\max} = 50,00 + 0,03 = 50,03$; $d_{\min} = 50,00 + 0,01 = 50,01$.

Рис. 3.8. Графічне зображення перехідної посадки:

1 — найбільший зазор S_{\max} ; 2 — найбільший натяг N_{\max}

Якщо уявити з'єднання отвору, що має найбільший граничний розмір, з валом, що має найменший граничний розмір, то створюється посадка із зазором, оскільки отвір більше вала, при цьому зазор буде найбільшим і дорівнюватиме $S_{\max} = 50,02 - 50,01 = 6,01$ мм.

Якщо ж уявити з'єднання отвору, що має найменший граничний розмір, із валом, що має найбільший граничний розмір, то виникне посадка з натягом, оскільки вал більше отвору, при цьому натяг буде найбільшим і дорівнюватиме $N_{\max} = 50,03 - 50,00 = 0,03$ мм.

При графічному зображенні перехідної посадки (рис. 3.8) поля допусків отвору і вала перекриваються, тобто розміри додатного отвору можуть виявитися і більше і менше розміру додатного вала, що й не дозволяє заздалегідь, до виготовлення пари сполучуваних деталей, сказати, якою буде посадка — із зазором чи з натягом.

Посадки з гарантованим зазором використовуються в тих випадках, коли допускається відносний зсув деталей; посадки з гарантованим натягом — коли необхідно передавати зусилля або обертальний момент без додаткового кріплення лише за рахунок пружних деформацій, які виникають під час складання сполучуваних деталей.

Перехідні посадки мають невеликі граничні зазори і натяги і тому їх

застосовують у тих випадках, коли необхідно забезпечити центрування деталей, тобто збіг осей отвору і вала; при цьому у з'єднанні потрібне додаткове закріплення з'єднаних деталей.

Посадки в системі отвору та в системі вала

Посадки всіх трьох груп із зазорами, з натягами, перехідні з різними величинами найбільших і найменших зазорів і натягів можна отримувати, змінюючи положення полів допусків обох сполучуваних деталей — отвору і вала. Однак, вочевидь, таких сполучень може виявитися безліч, що призвело б до неможливості централізованого виготовлення мірного різального інструменту (свердел, зенкерів, розверток), який формує розмір отвору.

Набагато зручніше з технологічного (під час виготовлення) й експлуатаційного (при ремонті) погляду отримувати різні посадки, змінюючи положення поля допуску лише однієї деталі при незмінному положенні поля допуску іншої.

Наприклад, різні посадки, розглянуті в прикладах 1, 2, 3, створені зміною лише полів допуску валів при постійних полях допуску отворів. Такий спосіб створення різних посадок називається системою отвору. Деталь, у якій положення поля допуску є базовим і не залежить від характеру з'єднання, що вимагається, називають основною деталлю системи (в розглянутому випадку — отвір). Аналогічні посадки можуть бути отримані в інший спосіб, якщо за основну деталь узяти вал, а для створення різних посадок змінювати поля допусків отворів. Такий спосіб створення називається системою вала.

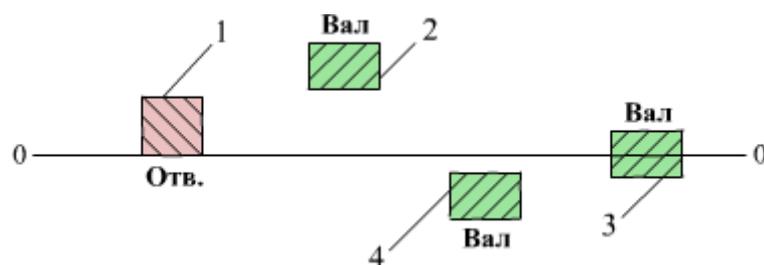


Рис. 3.9. Графічне зображення посадок у системі отвору:

1 — поле допуску основного отвору; 2 — поле допуску вала для посадки з натягом; 3 — поле допуску вала для перехідної посадки; 4 — поле допуску вала для посадки з зазором.

Таким чином, посадки в системі отвору — це посадки, в яких різні зазори та натяги отримують з'єднанням різних валів з основним отвором (рис. 3.9).

Посадки в системі вала — це посадки, в яких різні зазори та натяги отримують з'єднанням різних отворів з основним валом (рис. 3.10).

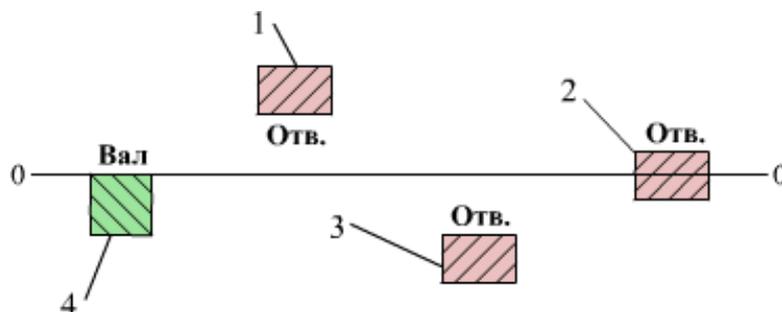


Рис. 3.10. Графічне зображення посадок у системі вала:

1 — поле допуску отвору для посадки із зазором; 2 — поле допуску отвору для перехідної посадки; 3 — поле допуску отвору для посадки із натягом; 4 — поле допуску основного вала

У практиці машинобудування перевага надається системі отвору, оскільки виготовити отвір та виміряти його значно складніше і дорожче, ніж виготовити й виміряти вал такого самого розміру з однаковою точністю.

Так, вали різної точності (і високої) можна обробляти й вимірювати універсальними інструментами — різцями, шліфувальними кругами, мікрометрами тощо. А для обробки й вимірювання точних отворів потрібні спеціальні високовартісні інструменти (зенкери, розвертки, протяжки, калібри-пробки). Кількість комплектів таких інструментів, необхідних для обробки отворів з однаковим номінальним розміром, залежить від різноманіття граничних відхилень, які можуть бути призначені конструктором. Припустимо, потрібно виготовити три комплекти деталей однакових номінальних розмірів та однакової точності для створення посадок із зазором, натягом і перехідної. Якщо взяти систему отвору, то граничні розміри отворів для всіх посадок будуть однаковими та для обробки й вимірювання отворів знадобиться лише один комплект спеціальних інструментів. Для цього ж випадку в системі вала граничні розміри отворів для кожної посадки будуть різними й, отже, для обробки знадобиться три комплекти спеціальних інструментів.

Для того щоб зробити призначення посадок конструктором і обробку деталей робочим ще зручнішим, домовилися, що поля допусків основних деталей систем посадок мають задовольняти одній обов'язковій умові: один із граничних розмірів основної деталі має збігатися з номінальним розміром. Причому для основного отвору таким граничним розміром має бути найменший (або, що те саме, — нижнє відхилення основного отвору має

дорівнювати нулю, а для основного вала таким граничним розміром має бути найбільший (або, що те саме, — верхнє граничне відхилення основного вала має дорівнювати нулю). Усе вищенаведене означає, що для основних деталей системи прийнято асиметричне одностороннє поле допуску. Запам'ятати це можна таким чином. Допуск основної деталі системи посадок завжди спрямований «у тіло» цієї деталі: у випадку основного отвору — на збільшення граничного розміру порівняно з номінальним; у випадку основного вала — на зменшення граничного розміру порівняно з номінальним.

Розглянемо приклад на визначання характеру з'єднання (групи посадок) за графічним зображенням посадок.

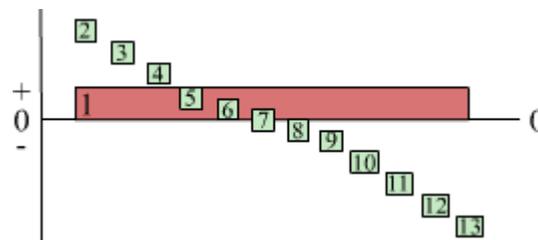


Рис. 3.11. Взаємне розташування полів допусків сполучуваних деталей у системі отвору: 1 — поле допуску основної деталі системи; 2—13 — поля допусків сполучуваних деталей

Аналіз графічного зображення посадок:
 назва основної деталі системи — основний отвір;
 характеристика поля допуску цієї деталі — нижнє відхилення $EI = 0$; назва деталі, сполучуваної з основною — вали;
 характер з'єднання (група посадок), створюваного основною та сполучуваною деталями з полями допусків — 1—2; 1—3; 1—4 — посадки з натягом; 1—5; 1—6; 1—7; 1—8 — перехідної посадки; 1—9; 1—10; 1—11; 1—12; 1—13 — посадки із зазором.

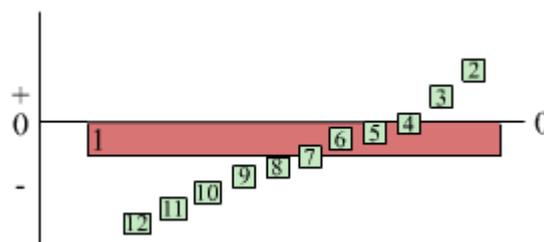


Рис. 3.12. Взаємне розташування полів допусків сполучуваних деталей у системі вала: 1 — поле допуску основної деталі системи;

2—12 — поля допусків сполучуваних деталей

Аналіз графічного зображення посадок:

назва основної деталі системи — основний вал;

характеристика поля допуску цієї деталі — верхнє

відхилення $e_i = 0$; назва деталі, сполучуваної з

основною — отвір;

характер з'єднання (група посадок), створюваного основною та сполучуваною

деталлями з полями допусків — 1—2; 1—3 — посадки із зазором; 1—4; 1—5; 1—6;

1—7 — перехідної посадки; 1—8; 1—

9; 1—10; 1—11; 1—12 — посадки з натягом.

Контрольні запитання

1. У чому полягає різниця між номінальним і дійсним розмірами?
2. Які розміри називають граничними?
3. Як пов'язані між собою граничний розмір, номінальний розмір і граничне відхилення?
4. Що визначає допуск?
5. Як пов'язані між собою граничні розміри та допуск?
6. Як пов'язані між собою граничні відхилення та допуск?
7. Що таке посадка?
8. Чим характеризується посадка?
9. Що таке зазор і якими є умови його виникнення?
10. Що таке натяг і якими є умови його виникнення?
11. Як створюються посадки в системі отвору?
12. Як створюються посадки в системі вала?
13. Яка з систем посадок є переважною та чому?
14. Як розташоване поле допуску основного отвору в системі отвору?
15. Як розташоване поле допуску основного вала в системі вала?
16. Як за взаємним розташуванням полів допусків отвору й вала при графічному зображенні посадки визначити характер з'єднання?

Лекція №4 Допуски та посадки гладких циліндричних з'єднань

1. Побудова систем допусків і посадок ЄСДП і ОСТ
2. Поля допусків ЄСДП СЕВ і ОСТ
3. Посадки переважного застосування
4. Застосування посадок ЄСДП СЕВ і системи ОСТ
5. Таблиці граничних відхилень ЄСДП і ОСТ

Побудова систем допусків і посадок ЄСДП і ОСТ

Системою допусків і посадок називають сукупність рядів допусків і посадок, закономірно побудованих на підставі досвіду, теоретичних та експериментальних досліджень і оформлених у вигляді стандартів.

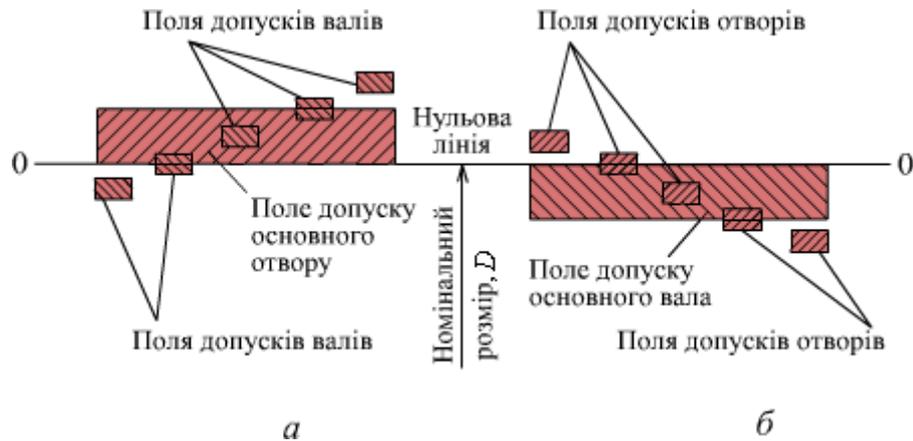
Система призначена для вибору мінімально необхідних, проте достатніх для практики варіантів допусків і посадок типових з'єднань деталей машин; вона надає можливість стандартизації різальних інструментів і калібрів, полегшує конструювання, виробництво й досягнення взаємозамінності виробів і їх частин, а також підвищує їх якість. У нашій країні застосовували системи допусків і посадок, оформлені загальносоюзними (ОСТ) і державними (ГОСТ) стандартами.

На сьогодні більшість країн світу застосовує системи допусків і посадок ISO. Системи ISO створені для можливої уніфікації національних систем допусків і посадок і покращання міжнародних технічних зв'язків у металообробній промисловості. Залучення стандартів і рекомендацій ISO в національні стандарти створює умови для забезпечення взаємозамінності однотипних деталей, складових частин і виробів, виготовлених у різних країнах.

Країни — члени СЕВ прийняли рішення про перехід на єдину систему допусків і посадок (ЄСДП СЕВ) й основні норми взаємозамінності, які засновані на стандартах і рекомендаціях ISO. ЄСДП СЕВ поширюється на сполучувані та несполучувані циліндричні, плоскі й інші елементи деталей. Перехід на ЄСДП розпочатий із 1.1.1977 р. і завершений 1.1.1980 р.

На сьогодні міжнародна торгівля й науково-технічні зв'язки держав усе більше розширюються. Разом з цим у промисловість впроваджуються й системи допусків ISO. Так, на ЗАЗі автомобілі «Славути» випускають переважно із застосуванням системи допусків і посадок ISO.

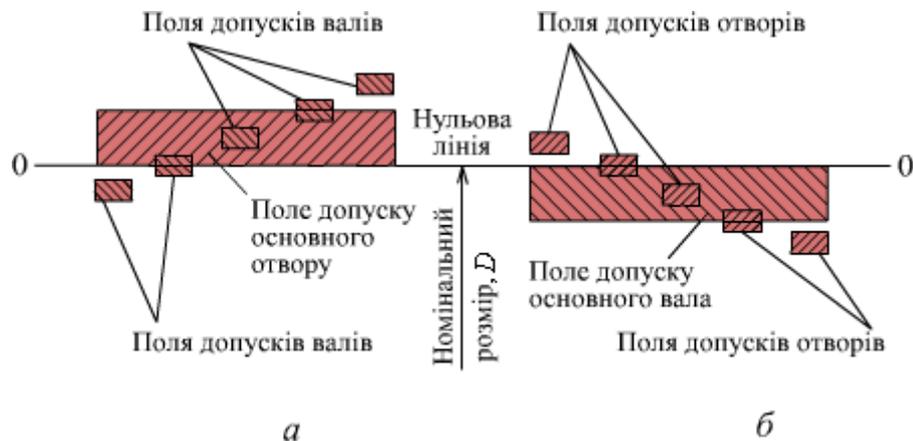
Системи допусків і посадок ГОСТ, ISO і ЄСДП СЕВ для типових



деталей машин створені за єдиними принципами. Передбачені посадки в системі отвору й у системі вала (рис. 4.1).

Рис. 4.1. Приклади розташування полів допусків для посадок у системі отвору (а) й у системі вала (б)

Система отвору є переважною, оскільки виконати вал потрібного діаметра й підігнати под отвір значно простіше (рис. 4.2; по внутрішньому діаметру підшипника). Система вала застосовується, наприклад, у посадці підшипника по зовнішньому діаметру.



Застосування системи отвору та системи вала

Однак у деяких випадках з конструктивних міркувань доводиться застосовувати систему вала, наприклад, тоді, коли потрібно чергувати з'єднання декількох отворів однакового номінального розміру, проте з різними посадками на одному валі. У з'єднанні, показаному на рис. 2.3, а, має бути забезпечена рухома посадка валика 1 з тягою 3 і нерухома його посадка звилкою

2. Якщо виконати це з'єднання в системі отвору (рис. 2.3, б), то валик

доведеться робити східчастим, причому крайні східці повинні мати більший діаметр, ніж середні. Монтаж такого вузла ускладнений (валик, проходячи стовщеним східцем крізь отвір у вилці, пошкодить поверхню отвору). Отже, в цьому випадку доцільно обрати систему вала (рис. 2.3, в). Систему вала вигідніше застосовувати й тоді, коли деталі типу тяг, осей, валиків можуть бути виготовлені з точних холоднотягнутих прутків без механічної обробки їх зовнішньої поверхні. При виборі системи посадок слід враховувати також допуски на стандартні деталі та складові частини виробів.

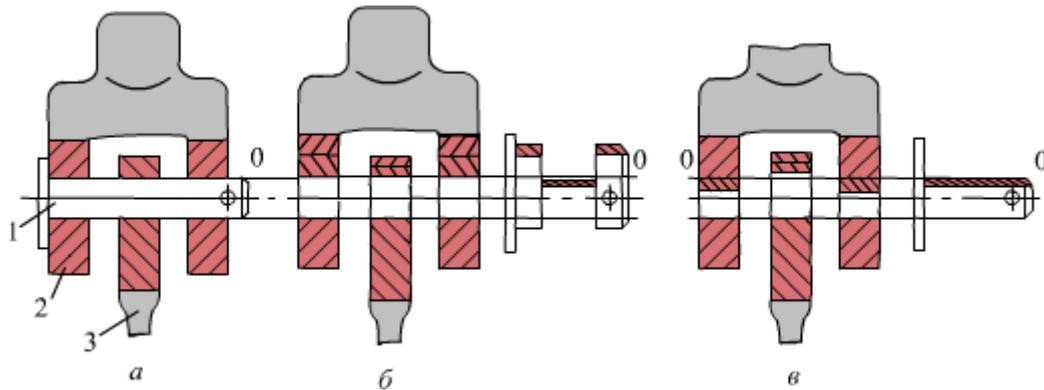


Рис. 4.3. Шарнірне з'єднання вилки з тягою (форма валика і розташування полів допусків для наочності показані схематично):

а — з'єднання валика тяги й вилки; б — з'єднання деталей у системі отвору; в — з'єднання деталей у системі вала; 1 — валик; 2 — вилка; 3 — тяга
Одиниці допуску. У системі ЄСДП СЕВ так само, як і в ОСТ, визначені емпірично, тобто дослідним шляхом.

Одиниця допуску — експериментально встановлена залежність, яка дозволяє об'єктивно оцінювати точність розмірів різної величини і яка необхідна для науково обґрунтованого складання рядів допусків.

Оцінка відносної точності однакових номінальних розмірів не викликає ускладнень. Наприклад, зрозуміло, що розмір 8 з допуском 0,02 мм удвічі точніший, ніж із допуском 0,04 мм. Інакше відбувається при різних номінальних розмірах, оскільки помічено, що зі збільшенням розміру оброблюваних поверхонь одного і того самого допуску дотримуватися стає все складніше, тобто точність таких розмірів мовби зростає. Встановлено, що при найрізноманітніших видах механічної обробки (точіння, шліфування, свердління, розкручування тощо) розсіювання дійсних розмірів залежно від номінального розміру змінюється за законом параболі.

Як одиниця точності, за допомогою якої можна виразити залежність

точності від номінального розміру, практикою була встановлена одиниця допуску i . Робочому у своїй практичній діяльності одиницями допуску користуватися не доводиться. Числові значення допусків, обчислені з урахуванням одиниці допуску, наведені в ГОСТ 25346—82.

Ряди точності. Як уже зазначалося, різні деталі машин залежно від призначення й умов роботи потребують різної точності виготовлення. В ЄСДП СЕВ передбачено кілька рядів точності, названих квалітетами.

Квалітет — це сукупність допусків, що відповідають однаковому ступеню точності для всіх номінальних розмірів. Іншими словами, кожен квалітет характеризується певною кількістю одиниць допуску — таким був принцип складання стандарту на підставі чіткої закономірності зміни величини допуску з урахуванням номінального розміру.

Для розмірів від 1 до 500 мм встановлено дев'ятнадцять квалітетів: 01, 0 і з 1-го по 17-й. Із зростанням номера квалітету допуск збільшується, тобто точність спадає. Для посадок передбачені квалітети з 5-го по 12-й.

Допуски в кожному квалітеті ЄСДП СЕВ позначаються двома літерами латинського алфавіту (IT) з додаванням номера квалітету. Наприклад, IT5 означає допуск по 5-му квалітету, а IT10 — допуск по 10-му квалітету.

Ряди точності в системі ОСТ називають класами точності (а в ЄСДП СЕВ — квалітетами).

Для розмірів від 1 до 500 мм у системі ОСТ найуживанішими є одинадцять класів точності: 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5, 7, 8, 9, 10. Зі зростанням номера класу допуск збільшується, тобто точність спадає. Для посадок передбачені класи з 1-го по 5-й.

Приблизну відповідність класів точності ОСТ і квалітетів ЄСДП СЕВ наведено нижче.

Таблиця 4.1

Відповідність класів точності ОСТ і квалітетів ЄСДП СЕВ

| | | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|----|---|----|---|---|---|---|---|----|
| Класи точності | 1 | 2 | 2а | 3 | 3а | 4 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------|---|---|----|---|----|---|---|---|---|---|----|

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Квалітети | вал | вал | вал | отв | вал | отв | 8 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | | | | | | | — | | | — | | | | |
| | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | | | | | | | | |
| | | | | | | | 9 | | | 13 | | | | |

Для найуживаніших у загальному машинобудуванні квалітетів (з 5-го по 17-й) значення допусків наведено в табл. 4.2.

Уважно переглянувши будь-який рядок табл. 2.2, зазначимо, що допуски однакових розмірів у різних квалітетах є різними, тобто квалітети визначають різну точність однакових номінальних розмірів.

І ще один, напевне, найважливіший для кваліфікованого робочого висновок. Оскільки різні способи обробки деталей мають певну економічно досяжну точність, то призначення квалітету (а отже, й допуску) конструктором і зазначення його на кресленні фактично задають технологію обробки деталей.

Таблиця 4.2

Значення допусків, мкм

| Інтервали номінальних розмірів, мм | Квалітети | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | + | 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 |
| Понад 3 до 6 | 5 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 120 | 180 | 300 | 481 | 751 | 1200 |
| Понад 6 до 10 | 6 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 150 | 220 | 360 | 580 | 900 | 1500 |
| Понад 10 до 18 | 8 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 180 | 270 | 430 | 700 | 1100 | 1800 |
| Понад 18 до 30 | 9 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 210 | 330 | 520 | 840 | 1300 | 2100 |
| Понад 30 до 50 | 11 | 16 | 25 | 39 | 62 | 100 | 160 | 250 | 390 | 620 | 1000 | 1600 | 2500 |
| Понад 50 до 80 | 13 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 300 | 460 | 740 | 1200 | 1900 | 3000 |
| Понад 80 до 120 | 15 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 350 | 540 | 870 | 1400 | 2200 | 3500 |
| Понад 120 до 180 | 18 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 | 1600 | 2500 | 4000 |
| Понад 180 до 250 | 20 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 460 | 720 | 1150 | 1850 | 2900 | 4600 |
| Понад 250 до 315 | 23 | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 520 | 810 | 1300 | 2100 | 3300 | 5200 |
| Понад 315 до 400 | 25 | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 570 | 890 | 1400 | 2300 | 3600 | 5706 |
| Понад 400 до 500 | 27 | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 630 | 970 | 1550 | 2500 | 4000 | 300 |

Інтервали розмірів. Інтервали розмірів у стандартах системи ОСТ збігаються з інтервалами, прийнятими в ЄСДП СЕВ.

Єдина система допусків і посадок (тобто всі стандарти, які входять до неї) оформлена у вигляді таблиць, у яких для номінальних розмірів задані науково обґрунтовані величини граничних відхилень для різних полів допусків отворів і валів. У рядках таблиць зазначені номінальні розміри, в колонках — поля допусків і відповідні їм граничні відхилення. Формально слід було б у зазначених таблицях мати кількість рядків, яка б дорівнювала кількості охоплених стандартом номінальних розмірів. Однак такі таблиці були б дуже громіздкими. Оскільки технологічною практикою обробки деталей встановлено, що складність їх виготовлення майже не відрізняється в певному інтервалі розмірів, то при створенні системи було визнано доцільним допуски задавати не для кожного розміру, а взяти їх однаковими для виділених інтервалів розмірів.

У найважливішому діапазоні номінальних розмірів від 1 до 500 мм у ЄСДП СЕВ встановлено інтервали номінальних розмірів, наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 Значення допусків, мкм

| Основні інтервали | | Проміжні інтервали | |
|-------------------|-----|--------------------|-----|
| понад | до | понад | до |
| — | 3 | — | — |
| 3 | 6 | — | — |
| 6 | 10 | — | — |
| 10 | 18 | 10 | 14 |
| | | 14 | 18 |
| 18 | 30 | 18 | 24 |
| | | 24 | 30 |
| 30 | 50 | 30 | 40 |
| | | 40 | 50 |
| 50 | 80 | 50 | 65 |
| | | 65 | 80 |
| 80 | 120 | 80 | 100 |
| | | 100 | 120 |
| 120 | 180 | 120 | 140 |
| | | 140 | 160 |
| | | 160 | 180 |
| 180 | 250 | 180 | 200 |
| | | 200 | 225 |
| | | 225 | 250 |
| 250 | 315 | 250 | 280 |
| | | 280 | 315 |
| 315 | 400 | 315 | 355 |
| | | 355 | 400 |

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 400 | 500 | 400 | 450 |
| | | 450 | 500 |

Температурний режим. Усі відхилення у стандартах на допуски і посадки розраховані на умови контролю деталей при нормальній температурі (+20 °С). Для особливо точних деталей контроль проводять у спеціальних приміщеннях. В інших випадках стежать лише за тим, щоб температура деталі й вимірювального засобу в момент перевірки була однаковою.

Поля допусків ЄСДП СЕВ і ОСТ

Поле допуску визначає величину допуску і його розташування відносно номінального розміру, а взаємне розташування полів допусків сполучуваних деталей характеризує тип посадки і величини найбільших і найменших зазорів або натягів. Посадки можуть створюватися як у системі отвору, так і в системі вала.

Для створення посадок у ЄСДП СЕВ стандартизовані (незалежно один від одного) два параметри, з яких створюються поля допусків: ряди та значення допусків у різних квалітетах і так звані основні відхилення валів і отворів для визначення положення поля допуску відносно номінального розміру (нульової лінії). Як основне відхилення прийнято відхилення, найближче до нульової лінії, яке характеризує можливе мінімальне відхилення розміру при обробці від номінального. Числові значення основних відхилень стандартизовані стосовно інтервалів номінальних розмірів.

Таким чином, поле допуску в ЄСДП СЕВ створюється сполученням основного відхилення і квалітету. В цьому сполученні основне відхилення характеризує положення поля допусків відносно нульової лінії, а квалітет — величину допуску.

Для створення полів допусків у ЄСДП СЕВ в кожному інтервалі номінальних розмірів установлений ряд допусків із 19 квалітетів по 28 основних відхилень полів допусків валів і отворів. Основні відхилення позначають однією літерою (в окремих випадках двома для сполучень точного машинобудування) латинського алфавіту: великими (А, В, С, CD, D тощо) — для отворів і малими (а, b, с, cd, d тощо) — для валів.

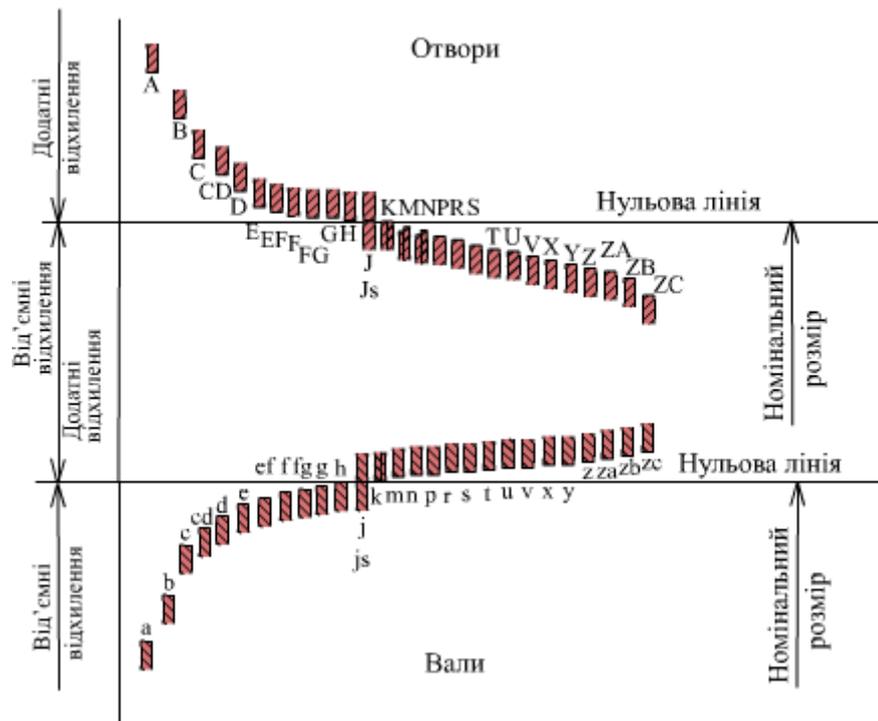


Рис. 4.4. Основні відхилення отворів і валів, прийняті в системі ЄСДП СЕВ

На рис. 4.4 показано положення полів допусків у різних квалітетах при однаковому номінальному розмірі.

Основні відхилення валів залежать від номінальних розмірів і залишаються постійними для всіх квалітетів. Винятком є основні відхилення отворів J, K, M, N і валів j і k, які при однакових номінальних розмірах у різних квалітетах мають різні значення. Тому на рис. 2.4 поля допусків із відхиленнями J, K, M, N, j, k поділені на частини і показані східчастими.

Усі поля допусків (окрім Js і js, які розташовані симетрично відносно нульової лінії) обмежені горизонтальними лініями лише з одного боку: з нижнього, якщо поле допуску розташоване вище нульової лінії, або з верхнього, якщо воно розташоване нижче нульової лінії. Це пояснюється тим, що при одному і тому самому номінальному розмірі для всіх квалітетів допуск має різні значення, а основні відхилення не змінюються.

Основними відхиленнями служать: для валів a — h верхні відхилення — es; для отворів A

— H нижні відхилення +EI; для валів j — zc нижні відхилення +ei; для отворів J — ZC верхні відхилення — ES.

Основні відхилення валів при розробці ЄСДП СЕВ обчислені за емпіричними формулами. Основні відхилення отворів при цьому дібрані таким чином, щоб допускати створення посадок у системі отвору і в системі вала з рівними зазорами і натягами. Таким чином, основні відхилення отворів є відносно нульової лінії дзеркальним відбиттям основних відхилень валів.

Поля допусків основних отворів позначаються літерою H, а

основних валів — h із додаванням номера квалітету, наприклад Н7, Н8, Н9 тощо, при цьому нижні відхилення завжди дорівнюють нулю, і відповідно h_7 , h_8 , h_9 тощо, при цьому верхні відхилення завжди дорівнюють нулю.

Для номінальних розмірів від 1 до 500 мм у ЄСДП СЕВ встановлено 77 полів допусків валів і 68 полів допусків отворів. Кількість полів допусків отворів скорочено за рахунок полів допусків, застосовуваних для посадок із натягами в системі вала.

Для читання розмірів на кресленні необхідно знати, що при умовному позначенні поля допуску спочатку зазначається основне відхилення, а далі квалітет, наприклад:

Ø20 K8,

де **Ø20** — номінальний розмір

отвору, мм; **K** — відхилення

поля допуску отвору;

8 —

квалітет;

16g7,

де **16** — номінальний розмір

вала, мм; **g** — відхилення

поля допуску вала;

7 — квалітет.

Нанесення граничних відхилень на кресленнях здійснюється згідно з ГОСТ 2.307—68 трьома способами:

1. Умовними позначеннями полів допусків, наприклад 20H7, 14e8.
2. Числовими значеннями граничних відхилень, наприклад $20^{+0,021}_{-0,000}$, $14^{+0,032}_{-0,009}$.
3. Умовними позначеннями полів допусків із зазначенням справа в дужках числових значень граничних відхилень, наприклад $14e8^{(-0,032)}_{(-0,009)}$
20H7(+0,021) або .

У всіх випадках спочатку зазначається номінальний розмір.

Найбільш переважним є комбіноване зазначення відхилень (умовним позначенням і числами), в цьому випадку робочому доцільно користуватися кресленням за будь-яких умов.

Умовні позначення полів допусків у системі ОСТ суттєво різняться від відповідних позначень у ЄСДП СЕВ.

У системі ОСТ поля допусків позначаються літерами російського алфавіту: основних отворів — літерою А, а основних валів — В, із додаванням індексу, що відбиває клас точності (у другому класі індекс не зазначається). Наприклад: А1, А, А3, А4 тощо; В1, В, В3, В4 тощо.

Поля допусків деталей, сполучуваних з основними, позначаються літерами російського алфавіту, які відповідають умовним позначенням посадок, для створення яких вони користуються, з додаванням індексу класу точності (у другому класі індекс не ставлять). Використовуються такі позначення: Пр, Гр, ПЛ, Г, Т, Н, П, С, Д, Х, Л, Ш, ТХ.

Нижнє відхилення поля допуску основного отвору А дорівнює нулю, верхнє відхилення поля допуску основного вала В дорівнює нулю. Це аналогічно до полів допусків основного отвору Н й основного вала h у ЄСДП СЕВ.

Застосування посадок ЄСДП СЕВ і системи ОСТ

Застосування різних посадок пояснимо прикладами конкретних і найпоширеніших конструкцій — складальними одиницями двигуна внутрішнього згорання.

Сполучення підшипникової втулки з головкою шатуна тракторного двигуна вимагає нерухомого з'єднання деталей, характеризується різко змінними навантаженнями середньої складності, наявністю вібрацій. Такі умови роботи викликають необхідність призначення конструктором посадки в системі отвору з помірними гарантованими натягами. У ЄСДП СЕВ такою

посадкою є посадка (у системі ОСТ їй відповідає пресова посадка).

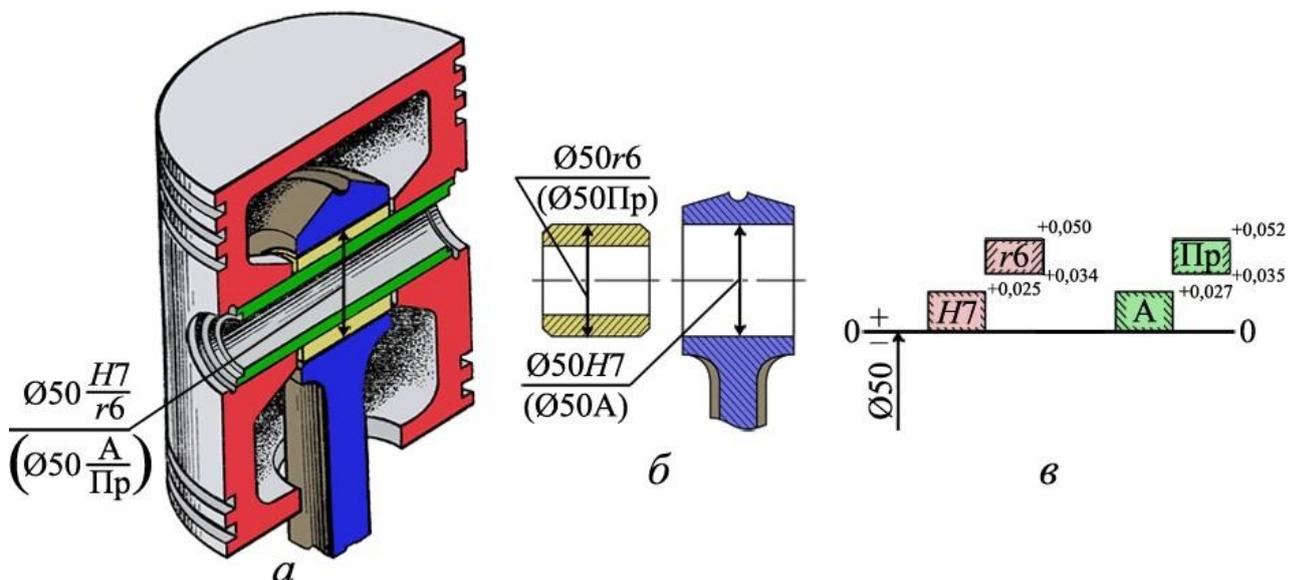


Рис. 4.5. Посадка з натягом:

а — складальна одиниця — втулка в головці шатуна тракторного двигуна; б — креслення деталей складальної одиниці — втулки та головки шатуна; в — графічне зображення посадки

Сполучення поршня тракторного двигуна з поршневим пальцем вимагає неабиякої точності, характеризується різко змінними навантаженнями, розбиранню підлягає вкрай рідко. Для таких умов конструктор призначає перехідну посадку з більш імовірними натягами $\frac{N6}{h5}$ $\frac{I_1}{E_1}$ ЄСДП

СЕВ такою посадкою є посадка в системі вала (в системі ОСТ їй відповідає глуха посадка, рис. 4.6).

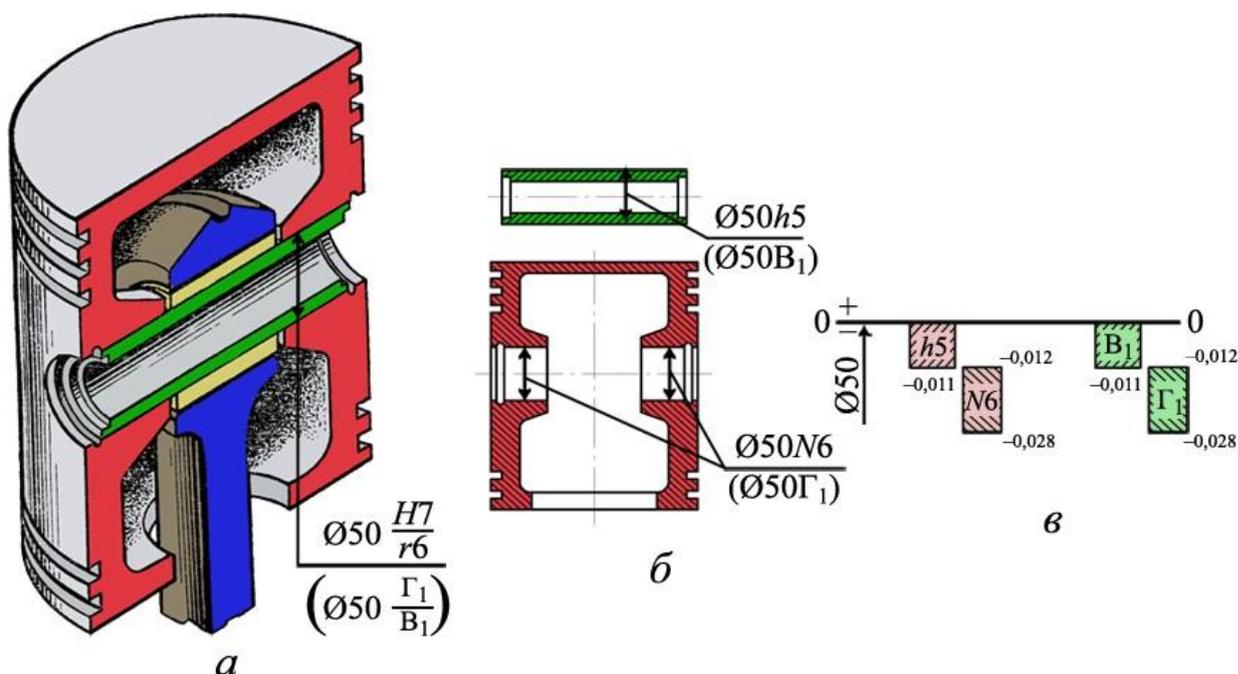


Рис. 4.6. Перехідна посадка:

а — складальна одиниця — поршень тракторного двигуна з поршневим пальцем; б — креслення деталей складальної одиниці — поршня та поршневого пальця; в — графічне зображення посадки Сполучення поршневого пальця тракторного двигуна з втулкою шатуна вимагає рухомого з'єднання надто високої точності, характеризується різко змінними динамічними навантаженнями. Для цих умов роботи конструктор призначає посадку з малим гарантованим зазором. У ЄСДП СЕВ такою посадкою є посадка , найменший зазор у цій посадці дорівнює нулю (в системі ОСТ їй відповідає посадка , рис. 4.7). У двох останніх випадках застосування системи вала

виправдано конструктивними міркуваннями.

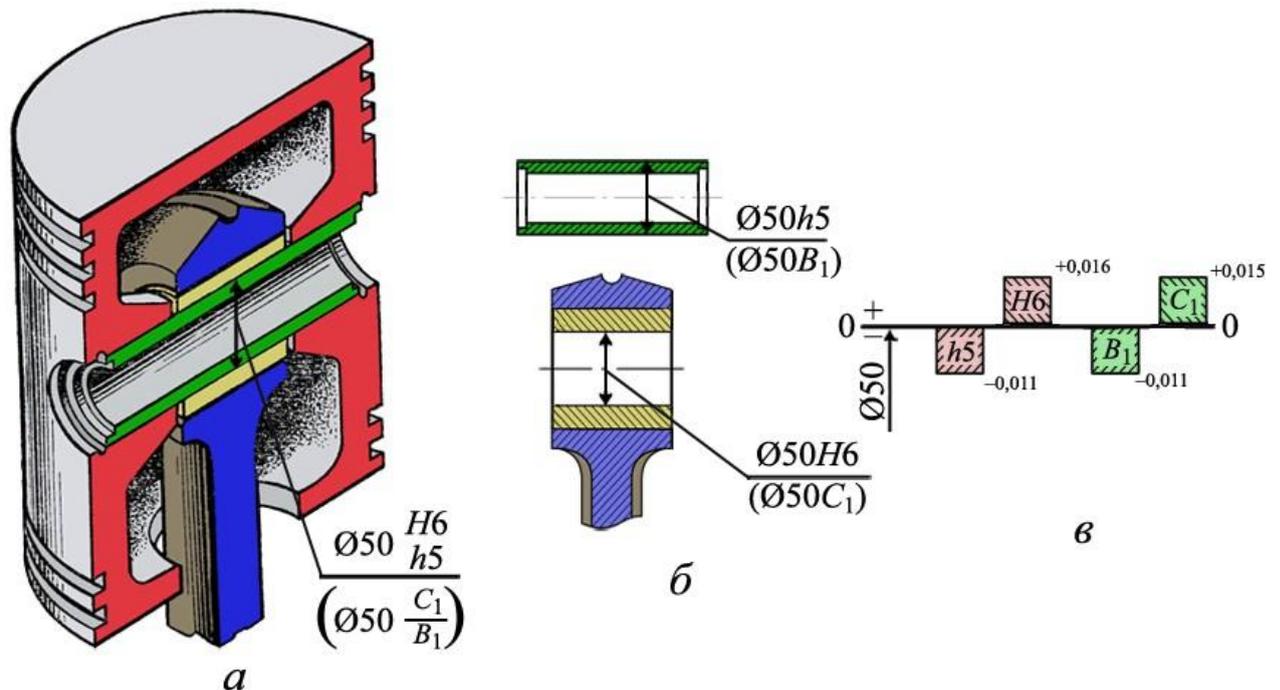


Рис. 4.7. Посадка із зазором:

а — складальна одиниця — поршневий палець тракторного двигуна з втулкою шатуна; б — креслення деталей складальної одиниці — поршневого пальця і втулки шатуна; в — графічне зображення посадки

Одна і та сама деталь — поршневий палець — сполучається в одному випадку з поршнем (потрібна перехідна посадка), в іншому — з підшипниковою втулкою шатуна (потрібна посадка із зазором). При створенні посадок за системою вала, основний вал являє собою гладкий циліндр, край технологічний у виготовленні. І навпаки, якщо призначити посадки в системі отвору, то форма поршневого пальця ускладнюється — це буде східчастий циліндр.

Відповідність зазначених посадок за ЄСДП СЕВ і системою ОСТ визначається порівнянням їх графічних зображень — замінювані поля допусків, величини граничних відхилень деталей і величини найбільших і найменших зазорів і натягів майже ідентичні.

Таблиці граничних відхилень ЄСДП і ОСТ

ГОСТ 25347—82 «Поля допусків и рекомендуемые посадки», який входить до ЄСДП СЕВ, містить таблиці граничних відхилень, у яких наведено рекомендовані переважні поля допусків валів і отворів для найуживаніших у загальному машинобудуванні квалітетів (з 5 до 11).

За цими таблицями для кожного номінального розміру можна відповідно до позначення поля допуску визначити числові значення

граничних відхилень.

При користуванні таблицями ЄСДП СЕВ слід звернути увагу, що інтервали номінальних розмірів зазначені з додаванням слів «понад» і «до». Це означає, що остання цифра (або число) інтервалу належить до цього інтервалу.

Наприклад, номінальний розмір 50 мм належить до інтервалу «понад 30 до 50 мм», а не до інтервалу «понад 50 до 80 мм», номінальний розмір 30 мм належить до інтервалу «понад 18 до 30 мм», а не до інтервалу «понад 30 до 50 мм».

Розглянемо приклади визначення числових значень граничних відхилень за таблицями

4.4, 4.5.

Таблиця 4.4

Граничні відхилення номінальних розмірів отворів 1...500 мм.

Рекомендовані переважні полядопусків отворів за
ГОСТ 25347—82, мкм

| Інтервал розмірів, мм | Поля допусків | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------------|----------|------------------|-----------|------------|----------|------------------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | H5 | G6 | H6 | I _s 6 | K6 | G7 | H7 | I _s 7 | K7 | H8 | E9 | H9 | D11 | H11 |
| | Граничні відхилення, мм | | | | | | | | | | | | | |
| Від 1 до 3 | +4 0 | +8 +2 | +6 0 | +3,0 -3,0 | +0 -6 | +12 +2 | +10 0 | +5 -5 | +0 -10 | +14 0 | +39 +14 | +25 0 | +80 +20 | +60 0 |
| Понад 3 » 6 | +5 0 | +12 +4 | +8 0 | +4,0 -4,0 | +2 -6 | +16 +4 | +12 0 | +6 -6 | +3 -9 | +18 0 | +50 +20 | +30 0 | +105 +30 | +75 0 |
| » 6 » 10 | +6 0 | +14 +5 | +9 0 | +4,5 -4,5 | +2 -7 | +20 +5 | +15 0 | +7 -7 | +5 -10 | +22 0 | +61 +25 | +36 0 | +130 +40 | +90 0 |
| » 10 » 18 | +8 0 | +17 +6 | +11 0 | +5,5 -5,5 | +2 -9 | +24 +6 | +18 0 | +9 -9 | +6 -12 | +27 0 | +75 +32 | +43 0 | +160 +50 | +110 0 |
| » 18 » 30 | +9 0 | +20 +7 | +13 0 | +6,5 -6,5 | +2 -11 | +28 +7 | +21 0 | +10 +10 | +6 -15 | +33 0 | +92 +40 | +52 0 | +195 +65 | +130 0 |
| » 30 » 50 | +11 0 | +25 +9 | +16 0 | +8,0 -8,0 | +3 -13 | +34 +9 | +25 0 | +12 -12 | +7 -18 | +39 0 | +112 +50 | +62 0 | +240 +80 | +160 0 |
| » 50 » 80 | +13 0 | +29 +10 | +19 0 | +9,5 -9,5 | +4 -15 | +40 +10 | +30 0 | +15 -15 | +9 -21 | +46 0 | +134 +60 | +74 0 | +290 +100 | +190 0 |
| » 80 » 120 | +15 0 | +34 +12 | +22 0 | +11,0 -11,0 | +4 -18 | +47 +12 | +35 0 | +17 -17 | +10 -25 | +54 0 | +159 +72 | +87 0 | +340 +120 | +220 0 |
| » 120 » 180 | +18 0 | +39 +14 | +25 0 | +12,5 -12,5 | +4 -21 | +54 +14 | +40 0 | +20 -20 | +12 -28 | +63 0 | +185 +85 | +100 0 | +395 +145 | +250 0 |
| » 180 » 250 | +20 0 | +44 +15 | +29 0 | +14,5 -14,5 | +5 -24 | +61 +15 | +46 0 | +23 -23 | +13 -33 | +72 0 | +215 +100 | +115 0 | +460 +170 | +290 0 |
| » 250 » 315 | +23 0 | +49 +17 | +32 0 | +16,0 -16,0 | +5 -27 | +69 +17 | +52 0 | +26 -26 | +16 -36 | +81 0 | +240 +110 | +130 0 | +510 +190 | +320 0 |
| » 315 » 400 | +25 0 | +54 +18 | +36 0 | +18,0 -18,0 | +7 -29 | +75 +18 | +57 0 | +28 -28 | +17 -40 | +89 0 | +265 +125 | +140 0 | +570 +210 | +360 0 |
| » 400 » 500 | +27 0 | +60 +20 | +40 0 | +20,0 -20,0 | +8 -32 | +83 +20 | +63 0 | +31 -31 | +18 -45 | +97 0 | +290 +135 | +155 0 | +630 +230 | +400 0 |

Таблиця 4.5 Граничні відхилення номінальних розмірів валів 1...500 мм.
Рекомендовані переважні поля

допусків валів за ГОСТ 25347—82, мкм

| Інтервал розмірів, мм | Поля допусків | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|----------|------------------|------------|-------------|----------|------------------|-----------|------------|------------|--------------|------------|----------|--------------|--------------|----------|--------------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| | g5 | h5 | j _s 5 | m5 | g6 | h6 | j _s 6 | k6 | n6 | p6 | r6 | j7 | h7 | s7 | e8 | h8 | u8 | j9 | h9 | d11 | h11 |
| | Граничні відхилення, мм | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Від 1 до 3 | -2 -6 | 0 -4 | +2,0 -2,0 | +6 +2 | -2 -8 | 0 -6 | +3,0 -3,0 | +6 0 | +10 +4 | +12 +6 | +16 +10 | -6 -16 | 0 -10 | +24 +14 | -14 -28 | 0 -14 | +32 +18 | -6 -31 | 0 -25 | -20 -30 | 0 -60 |
| Понад 3 » 6 | -4 -9 | 0 -5 | +2,5 -2,5 | +9 +4 | -4 -11,2 | 0 -8 | +4,0 -4,0 | +9 +1 | +16 +8 | +20 +12 | +23 +15 | -10 -22 | 0 -12 | +31 +19 | -20 -38 | 0 -18 | +41 +23 | -10 -40 | 0 -30 | -30 -105 | 0 -75 |
| » 6 » 10 | -5 -11 | 0 -6 | +3,0 -3,0 | +12 +6 | -5 -14 | 0 -9 | +4,5 -4,5 | +10 +1 | +19 +10 | +24 +15 | +28 +19 | -13 -28 | 0 -15 | +38 +23 | -25 -47 | 0 -22 | +50 +28 | -13 -49 | 0 -36 | -40 -130 | 0 -90 |
| » 10 » 18 | -6 -14 | 0 -8 | +4,0 -4,0 | +15 +7 | -6 -17 | 0 -11 | +5,5 -5,5 | +12 +1 | +23 +12 | +29 +18 | +34 +23 | -16 -34 | 0 -18 | +46 +28 | -32 -59 | 0 -27 | +60 +33 | -16 -59 | 0 -43 | -50 -160 | 0 -110 |
| » 18 » 24 | -7 | 0 | +4,5 | +17 | -7 | 0 | +6,5 | +15 | +28 | +35 | +41 | -20 | 0 | +56 | -40 | 0 | +74 +41 | -20 | 0 | -65 | 0 |
| » 24 » 30 | -16 | -9 | -4,5 | +8 | -20 | -13 | -6,5 | +2 | +15 | +22 | +28 | -41 | -21 | +35 | -73 | -33 | +81 +48 | -72 | -52 | -195 | -130 |
| » 30 » 40 | -9 | 0 | +5,5 | +20 | -9 | 0 | +8,0 | +18 | +33 | +42 | +50 | -25 | 0 | +68 | -50 | 0 | +99 +60 | -25 | 0 | -80 | 0 |
| » 40 » 50 | -20 | -11 | -5,5 | +9 | -25 | -16 | -8,0 | +2 | +77 | +26 | -34 | -50 | -25 | -43 | -89 | -39 | +109 +70 | -82 | -62 | -240 | -160 |
| » 50 » 65 | -10 | 0 | +6,5 | +24 | -10 | 0 | +9,5 | +21 | +39 | +51 | +60 +41 | -30 | 0 | +83 +53 | -60 | 0 | +133 +87 | -30 | 0 | -100 | 0 |
| » 65 » 80 | -23 | -13 | -6,5 | +11 | -29 | -19 | -9,5 | +2 | +20 | +32 | +62 +43 | -60 | -30 | +89 +59 | -106 | -46 | +148 +102 | -104 | -74 | -290 | -190 |
| » 80 » 100 | -12 | 0 | +7,5 | +28 | -12 | 0 | +11,0 | +25 | +45 | +59 | +73 +51 | -36 | 0 | +106 +71 | -72 | 0 | +178 +124 | -36 | 0 | -120 | 0 |
| » 100 » 120 | -27 | -15 | -7,5 | +13 | -34 | -22 | -11,0 | +3 | +23 | +37 | +76 +54 | -71 | -35 | +114 +79 | -126 | -54 | +198 +144 | -123 | -87 | -340 | -220 |
| » 120 » 140 | | | | | | | | | | | +88 +63 | | | +132 +92 | | | +233 +170 | | | | |
| » 140 » 160 | -14 -32 | 0 -18 | +9,0 -9,0 | +33 +15 | -14 -39 | 0 -25 | +12,5 -12,5 | +28 +3 | +52 +27 | +68 +43 | +90 +65 | -43 -83 | 0 -40 | +140 +100 | -85 -148 | 0 -63 | +253 +190 | -43 -143 | 0 -100 | -145 -395 | 0 -250 |
| » 160 » 180 | | | | | | | | | | | +93 +68 | | | +148 +108 | | | +273 +210 | | | | |
| » 180 » 200 | | | | | | | | | | | +106 +77 | | | +168 +122 | | | +308 +236 | | | | |
| » 200 » 225 | -15 -35 | 0 -20 | +10,0 -10,0 | +37 +17 | -15 -44 | 0 -29 | +14,5 -14,5 | +33 +4 | +60 +31 | +79 +50 | +109 +80 | -50 -96 | 0 -46 | +176 +130 | -100 -172 | 0 -72 | +330 +258 | -50 -165 | 0 -115 | -170 -460 | 0 -290 |
| » 225 » 250 | | | | | | | | | | | +113 +84 | | | +186 +140 | | | +356 +284 | | | | |
| » 250 » 280 | -17 | 0 | +11,5 | +43 | -17 | 0 | +16,0 | +36 | +66 | +88 | +126 +94 | -56 | 0 | +210 +158 | -110 | 0 | +396 +315 | -56 | 0 | -190 | 0 |
| » 280 » 315 | -40 | -23 | -11,5 | +20 | -49 | -32 | -16,0 | +4 | +34 | +56 | +130 +98 | -108 | -52 | +222 +170 | -191 | -81 | +431 +350 | -186 | -130 | -510 | -320 |
| » 315 » 355 | -18 | 0 | +12,5 | +46 | -18 | 0 | +18,0 | +40 | +73 | +98 | +144 +108 | -62 | 0 | +247 +190 | -125 | 0 | +479 +390 | -62 | 0 | -210 | 0 |
| » 355 » 400 | -43 | -25 | -12,5 | +21 | -54 | -36 | -18,0 | +4 | +37 | +62 | +150 +114 | -119 | -57 | +265 +208 | -214 | -89 | +524 +435 | -202 | -140 | -570 | -360 |
| » 400 » 450 | -20 | 0 | +13,5 | +50 | -20 | 0 | +20,0 | +45 | +80 | +108 | +166 +126 | -68 | 0 | +295 +232 | -135 | 0 | +587 +490 | -68 | 0 | -230 | 0 |
| » 450 » 500 | -47 | -27 | -13,5 | +23 | -60 | -40 | -20,0 | +5 | +40 | +68 | +172 +132 | -131 | 63 | +315 +252 | -232 | -97 | +637 +540 | -223 | -155 | -630 | -400 |

Таблиця 4.5 містить граничні відхилення номінальних розмірів отворів 1...500 мм, таблиця 2.8 — граничні відхилення номінальних розмірів валів 1...500 мм.

Рядки таблиць — інтервали номінальних розмірів, мм, стовпці — поля допусків. Шукані величини граничних відхилень, мкм, вала або отвору знаходяться на перетині рядка, інтервал номінальних розмірів якого

відповідає заданому на кресленні номінальному розміру, зі стовпцем, у якому позначено задане поле допуску (літера і номер квалітету).

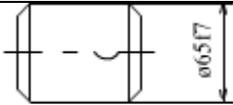
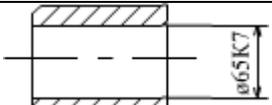
Для того щоб визначити граничні відхилення зазначеного на кресленні розміру 15K6, необхідно за таблицею 4.5 на перетині рядка «понад 10 до 18» зі стовпцем K6 знайти граничні відхилення, мкм: +2 і -9. Отже, розмір 15K6 відповідає розміру .

Для визначення граничних відхилень зазначеного на кресленні розміру 24h7 необхідно за таблицею 4.6 на перетині рядка «понад 18 до 24» зі стовпцем h7 знайти граничні відхилення, мкм: 0 і -21. Таким чином, розміру 24h7 відповідає розмір 24-0,021.

Розглянемо приклад читання розмірів креслення.

Таблиця 4.6

Приклад читання розмірів креслення

| Основні поняття, які виявляються під час читання розміру |  |  |
|--|---|---|
| Номінальний розмір, мм | 65,0 | 65,0 |
| Поле допуску | f7 | K7 |
| Верхнє граничне відхилення, мм | - | +0,00 |
| Нижнє граничне відхилення, мм | 0,030 | 9 |
| Найбільший граничний розмір, мм | - | - |
| Найменший граничний розмір, мм | 0,060 | 0,021 |
| Допуск, мм | 64,87 | 65,00 |
| | 0 | 9 |
| | 64,84 | 64,97 |
| | 0 | 9 |
| | 0,030 | 0,030 |

Побудова таблиць у стандартах системи ОСТ для визначення величин граничних відхилень за заданими умовними позначеннями полів допусків аналогічна до побудови таких таблиць у ЄСДП СЕВ, тобто рядки таблиць — інтервали номінальних розмірів, мм, стовпці — буквені позначення полів допусків із зазначенням номера класу точності у вигляді індексу. Шукані величини граничних відхилень, мкм, вала або отвору знаходяться на перетині рядка, інтервал номінальних розмірів якого відповідає заданому на кресленні номінальному розміру, зі стовпцем, у якому позначено задане поле допуску.

Контрольні запитання

1. Що таке система допусків і посадок?
2. Чому у стандартах на допуски і посадки використовується поняття

- «інтервал розміру»?
3. Як називаються ряди точності в ЄСДП СЕВ?
 4. Якими умовами на сьогодні обмежене застосування системи допусків і посадок ОСТ?
 5. Як називають ряди точності в системі ОСТ?
 6. Як пов'язані класи точності зі способами обробки поверхонь?
 7. Як позначаються на кресленнях поля допуску основного отвору й основного вала? Якроташовані поля допусків цих деталей?
 8. Як позначаються на кресленнях поля допусків отворів і валів? Чим різняться позначення полів допусків отворів від позначення полів допусків валів?
 9. Як наносяться граничні відхилення розмірів на кресленнях деталей?
 10. Що означає розмір 30H7 на кресленні деталі?
 11. Наведіть як приклад посадки із зазором у системі ОСТ і ЄСДП.
 12. Наведіть як приклад посадки з натягом у системі ОСТ і ЄСДП.
 13. Наведіть як приклад перехідну посадку в системі ОСТ і ЄСДП.
 14. Як визначити граничні відхилення, якщо на кресленні задано розмір 35G7?
 15. Як визначити граничні відхилення, якщо на кресленні задано розмір 45e8?

Лекція №5 Допуски й форми та розташування поверхонь. Шорсткість поверхні

1. **Відхилення форми поверхонь**
2. **Відхилення розташування поверхонь**
3. **Шорсткість поверхні**

Відхилення форми поверхонь

Форму деталі, як і розміри, отримують під час виготовлення із відхиленнями від номінальної геометрично правильної форми (непрямолінійність, овальність тощо).

Відхилення форми поверхонь деталей виникають у процесі обробки через неточність і деформації верстата, неточність і зношуваність різального інструменту, неточність затискних пристроїв, деформації заготовки під час обробки, нерівномірність величини припуску на обробку, нерівномірність твердості матеріалу заготовки за її довжиною тощо.

Згідно з ГОСТ 24642—81 прийнято такі основні буквені позначення форм і розташування поверхонь: Δ — відхилення форми, відхилення розташування або сумарне відхилення форми і розташування; T — допуск форми, допуск розташування або сумарний допуск форми і розташування; l — довжина нормовної ділянки.

Стандарти містять терміни та норми вимог насамперед до циліндричних деталей, деталей із плоскими поверхнями і корпусних деталей.

Відхилення форми — відхилення форми реальної поверхні від форми номінальної поверхні. **Допуск форми** — це найбільше допускне значення відхилення форми.

Номінальна форма поверхні — це поверхня, форму якої задано у кресленні або в іншому технічному документі.

Реальна поверхня — поверхня, отримана під час обробки деталі.

Профіль поверхні — це лінія перетину поверхні з площиною, перпендикулярною їй або паралельною її осі. Профіль може бути номінальним — при перерізі номінальної поверхні, і реальним — при перерізі реальної поверхні.

Відхилення профілю — відхилення реального профілю від номінального. Допуски відхилення форми елемента задаються по всій довжині розглядуваної деталі або на нормовній ділянці.

Нормовна ділянка — це ділянка поверхні, до якої належить допуск відхилення форми.

Нормовна ділянка задається розмірами, які визначають її площу, довжину або кут сектора.

Відлік відхилення форми здійснюється від прилеглої поверхні або прилеглого профілю.

Основними видами прилеглих поверхонь і профілей є:

— прилегла поверхня — має форму номінальної поверхні, що стикається з реальною поверхнею і розташована зовні матеріалу деталі так, щоб відхилення від неї найвіддаленішої точки реальної поверхні в межах нормовної ділянки мало мінімальне значення;

— прилегла площина — площина, що стикається з реальною поверхнею і розташована зовні матеріалу деталі так, щоб відхилення від неї найвіддаленішої точки реальної поверхні в межах нормовної ділянки мало мінімальне значення;

— прилеглий циліндр — циліндр мінімального діаметра, описаний навколо реальної зовнішньої поверхні або максимального діаметра, вписаний у реальну внутрішню поверхню;

— прилегле коло — коло мінімального діаметра, описане навколо реального профілю зовнішньої поверхні обертання або максимального діаметра, вписане в реальний профіль внутрішньої поверхні обертання.

Стандартом регламентовано такі види відхилень форми.

Відхилення форми поверхні від прямолінійності. Різновидами його є: відхилення від прямолінійності в площині, відхилення від прямолінійності осі. Відхиленням від прямолінійності в площині є найбільша відстань Δ від точок реального профілю поверхні від прилеглої прямої. Це комплексне відхилення. Комплексні вимоги до форми поверхні — це вимоги до поверхні, які узагальнюють

усі дефекти форми поверхні, у сукупності. До таких відхилень належать похибка плоскої поверхні, відхилення від прямолінійності осі циліндричної поверхні тощо. Окремими видами відхилень від прямолінійності плоских поверхонь вважають опуклість і увігнутість (рис. 5.1).

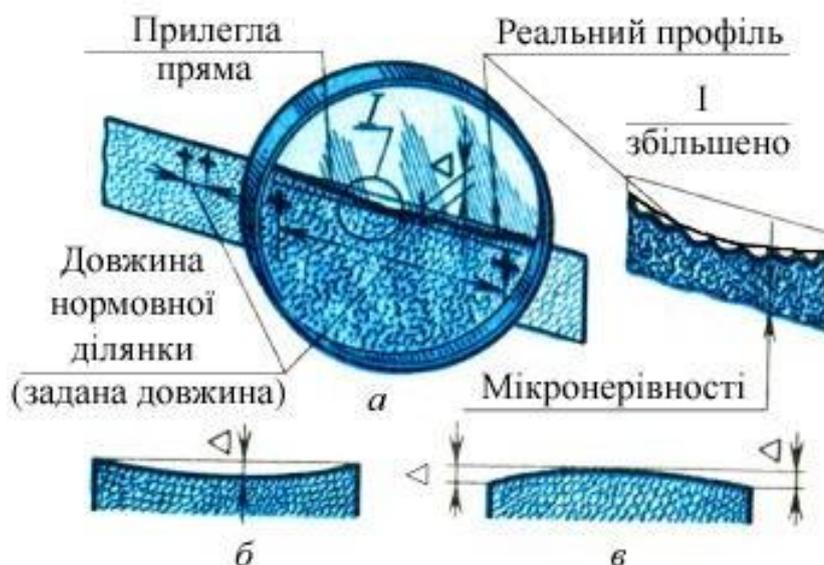


Рис. 5.1. Відхилення від прямолінійності:
загальний випадок: Δ — відхилення від прямолінійності (а);
увігнутість (б); опуклість (в)

У машинобудуванні для вимірювання відхилень від прямолінійності в площині для широких поверхонь при ступенях точності від 1-ї до 4-ї з довжинами до 500 мм застосовують лекальні лінійки типів ЛД, ЛТ і ЛЧ. ЛД — це лекальні лінійки з подвійним скосом, ЛТ — лекальні лінійки з трьома гранями, ЛЧ — чотиригранні лекальні лінійки (рис. 5.2).

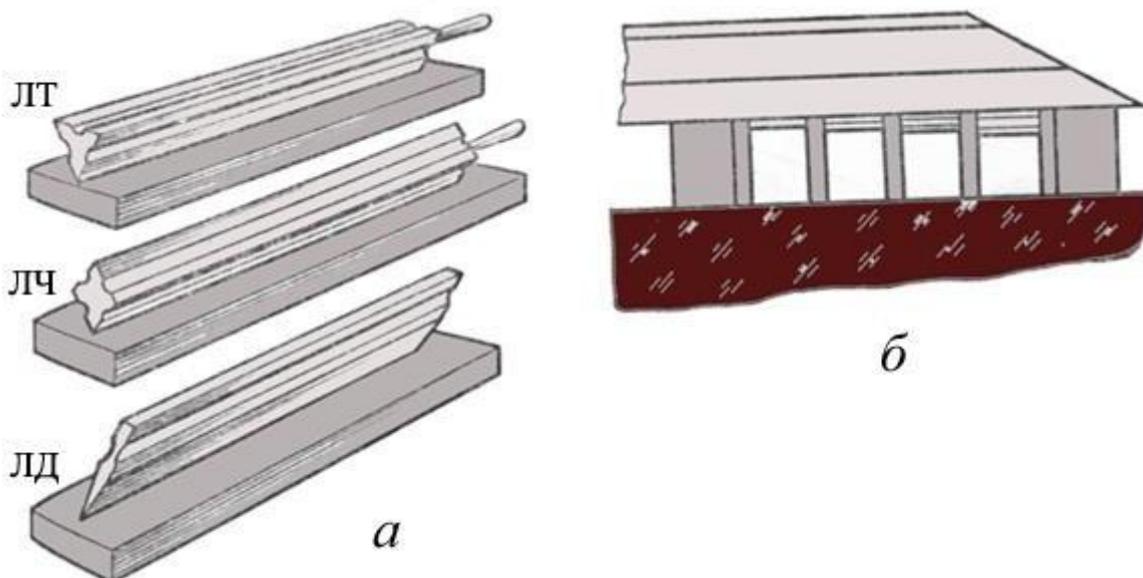


Рис. 5.2. Лекальні лінійки:

а: ЛТ — тригранна; ЛЧ — чотиригранна; ЛД — із подвійним скосом; б: зразок просвітів

Лекальні лінійки призначені для точних робіт. Контроль за їх допомогою проводиться за методом світлової щілини (на просвіт). Для цього лінійка накладається на перевірювану деталь. За відсутності світлової щілини перевірювана площина прямолінійна, наявність просвіту свідчить про непрямолінійність (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Контроль відхилень від прямолінійності в площині лекальною лінійкою

Під час вимірювання відхилень від прямолінійності в площині для вузьких поверхонь або твірних тіл обертання застосовують перевірні лінійки з широкою робочою поверхнею типів ШП, ШД, ШМ і УТ (рис. 5.4).

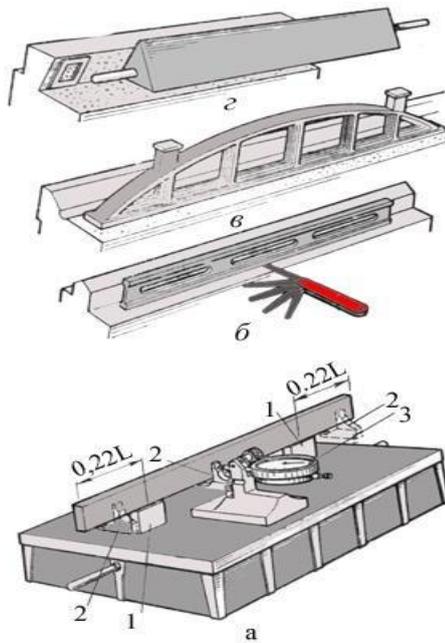


Рис. 5.4. Перевірні лінійки:

ШП у положенні вимірювання відхилення від площинності перевірної плити в лінійних величинах: 1 — блок КМД; 2 — наконечник; 3 — індикатор годинникового типу (а); ШД і набір щупів (б); ШМ — мостик (в); лінійка кутова тригранна УТ і рамка для підрахунку плям фарби (г)

Відхилення від прямолінійності осі (зігнутість осі) — це найменше значення діаметра циліндра, всередині якого розташована реальна вісь поверхні в межах нормівної ділянки. На кресленнях допуск прямолінійності осі позначається у такий самий спосіб, як і допуск прямолінійності в площині, проте в рамці поряд із величиною допуску буде знак M , що позначає залежність цього допуску від відхилення діаметра.

Приклад умовного позначення допуску прямолінійності на кресленнях подано на рис. 5.5.

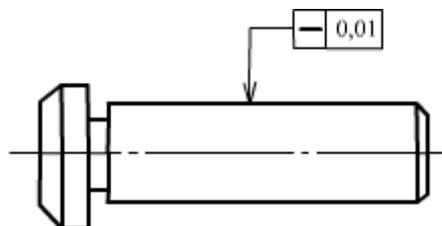


Рис. 5.5. Допуск прямолінійності



Пояснення: допуск прямолінійності твірної вала 0,01 мм.

Відхилення від площинності. Відхиленням від площинності в комплексі вважають найбільшу відстань Δ від точок реальної поверхні від прилеглої площини в межах нормовної ділянки (рис. 3.6).

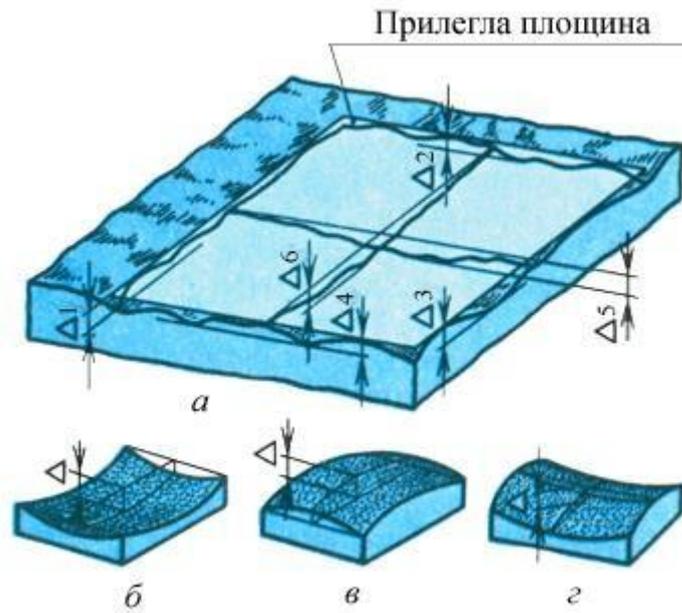


Рис.5.6. Відхилення від площинності:
загальний випадок: Δ — відхилення від прямолінійності профілю (а);
окремі випадки: увігнутість (б); опуклість (в);
сідлоподібність (г)

Для визначення відхилень від площинності застосовують метод «на фарбу», використовуючи перевірні плити. Вважають, що під час вимірювання площини методом «на фарбу» поверхня перевірної плити при контакті з вимірюваною реальною поверхнею елемента деталі займає положення, найближче до номінального положення прилеглої поверхні.

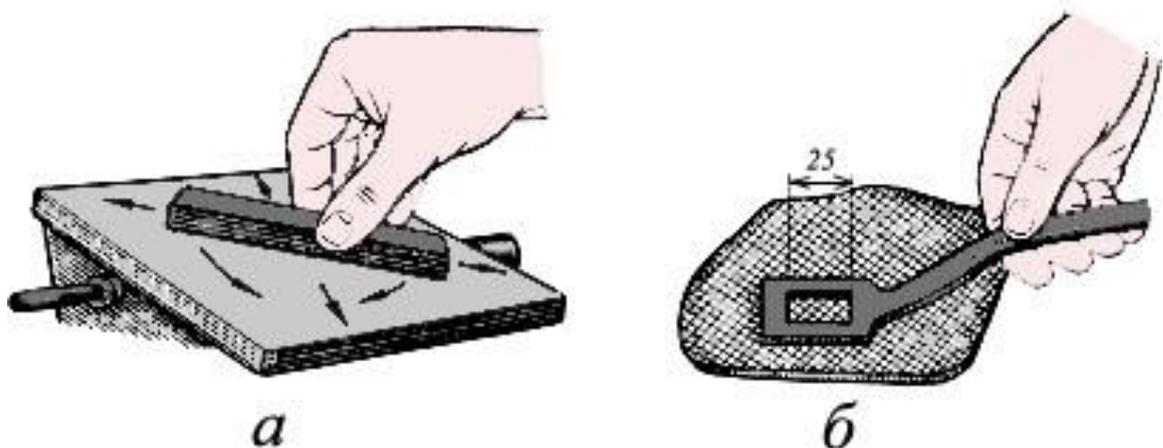


Рис. 5.7. Визначення відхилень від площинності методом «на фарбу»: а — нанесення фарби; б — контроль відхилень

Приклад умовного позначення допуску площинності на кресленнях подано на рис. 5.8.

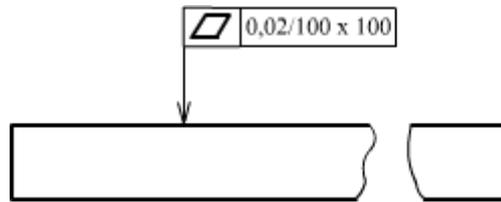


Рис. 5.8. Допуск площинності

Пояснення: допуск площинності поверхні 0,02 мм на площі 100*100 мм.

Відхилення від циліндричної поверхні. Відхиленням від циліндричності вважають найбільше

відхилення Δ від точок реальної поверхні до поверхні прилеглого циліндра (рис. 5.9).

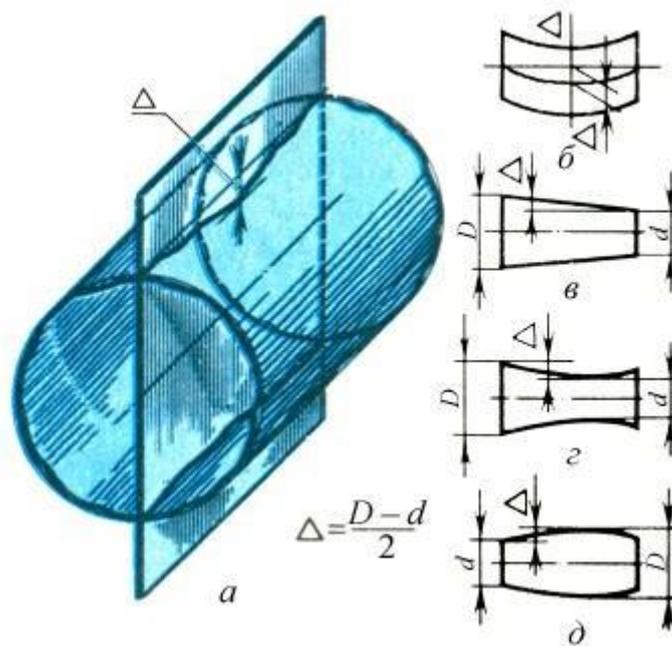


Рис. 5.9. Відхилення від циліндричності:

загальний випадок: Δ — найбільше відхилення у поздовжніх перерізах (а); окремі випадки: зігнутість (б); конусність (в); сідлоподібність (г); бочкоподібність (д)

На сьогодні у виробництві машин ще немає засобів вимірювання, якими можна оцінити величину відхилення від циліндричності для реальної деталі чисельно або комплексно. Тому призначаються допуски комплексних відхилень циліндричних поверхонь в окремих перерізах:

- Для відхилення від круглості — допуск круглості.
- Для відхилення профілю поздовжнього перерізу — допуск профілю поздовжнього перерізу.
- Для відхилення від прямолінійності осі — допуск прямолінійності осі.

Приклад умовного позначення допуску циліндричності на кресленнях подано на рис. 5.10.

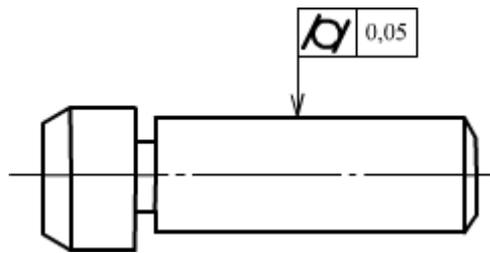


Рис. 5.10. Допуск циліндричності. Пояснення: допуск циліндричності вала 0,05 мм.

Відхилення від круглості. Відхиленням від круглості вважають найбільшу відстань Δ від точок реального профілю поперечного перерізу до прилеглого кола (рис. 5.11).

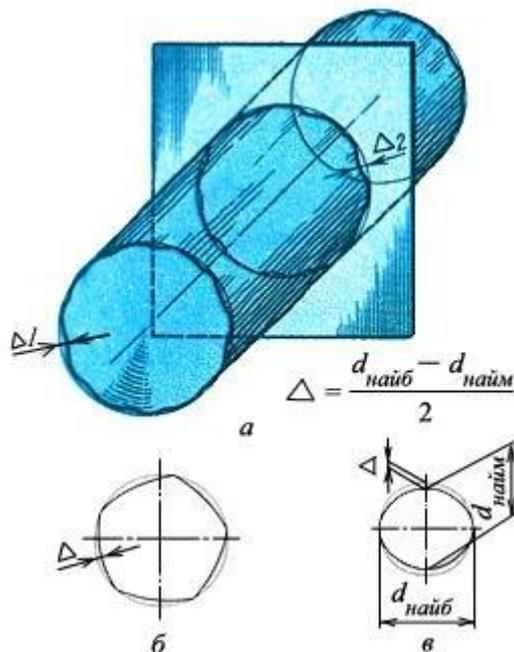


Рис. 5.11. Відхилення від круглості: загальний випадок: Δ_1 , Δ_2 — відхилення в поперечних перерізах (а); окремі випадки: ограновування (б); овальність (в)

Ограновуванням називають відхилення від круглості, при якому реальний профіль поверхні являє собою багатогранну фігуру.

Овальністю називають відхилення форми від круглості, при якому реальний профіль поверхні являє собою овалоподібну фігуру, найбільший і найменший діаметри якої знаходяться у взаємно перпендикулярних напрямках. Овальність виникає під час обробки тіл обертання в центрах або патронах; огранування — при таких видах обробки, як безцентрове шліфування.

Відхилення від круглості вимірюється з допомогою спеціальних круглостірів. На рис. 5.12 показано загальний вигляд круглостіра з обертовим індуктивним датчиком 2. Деталь 3 на такому пристрої стоїть нерухомо, а датчик 2 обертається разом із високоточним шпинделем 1, на якому він закріплений.

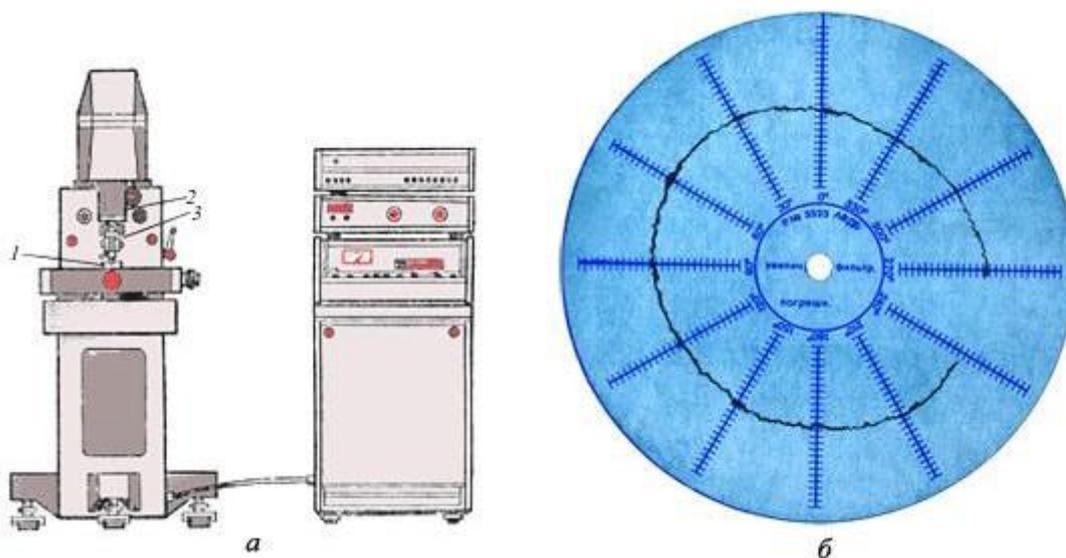


Рис. 3.12. Круглостір:

а — загальний вигляд: 1 — деталь; 2 — високоточний шпиндель; 3 — датчик; б — шаблон для визначення величини відхилень від круглості

Круглостір є високоточним вимірювальним пристроєм — похибка самого круглостіра становить 0,2 мкм.

Приклад умовного позначення допуску круглості на кресленнях подано на рис. 3.13.

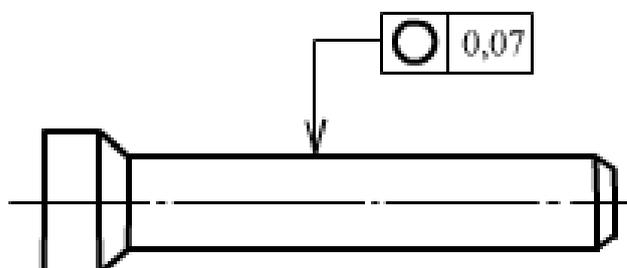


Рис. 3.13. Допуск
круглості Пояснення: допуск круглості циліндра
— 0,07 мм.

Відхилення розташування поверхонь

Відхиленням розташування називається відхилення реального розташування розглядуваного елемента від його номінального розташування. Елемент — узагальнений термін, под яким залежно від відповідних умов розуміють поверхню, лінію, точку. Під номінальним розташуванням розуміють розташування розглядуваного елемента (поверхні або профілю), визначуване номінальними лінійними й кутовими розмірами між ним і базами або між розглядуваними елементами, якщо бази не задані. База — елемент деталі (або їх сполучення), який визначає одну зі площин або осей системи координат, відносно якої задається допуск розташування або визначається відхилення розташування розглядуваного елемента. Базами є, наприклад, площина симетрії, вісь базової поверхні, площина, вісь поверхні обертання, вісь декількох поверхонь обертання.

У разі оцінювання величини відхилень розташування із розгляду виключаються відхилення форми розглядуваних і базових елементів. Для цього реальні поверхні і профілі замінюються прилеглими, а за осі, площини симетрії й центри реальних поверхонь приймають осі, площини симетрії та центри прилеглих елементів.

Допуском розташування називається межа, що обмежує допускне значення відхилення розташування. Для співвісності, симетричності, перетину осей і позиційного допуску допуск розташування може бути заданий у радіусному або діаметральному виразі.

Радіусний вираз допуску розташування є найбільшим допускним значенням відхилення розташування. Воно позначається на кресленні в рамці додатковим знаком R або T/2.

Діаметральний вираз є подвоєним найбільшим допускним значенням відхилення розташування поверхні. Воно позначається на кресленні додатковим знаком T.

Для охоплюючих і охоплюваних поверхонь у ГОСТ 24643—81 встановлено два види допусків розташування — залежні та незалежні.

Незалежним допуском називається допуск розташування, числове значення якого не залежить від дійсного розміру нормовного або базового

елемента.

Залежним допуском називається допуск розташування, який залежить від дійсного розміру нормовного або базового елемента. Залежний допуск зазначається в позначенні розташування поверхні на кресленні, і цей допуск дозволено перевищувати на величину відхилення дійсного розміру вимірюваного елемента від найбільшого розміру вала або найменшого розміру отвору. На кресленні залежний допуск розташування поверхні позначається знаком M , який ставиться в рамці після величини допуску розташування і після знака бази.

В умовних позначеннях допусків розташування поверхонь, окрім зазначених вище знаків видів відхилень, залежності допуску, знаків радіусного або діаметрального виразів ще зазначається знак бази A , який визначає базову поверхню, від якої призначено допуск розташування поверхні розглядуваного елемента. Знак цей ставиться в рамці позначення після величини допуску, а також виноситься в окремий квадрат, від якого дається лінія прив'язки до виносної лінії від заданої базової поверхні або до самої базової поверхні. Для підкреслення бази на дотик лінії прив'язки виносної лінії або бази ставиться зачорнений трикутник.

Види відхилень розташування поверхонь визначені ГОСТ 24642—81.

Відхилення від паралельності площин — різниця найбільшої і найменшої відстаней між площинами в межах нормовної ділянки (рис. 5.14).

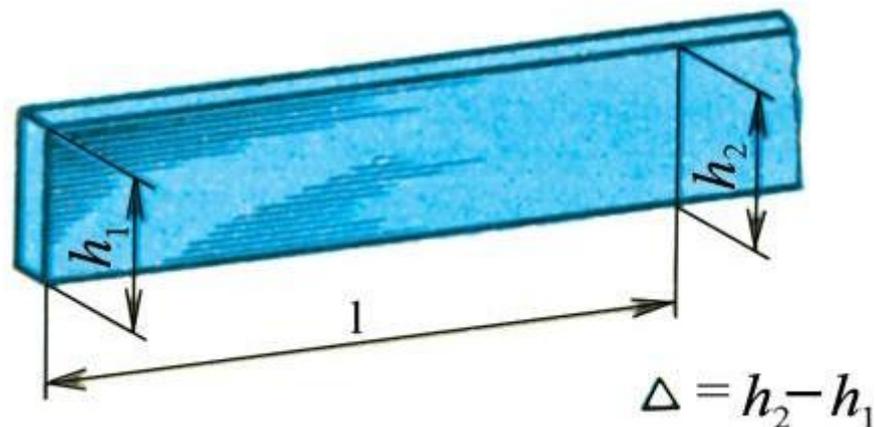


Рис. 5.14. Відхилення від паралельності площин

Допуск паралельності — найбільше допускове значення відхилення від паралельності.

Приклад умовного позначення допуску паралельності на кресленнях подано на рис. 5.15.

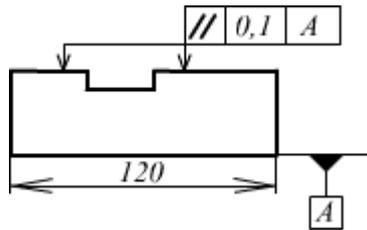


Рис. 5.15. Допуск паралельності

Пояснення: допуск паралельності кожної поверхні відносно поверхні А становить 0,1 мм.

Відхилення від перпендикулярності — відхилення кута між площинами від 90°, виражене в лінійних одиницях на довжині нормованої ділянки l (рис. 5.16).

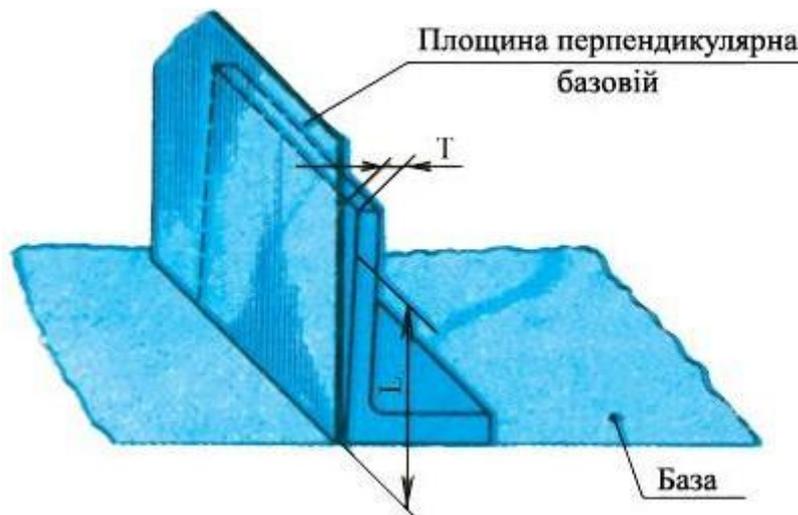


Рис. 5.16. Відхилення від перпендикулярності площин: T — допуск перпендикулярності; l — задана довжина

Допуск перпендикулярності — найбільше допускове значення відхилення від перпендикулярності.

Приклад умовного позначення допуску перпендикулярності на кресленнях подано на рис. 3.17.

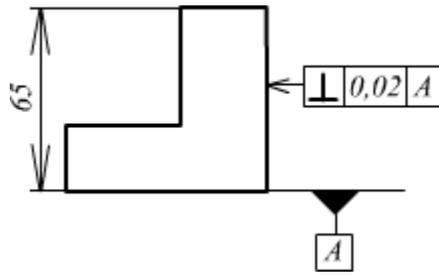


Рис. 3.17. Допуск перпендикулярності

Пояснення: допуск перпендикулярності поверхні відносно поверхні А становить 0,02 мм.

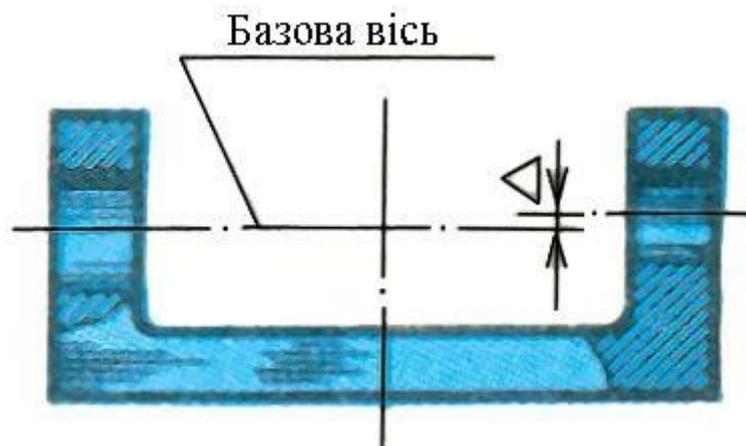


Рис. 3.18. Відхилення від співвісності:

Δ — відхилення від співвісності відносно базової осі

Допуск співвісності — найбільше допускове значення відхилення від співвісності (це допуск у радіусному виразі; в діаметральному виразі це значення подвоюється).

Приклад умовного позначення допуску співвісності на кресленнях подано на рис. 3.19.

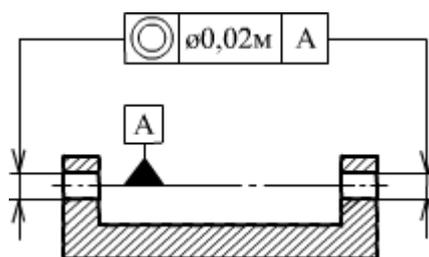


Рис. 3.19. Допуск співвісності

Пояснення: допуск співвісності двох отворів відносно їх спільної осі — 0,02 мм.

Відхилення від симетричності — найбільша відстань Δ між площиною симетрії (віссю) розглядуваного елемента і площиною симетрії базового елемента в межах нормовної ділянки (рис. 5.20).

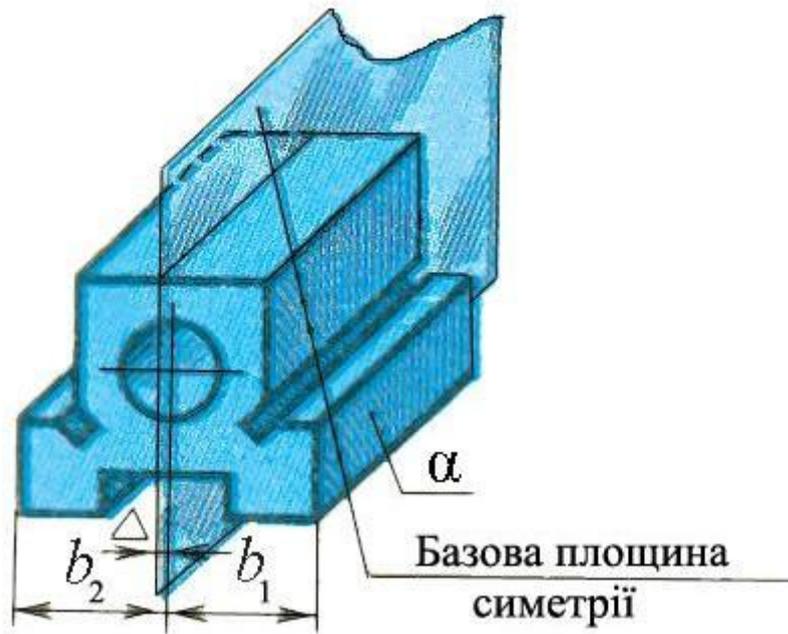


Рис. 5.20. Відхилення від симетричності:

Δ — відхилення від симетричності осі отвору відносно поверхонь

Допуск симетричності — найбільше допускове значення відхилення від симетричності (в діаметральному виразі це значення подвоюється).

Приклад умовного позначення допуску симетричності на кресленнях подано на рис. 5.21.

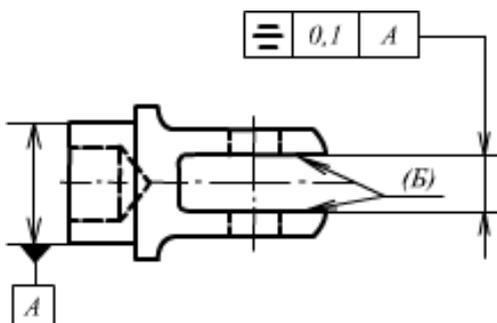


Рис. 5.21. Допуск симетричності поверхні (Б) T 0,1 мм.

Шорсткість поверхні

На обробленій поверхні деталі різанням (наприклад, точінням, струганням, шліфуванням тощо) залишаються сліди різальних кромки інструмента у вигляді нерівностей. Ці нерівності легко можна побачити при сильному збільшенні ділянки поверхні (рис. 5.22).

Сукупність цих нерівностей, які створюють рельєф поверхні на певній базовій довжині l , називають шорсткістю.

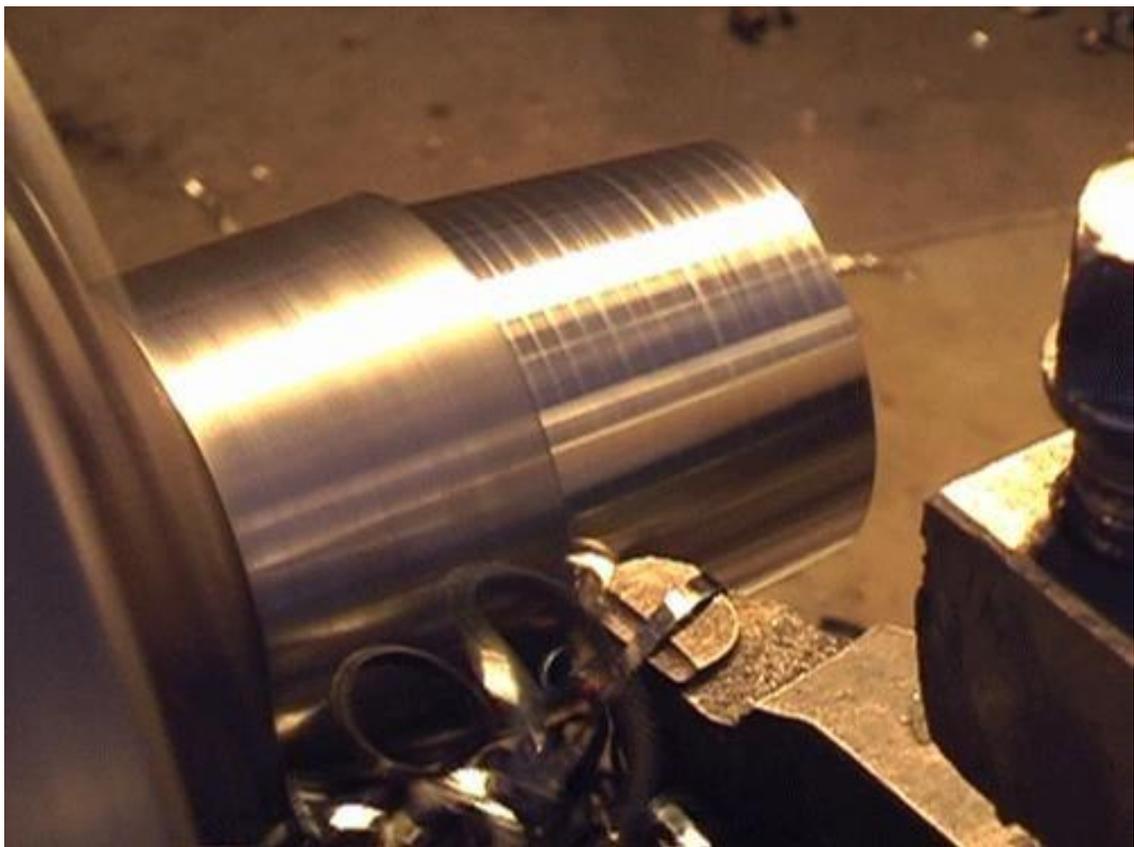


Рис. 5.22. Сліди різальних кромки інструмента на поверхні деталі

Шорсткість поверхні є однією з основних характеристик якості поверхні деталей і впливає на експлуатаційні показники машин, верстатів, пристроїв. Шорсткість поверхні має такі характеристики: геометричну величину нерівностей, здатність зчеплення поверхні з покриттям, відбивну здатність тощо. Однак основною характеристикою шорсткості в машинобудуванні є її геометрична величина.

Державним стандартом на шорсткість поверхні регламентовано єдиний підхід до визначення величини шорсткості — основою для цього є профіль шорсткості та його параметри.

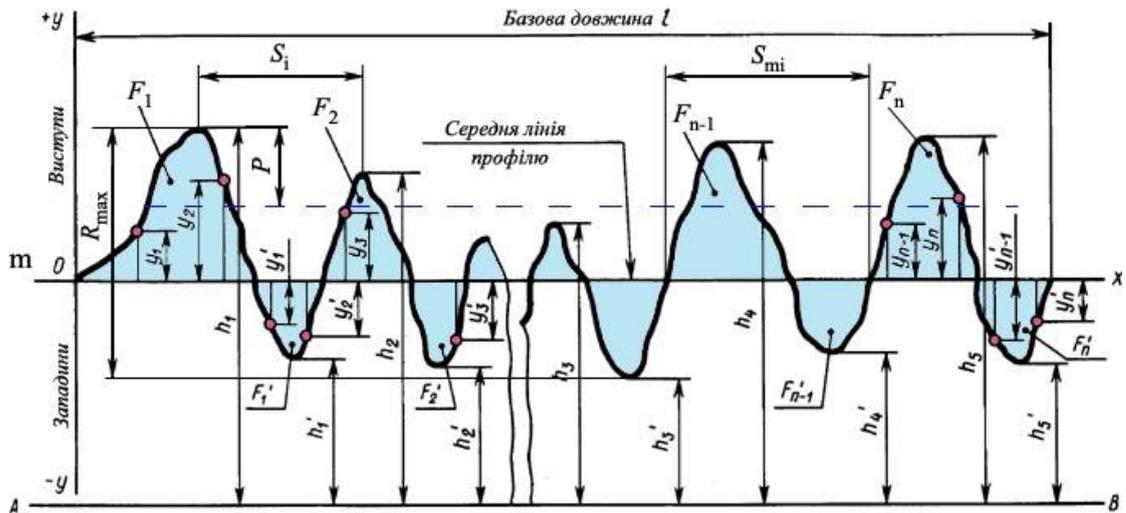


Рис. 5.23. Форма профілю поверхні

Базовою лінією називається лінія, за якою оцінюється шорсткість.

Вихідними у профілі для визначення параметрів шорсткості є базова довжина ділянки l , за якою розглядається шорсткість цієї поверхні, і середня лінія профілю.

За величинами відстаней Y від точок профілю до середньої лінії m визначаються величини параметрів шорсткості. Дозволяється замість середньої лінії для відліку параметрів застосовувати допоміжну лінію, паралельну лінії m .

Розмірними параметрами шорсткості за ГОСТ 2789—73 є R_a , R_z , R_{max} , S_m і t_r . Розглянемо їх докладніше.

R_a — середнє арифметичне відхилення точок профілю від лінії m у межах

$$R_a = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + y_n) + (y'_1 + y'_2 + \dots + y'_{n-1} + y'_n)}{l}$$

базової довжини l . Параметр R_a можна характеризувати таким рівнянням:

R_z — висота нерівностей, визначена за десятьма точками. Являє собою середню відстань між п'ятьма найвищими точками виступів і п'ятьма найнижчими точками западин, які лежать у межах базової довжини, виміряної від довільної лінії AB , паралельної середній лінії профілю:

$$R_z = \frac{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) - (h'_1 + h'_2 + h'_3 + h'_4 + h'_5)}{5}$$

R_{max} — найбільша висота нерівностей профілю.

S_m — середній крок нерівностей профілю, виміряний за середньою лінією m .

S — середній крок нерівностей профілю, виміряний за вершинами нерівностей.

t_r — відносна опорна довжина профілю, тобто сума довжин відрізків, відрізуваних від нерівностей лінією, паралельною лінії m . t_r визначається у відсотках від R_{max} , чим характеризує фактичну щільність контакту поверхні у сполученні на заданому рівні перерізу профілю.

Позначення шорсткості поверхні на кресленнях

Для позначення шорсткості поверхні на кресленнях застосовують такі умовні знаки:

1. Знак шорсткості поверхні, коли вид механічної обробки не встановлено.

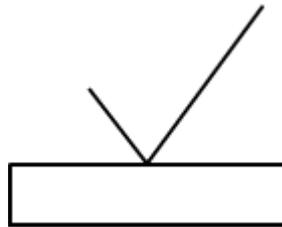


Рис. 5.24. Знак, коли вид механічної обробки не встановлено

2. Знак створення поверхні за допомогою видалення шару матеріалу, наприклад, точінням, фрезеруванням, шліфуванням, поліруванням тощо.

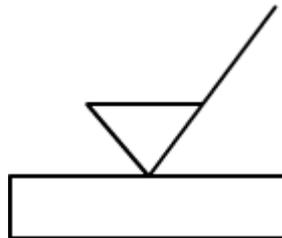


Рис. 5.25. Знак створення поверхні за допомогою видалення шару матеріалу

3. Знак поверхні, отриманої литтям, куванням, прокатом, штампуванням тощо, тобто без видалення шару матеріалу або позначає також поверхні, до обробки яких вимоги не встановлені.

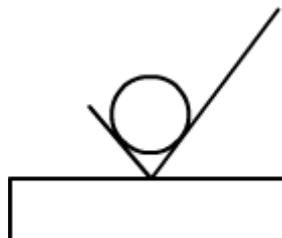


Рис. 5.26. Знак поверхні, отриманої без видалення шару матеріалу

Чисельне значення параметра шорсткості в мікрометрах ставиться під полицею знака з буквеним символом параметра. Наприклад, $\sqrt{Ra 1,6}$ або $\sqrt{Rz 100}$.

Шорсткість поверхні залежить від інструмента, яким обробляється поверхня, а також від технологічного процесу і режиму виконання тієї чи іншої операції обробки. Рис. 5.27 орієнтовно ілюструє шорсткість поверхонь, отриману в результаті різних технологічних процесів їх обробки.

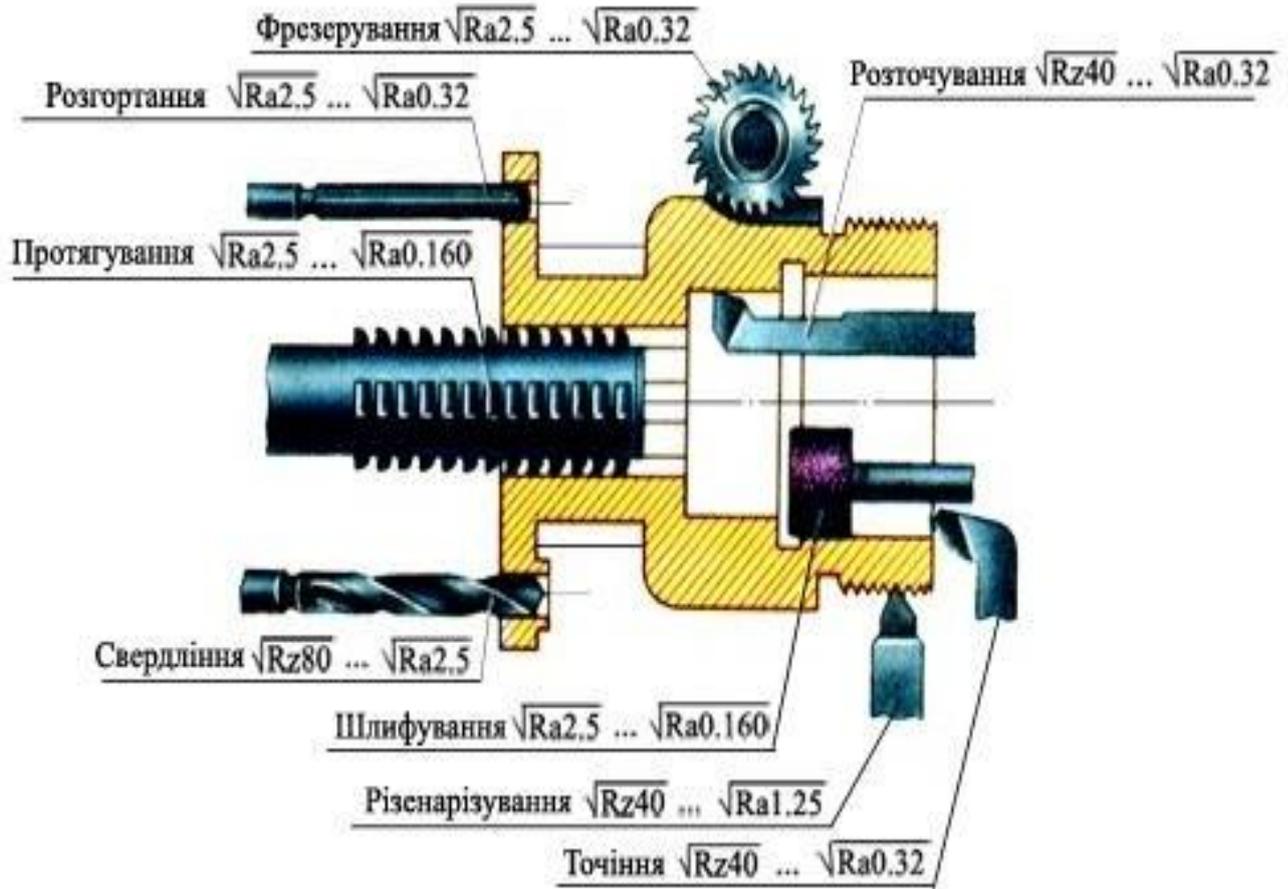


Рис. 5.27. Шорсткість поверхні при різних видах обробки

Користуючись табл. 5.1, орієнтовно можна вирішити, якими способами вигідніше виготовляти деталь або її елемент для отримання заданої кресленням шорсткості поверхні (з урахуванням форми деталі й інших особливостей). Наприклад, при обпилюванні можна отримати поверхні, для яких параметр Rz буде від 100 до 400 мкм, а параметр Ra — від 25 до 100 мкм. Поверхні, для яких задано параметр шорсткості $Ra 1,6$ мкм ($Rz 6,3$), можна отримати шабруванням, тонким струганням, попереднім розгортанням, литтям за виправлюваними моделями, пресуванням із пластмас та іншими способами.

Таблиця 5.1

Читання позначень шорсткості поверхні

| Класи шорсткості | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
|--|--|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-------|------|--|
| | <i>Наведені для орієнтування у старих кресленнях</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Середнє арифметичне відхилення профілю в мікрометрах Ra</i> | 100 | 50 | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,025 | 0,01 | |
| <i>Висота нерівн. в мікрометрах Rz</i> | 400 | 200 | 100 | 50 | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | |
| <i>Базова довжина, мм</i> | 8 | | 2,5 | | | 0,8 | | | 0,25 | | | 0,08 | | | |
| <i>Досяжна при даному способі виготовлення деталі шорсткість</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| Обтилювання | ▽ | ▽ | ▽ | | | | | | | | | | | | |
| Свердління | | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | | | | | | | | | |
| Розгортання | | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | | | | | |
| Фрезерування | | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | | | | | |
| Протягування | | | | | | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | | | | | |
| Надчистова обробка | | | | | | | | | | | ▽ | ▽ | ▽ | ▽ | |
| Прокат | | | | | | | | | | | | | | | |
| Лиття в кокіль | | | | | | | | | | | | | | | |
| Лиття прецизійне | | | | | | | | | | | | | | | |
| Кування у штампях | | | | | | | | | | | | | | | |
| Електроіскрова обробка | | | | | | | | | | | | | | | |
| Електрозвукове свердління | | | | | | | | | | | | | | | |
| | I | | | II | | | III | | | IV | | | V | | |

У таблиці 5.1 внизу фігурними дужками (позначеними римськими цифрами) цифрові значення параметрів розподілені на п'ять умовних груп, для яких наведемо приклади застосування в загальному машинобудуванні:

I. Ra 100...6,3 мкм — торцеві поверхні труб, профілей та іншого сортаментного матеріалу, поверхні шківів, фланців тощо.

II. Ra 12,5...1,6 мкм включно, Rz 50...6,3 мкм включно — втулки, гладкі частини болтів 8-го і 11-го квалітетів точності, кронштейни, ролики і різні

привалкові поверхні деталей.

III. Ra 1,6...0,4 мкм включно — носійні поверхні підшипників, гладка частина болтів 6-го і 7-го квалітетів, поверхні зубів шестірень тощо.

IV. Ra 0,2...0,025 мкм включно, Rz 0,8...0,1 мкм включно — поверхні, що працюють на тертя, поверхні поршневих пальців і кілець, шийки колінчатих валів, кулачків.

V. Ra 0,025...0,01 мкм включно — поверхні оптичних стекел.

Вимірювання шорсткості поверхні

Найпростішим засобом оцінювання шорсткості поверхні служить візуальне порівняння реальної поверхні елемента деталі зі зразком шорсткості (рис. 5.28).

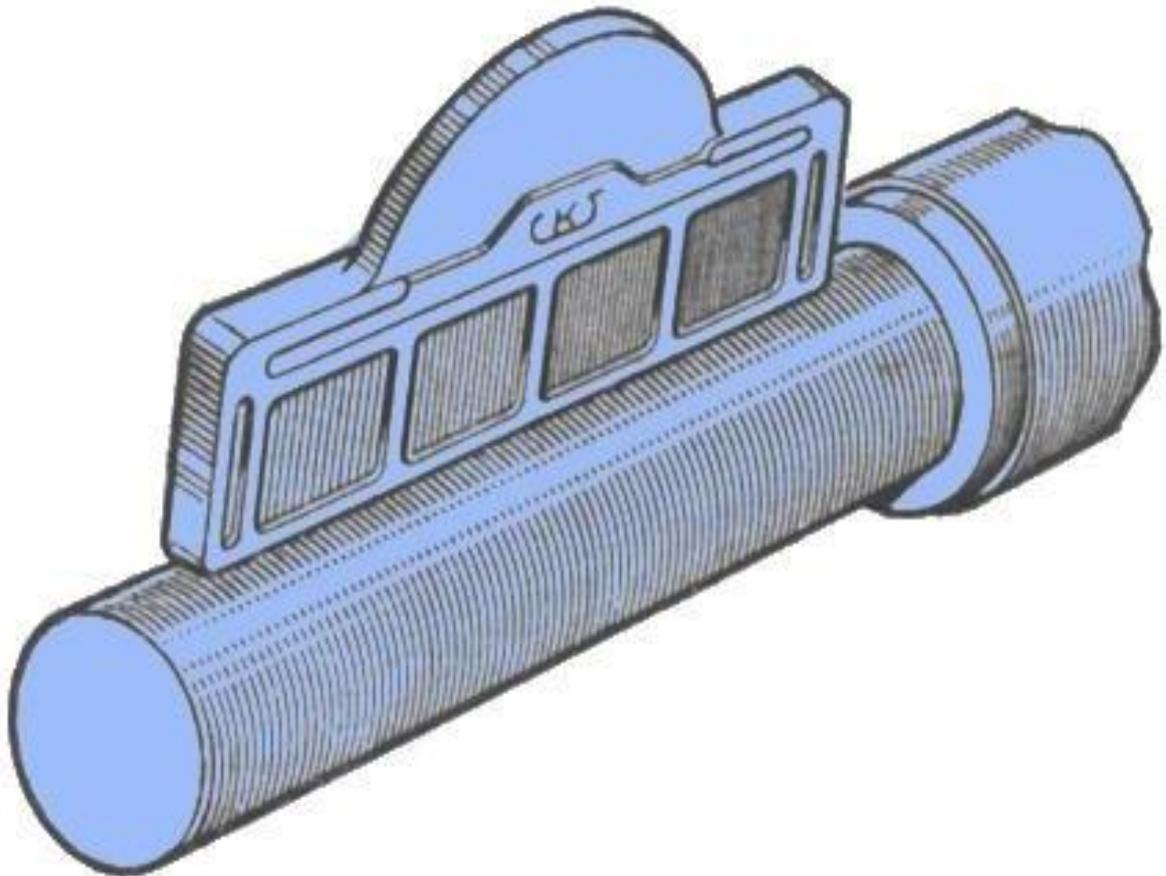


Рис. 5.28. Зразок шорсткості при візуальному контролі

Зразок шорсткості являє собою пластинку, одна з поверхонь якої оброблена зі зразковою шорсткістю й атестована за параметром Ra на профілометрі. Пластинки збираються в обойми по 4 шт., причому дібрані так, що на сусідніх значення Ra різняться на величину, задану в таблиці ГОСТом (рис. 5.29).



Рис. 5.29. Набір зразків шорсткості

Значного поширення для вимірювання числових величин параметрів шорсткості набули щупові засоби вимірювання — профілометри (рис. 5.30) та профілографи-профілометри.

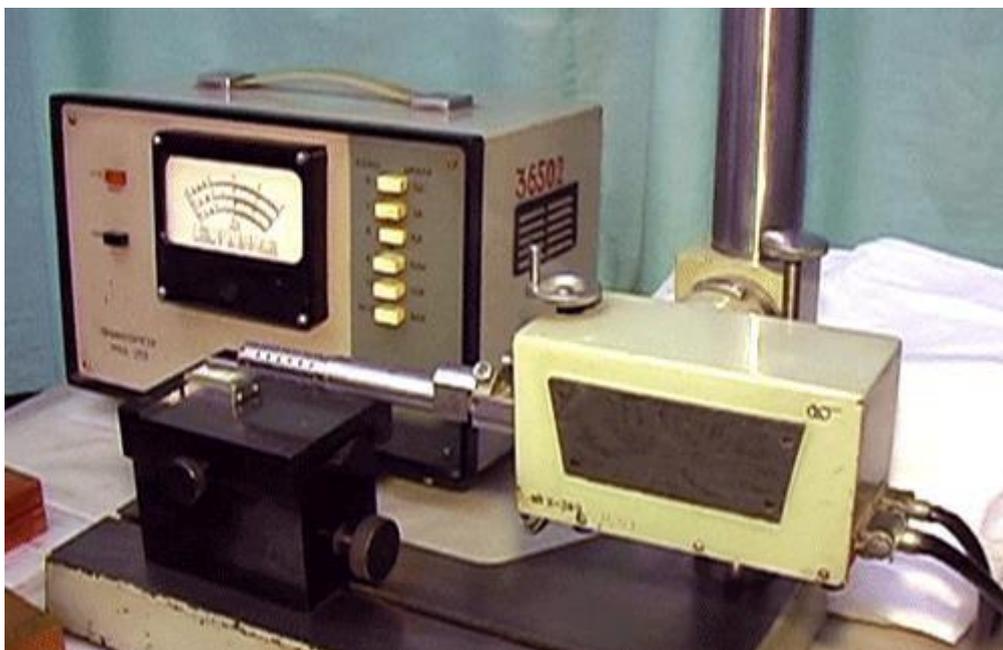


Рис. 5.30. Профілометр цехового типу

Найсучаснішим засобом вимірювання шорсткості поверхні практично за всіма параметрами є профілограф-профілометр моделі 252, виготовлюваний заводом «Калібр». Цей пристрій діє за методом перетворення коливань голки, закріпленої в індуктивному перетворювачі-датчику, в коливання напруги струму.

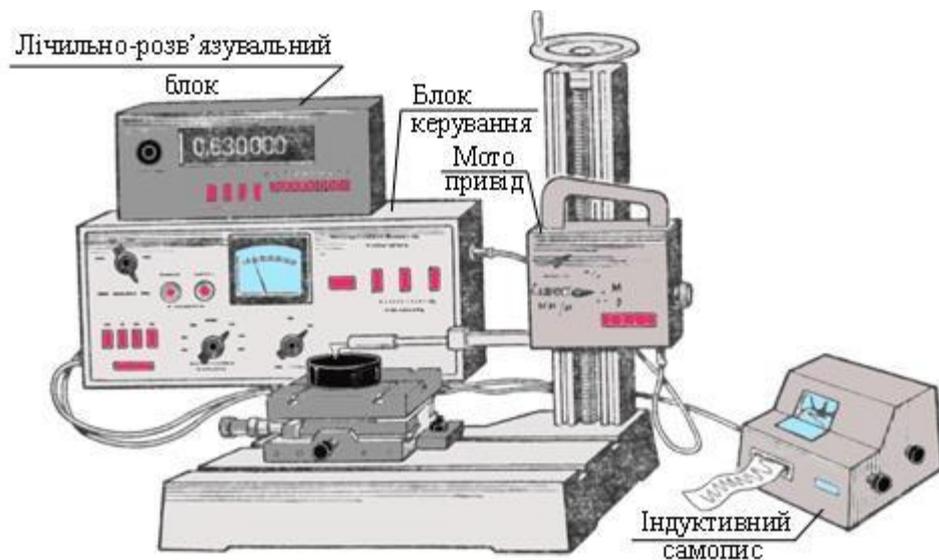
За профілограмою визначається величина параметрів Rz і S . Профілометр моделі 252 вимірює й показує числові значення параметрів Ra , R_{max} , R_m і t_p , водночас визначаючи H_{max} і H_{min} .

Діапазон вимірювань Rz цього пристрою — від 0,02 до 100 мкм. Для вимірювання шорсткості поверхонь із надто малими Rz і S застосовують датчик із голкою, що має радіус закруглення вістря 2 мкм, а для грубіших шорсткостей — голку з радіусом 10 мкм (рис. 5.31). Найменший діаметр отворів — 3 мм при глибині 5 мм.



Рис. 5.31. Датчик із голкою

Рис. 5.32. Профілограф-профілометр моделі 252



Працюючи як профілограф, пристрій видає профілограму з профілем, збільшеним по вертикалі від 200х до 100 000х, а по горизонталі — від 0,5х до 200х.

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке номінальна форма поверхні, реальна поверхня, профіль поверхні та прилегла поверхня?
2. Назвіть види відхилень форми поверхні й умовні позначення їх на кресленні.
3. Що таке відхилення від прямолінійності? Які для них застосовують засоби вимірювання?
4. Що таке відхилення від плоскостності? Які для них застосовують засоби вимірювання?
5. Які існують відхилення форми циліндричних поверхонь? Які для них застосовують засоби вимірювання?
6. Що таке шорсткість поверхні?
7. Назвіть розмірні параметри шорсткості поверхні.
8. Нарисуйте умовні знаки шорсткості на кресленні, назвіть, що вони позначають.
9. Опишіть зразки шорсткості поверхні.

Лекція №6 Основи метрології

1. **Поняття про метрологію**
2. **Міри**
3. **Вимірювальні інструменти й вимірювальні пристрої**
4. **Загальна структура засобів вимірювань**
5. **Параметри і характеристики засобів вимірювання**

Поняття про метрологію

Вимірювання є одним із шляхів пізнання природи людиною, що поєднує теорію з практичною діяльністю людини. Вони є основою наукових знань, служать для обліку матеріальних ресурсів, забезпечення потрібної якості продукції, взаємозамінності деталей і вузлів, вдосконалення технології, автоматизації виробництва, стандартизації, охорони здоров'я і забезпечення безпеки праці і для багатьох інших галузей людської діяльності. Вимірювання кількісно характеризують оточуючий матеріальний світ, розкриваючи діючі в природі закономірності. Про це дуже образно сказав основоположник вітчизняної метрології Дмитро Іванович Менделєєв: «Наука починається... з тих пір, як починають вимірювати». Відомим є аналогічне висловлювання й основоположника англійської метрології Томсона: «Кожна річ відома лише тією мірою, якою її можна виміряти». З цим перегукується і думка відомого російського вченого Б. Я. Якобі, сформульована понад 100 років назад: «Мистецтво вимірювання є потужною зброєю, створеною людським розумом для проникнення в закони природи і підкорення її сил нашому пануванню».

Під вимірювальною технікою в широкому значенні цих слів розуміють як усі технічні засоби, за допомогою яких виконують вимірювання, так і техніку проведення вимірювань. У всьому світі щоденно здійснюються сотні, тисячі мільярдів вимірювань. В інтересах кожної країни, у взаєминах між країнами необхідно, щоб результати вимірювань однакових величин, отримані в різних місцях і за допомогою різних вимірювальних засобів, були б відтворювані на рівні потрібної точності.

У першу чергу, для цього необхідна одноманітність одиниць фізичних величин і мір, що здійснюють речовинне їх відтворення. Забезпечення високого ступеня одноманітності засобів вимірювання є однією з умов забезпечення відтворюваності результатів вимірювань.

Питаннями теорії та практики забезпечення однаковості вимірювань займається метрологія.

Метрологія являє собою науку про вимірювання, про методи і засоби, забезпечення їх однаковості, про способи досягнення потрібної точності.

Метрологія служить теоретичною основою вимірювальної техніки. І чим більше розвивається вимірювальна техніка, тим більшого значення набуває метрологія, яка створює і вдосконалює теоретичні основи вимірювань, узагальнює практичний досвід у галузі вимірювань і спрямовує розвиток вимірювальної техніки.

Для того щоб дізнатися результат обробки деталі, визначити, який при цьому отримано розмір і чи відповідає він вимогам креслення, необхідно виміряти цю деталь (рис. 6.1).

Вимірювання — це знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Вимірюванням ще називають пізнавальний процес, у якому спеціальним засобом є величина об'єкта вимірювання.



Рис. 6.1. Вимірювання деталі штангенциркулем після обробки

Вимірювати почали здавна, і з кожним роком значення вимірювань підвищувалося.

Людство далеко пішло в техніці вимірювання. Користуючись сучасними методами, вчені точно вимірюють властивості речей і явищ. Ці вимірювання є одним із засобів опанування природою, підкорення її нашим потребам.



Старі засоби вимірювань (палиця, тінь, мотузка, камінь, рис. 6.2) замінилися новими.

Рис. 6.2 Старі засоби вимірювань

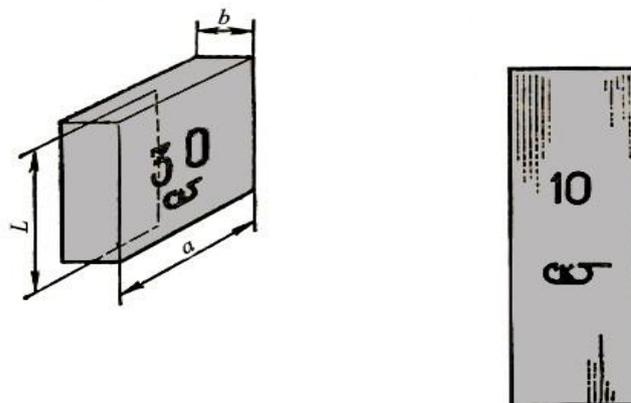
Засіб, за допомогою якого виконують вимірювання, так і називають — засіб вимірювання, він має нормовані метрологічні властивості. Значення величини, яке виявили вимірюванням, називають *результатом вимірювання*.

Засоби вимірювання — це пристрої, здатні у процесі вимірювання виявити числове значення величини вимірюваного розміру. Засоби вимірювання здавна прийнято поділяти на три основні види: міри, вимірювальні інструменти й вимірювальні пристрої.

Міри

Міри — це засоби вимірювання, речовинно відтворюючі фізичну величину заданого розміру. Міри поділяють на однозначні і багатозначні. Однозначна міра відтворює величину одного розміру.

Наприклад, плоскопаралельна міра довжини 10 мм (рис. 3.3) відтворює один лінійний розмір між її площинами, що дорівнює 10 мм; кутова міра — кутова плитка 15° (рис. 4.4) відтворює один кутовий розмір між площинами,



який становить 15°.

Рис. 3.3. Кінцева міра довжини. Номінальна довжина КМД: а — довжина основи; б — ширина основи

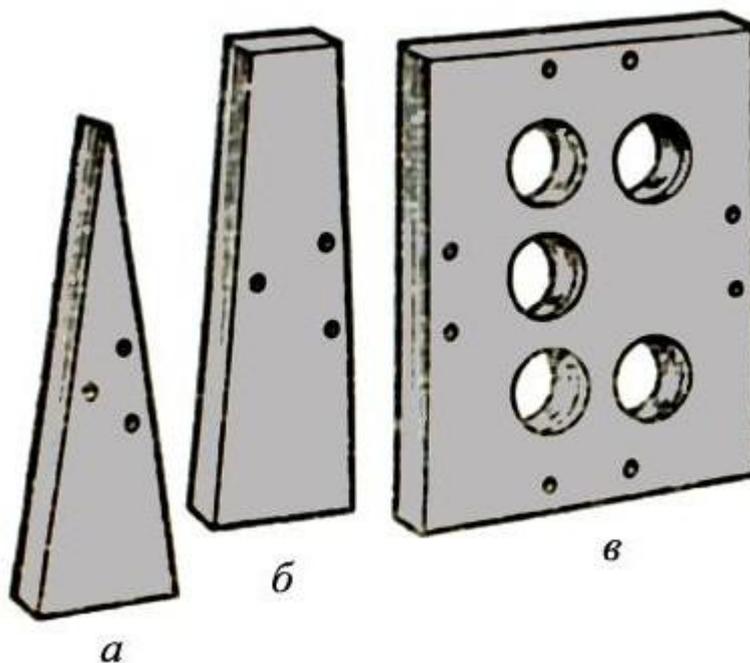


Рис. 3.4. Кутові міри-плитки: а — з гострою вершиною; б — зі зрізаною вершиною; в — чотирикутна плитка

Багатозначна міра відтворює ряд однойменних величин різного розміру. Наприклад, лінійка зразкова відтворює своїми поділками багато лінійних розмірів на своїй шкалі. Кутовий лімб відтворює багато куткових розмірів на своїй шкалі.

Отже, міра відтворює величини, значення яких пов'язані з прийнятою одиницею цієї величини певним відомим співвідношенням. Міра — це основа вимірювань.

Вимірювальні інструменти й вимірювальні пристрої

Вимірювальні інструменти й вимірювальні пристрої — це засоби вимірювання, здатні виробляти показання — числову вимірювальну інформацію — у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Ці показання виробляються у прийнятих одиницях вимірювання.

Спочатку одиниці фізичних величин обиралися довільно, без певного зв'язку одна з одною, що спричиняло великі труднощі. Значну кількість довільних одиниць однієї і тієї самої величини ускладнювало порівняння результатів вимірювань, здійснених різними спостерігачами.

У кожній країні, а іноді навіть у кожному місті створювалися свої одиниці. Переведення одних одиниць в інші було дуже складним і призводило до істотного зниження точності результатів вимірювань.

Окрім зазначеного розмаїття одиниць, яке можна назвати

«територіальним», існувало розмаїття одиниць, застосовуваних у різних галузях науки, техніки, промисловості тощо.

Наявність низки систем одиниць вимірювання фізичних величин і велика кількість позасистемних одиниць, незручності, які виникають на практиці у зв'язку з перерахунками під час переходу від однієї системи до іншої, викликали необхідність створення єдиної універсальної системи одиниць, яка б охоплювала всі галузі науки і техніки і була б прийнята в міжнародному масштабі.

У 1960 р. XI Генеральна конференція щодо мір і вагів прийняла нову систему, назвавши її Міжнародна система одиниць (System International) із скороченим позначенням «SI», українською «СІ».

У 1963 р. було введено ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», згідно з яким СІ була визнана переважною. На сьогодні введено в дію Держстандартом єдиний державний стандарт — ГОСТ 8.417—81 «ГСИ. Единицы физических величин», що охоплює галузі науки і техніки і заснований на Міжнародній системі одиниць.

Потреба в єдиній Міжнародній системі одиниць настільки значна, а переваги її такі переконливі, що ця система упродовж короткого часу набула широкого міжнародного визнання і поширення.

Міжнародна організація зі стандартизації (ІСО) прийняла у своїх рекомендаціях з одиниць Міжнародну систему одиниць.

Організація об'єднаних націй з освіти, науки і культури (ЮНЕСКО) закликала всі країни — члени організації — прийняти Міжнародну систему одиниць.

Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ) рекомендувала державам — членам організації — ввести Міжнародну систему одиниць у законодавчому порядку і градувати в одиницях СІ всі вимірювальні пристрої.

Міжнародна система одиниць увійшла в рекомендації з одиниць Міжнародної спілки чистої та прикладної фізики, Міжнародної електротехнічної комісії, Міжнародної газової спілки й інших міжнародних організацій.

Для вимірювання лінійних розмірів у системі СІ прийняті такі одиниці вимірювань: метр (м), міліметр (мм), мікромметр (мкм). Для вимірювання кутових розмірів — градус (°), хвилина ('), секунда (").

Первинні засоби вимірювань

Лінійка вимірювальна металева. Лінійка вимірювальна являє собою

гнучку сталъну смугу з нанесеною на ній прямою шкалою з цiною подiлки 1 мм. Лiнiйки виготовляють зi шкалами вiд 0 до 150 мм, вiд 0 до 300 мм, вiд 0 до 500 мм i вiд 0 до 1000 мм. Початком шкали лiнiйки є площина торця смуги; торець розташований перпендикулярно поздовжньому ребру смуги. З торцем збiгається середина нульового штриха шкали. Кiнець штрихiв шкали виходить на поздовжнє ребро. Кожний 5-й i 10-й штрих шкали подовжений, кожний 10-й — iз цифрою, яка показує вiдстань у сантиметрах вiд цього штриха до початку шкали. Другий кiнець смуги закруглений i має отвiр для пiдвiшування лiнiйки.

Металева лiнiйка дозволяє безпосередньо здобути значення вимiрюваної величини.

На рис. 6.1 показано прийоми визначення мiжосьової вiдстанi отворiв. Якщо отвори однакового дiаметра (рис. 6.1 а), то можна вимiряти лiнiйкою вiдстань mn , яка дорiвнює мiжосьовiй вiдстанi.

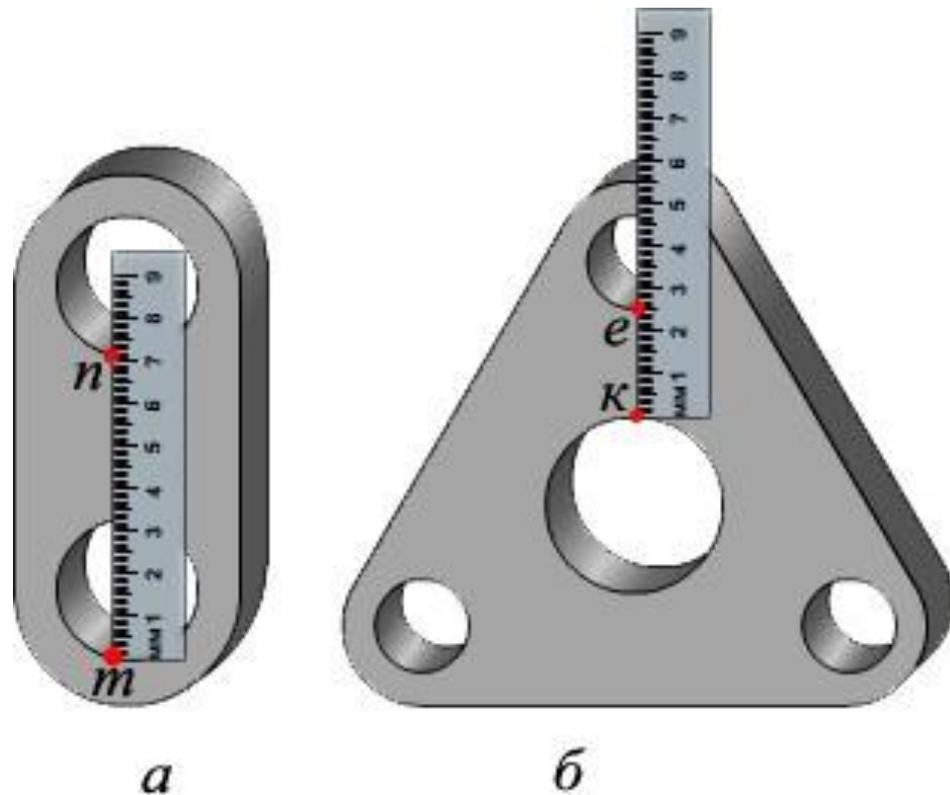


Рис. 6.1. Прийоми вимiрювань металевою лiнiйкою

У разi рiзних дiаметрiв отворiв (рис. 6.1 б) лiнiйкою вимiрюється вiдстань ek мiж найближчими точками отворiв i до неї додається сума розмiрiв радiусiв великого й малого отворiв.

Кронциркуль. Кронциркуль служить для вимiрювання розмiрiв зовнiшнiх i внутрiшнiх поверхонь деталей (рис. 6.2, 6.3).



Рис. 6.2. Вимірювання зовнішніх розмірів деталі кронциркулем



Рис. 6.3. Вимірювання внутрішніх розмірів деталі кронциркулем

Криволінійна форма ніжок із загнутими всередину кінцями дозволяє зручно вимірювати діаметри поверхонь обертання (рис. 6.4, б).

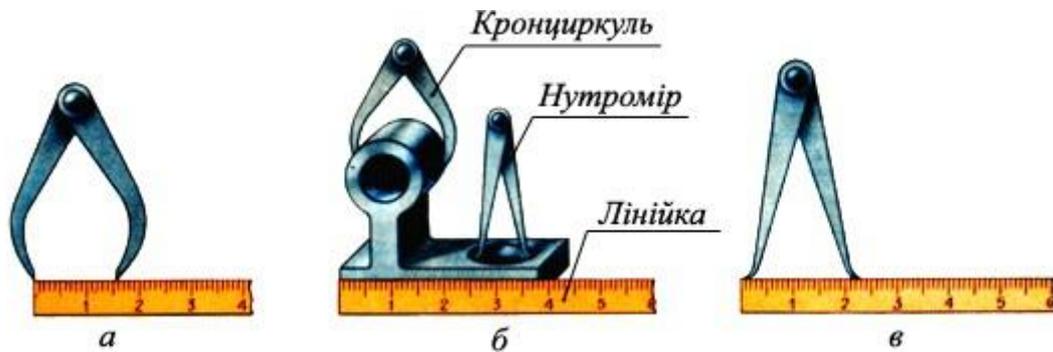


Рис. 6.4. Прийоми вимірювань кронциркулем і нутроміром

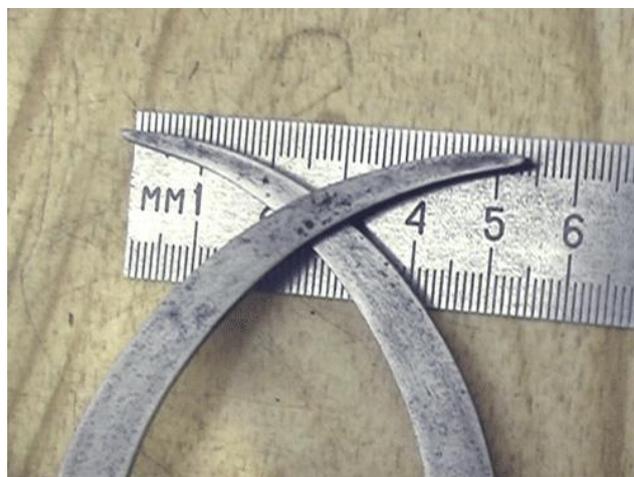
Нутромір. Нутромір застосовують переважно для вимірювання розмірів внутрішніх поверхонь. Ніжки нутроміра прямі з відігнутими зовні кінцями (рис. 6.4, б, в).

При користуванні кронциркулем і нутроміром у жодному разі не виконувати вимірювання із зусиллям: інструмент має проходити вимірювані місця вільно під дією власної ваги. На рис. 6.4, б показано вимірювання кронциркулем діаметра циліндричної частини деталі, а нутроміром — діаметра отвору в основі цієї деталі. Лінійкою визначають розміри основи деталі. Значення виміряних кронциркулем і нутроміром величин визначають шляхом перенесення їх на лінійку (рис. 6.4, а, в).

Вимірювання деталей кронциркулем, нутроміром і лінійкою не дають великої точності.

Точність вимірювання цими інструментами при певному досвіді сягає 0,5 мм (рис. 6.5).

Рис. 6.5. Читання показань при вимірюванні кронциркулем



Багато деталей мають криволінійні обриси. У таких випадках форму і

розміри контуру цих деталей можна визначити вимірюванням координат його точок за допомогою рейсмуса. Під час вимірювання координат точок рейсмус і вимірювану деталь установлюють на гладкій рівній поверхні (розмічальній плиті). Пересуваючи стрижень рейсмуса по лінійці вгору або донизу і приводячи його гострий кінець у зіткнення з якоюсь точкою кривої, можна визначити координати цієї точки. Узявши за початок координат нульову поділку лінійки-рейсмуса, можна за її шкалою знайти координати Б1, Б2, Б3, а за шкалою стрижня — координати А1, А2, А3. Точніше координати точок можуть бути визначені за допомогою штангенрейсмуса, який обладнаний ноніусом (рис. 6.6).



Рис. 6.6. Штангенрейсмус

Штангенциркуль ШЦ-І (рис. 6.7, а). Штангенциркулем називають засіб

для вимірювання лінійних розмірів, заснований на штанзі 3, на якій нанесено шкалу з ціною поділки 1 мм. Штангою 3 пересувається рамка 6 із допоміжною шкалою-ноніусом 5. Штангенциркуль обладнаний губками для зовнішніх вимірювань 7 і для внутрішніх вимірювань 1, а також затиском 2. До рамки бприкріплено лінійку глибиноміра 4.

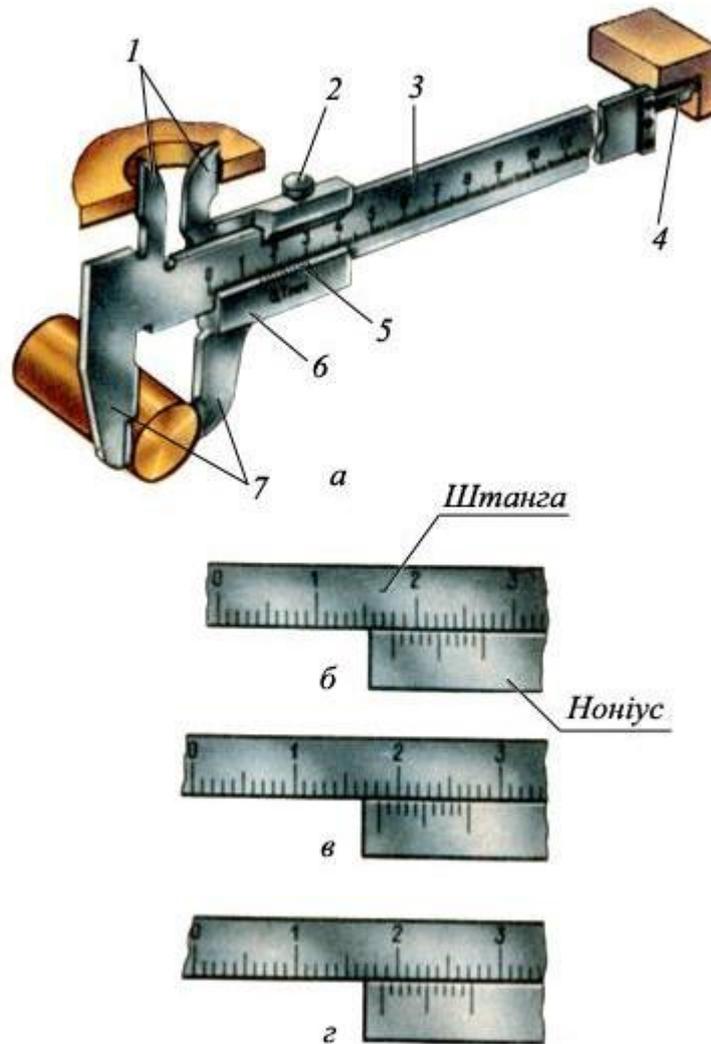


Рис. 3.11. Штангенциркуль ШЦ-I:

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

Ноніус 7 (рис. 6.7, б) служить допоміжною шкалою, яка дозволяє відлічувати частки поділки шкали штанги. Він наноситься на скошеній поверхні рамки або від подільної пластинки, закріпленої у вікні рамки.

Ноніус має десять рівних поділок 9 мм, тобто кожна поділка ноніуса менше поділки штанги на 0,1 мм. При зіткнутих губках нульові поділки

штанги і ноніуса збігаються.

При вимірюванні зовнішнього діаметра циліндричної деталі (рис. 6.7) вона дещо затискається губками 8, рамка з ноніусом закріплюється на шкалі гвинтом 2, а за шкалами штанги і ноніуса виконується обчислення.

При діаметрі деталі, що дорівнює 18 мм, нульова поділка ноніуса точно збігається з вісімнадцятою поділкою штанги (рис. 6.7 б).

Якщо діаметр деталі дорівнює 18,2 мм, то нульову поділку ноніуса буде зсунуто вправо від вісімнадцятої поділки штанги на 0,2 мм, а отже, друга поділка ноніуса збігається із двадцятью поділкою штанги (рис. 6.7, в). При величині діаметра деталі 18,4 мм четверта поділка збігається з двадцять другою поділкою штанги (рис. 6.7, г).

Таким чином, щоб установити розмір вимірюваної величини, необхідно визначити за лінійкою штанги ціле число міліметрів, а за ноніусом число десятих часток міліметрів. Десятих часток міліметрів буде стільки, скільки можна відрахувати поділок ноніуса від його нульового штриха до його найближчого штриха, що збігається з яким-небудь штрихом штанги (рис. 6.8).

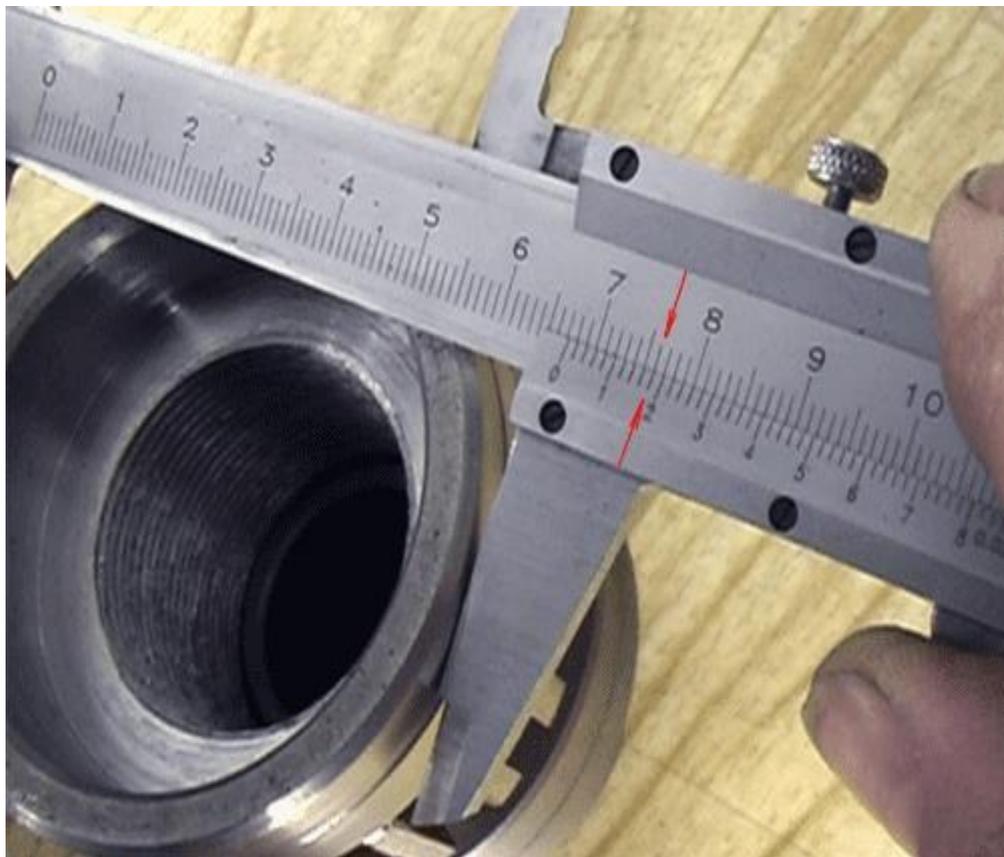


Рис. 6.8. Розмір, отриманий при вимірюванні штангенциркулем, дорівнює

67,18 мм

Вимірювання діаметра отвору виконується за допомогою вимірювальних губок 1 (рис. 6.7, 6.9).

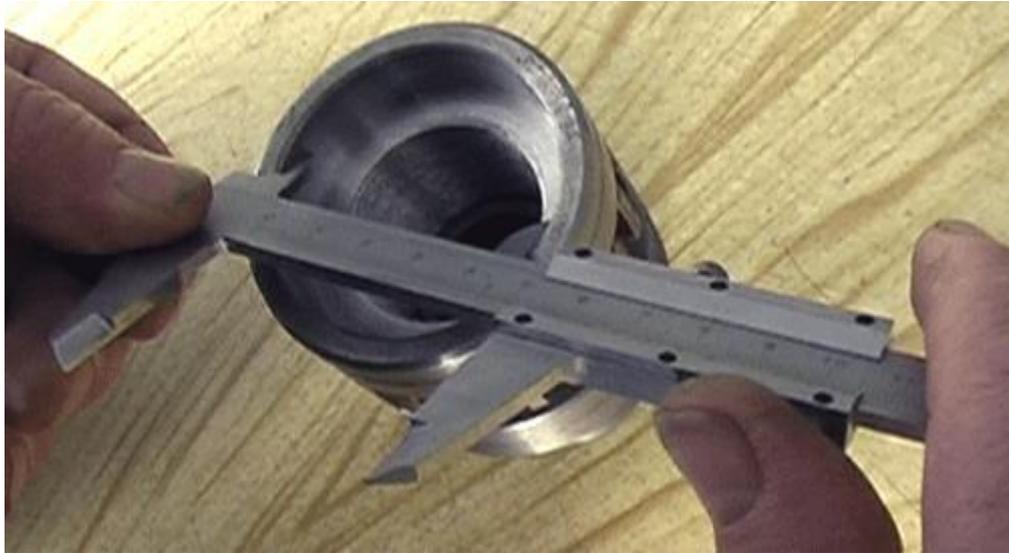


Рис. 6.9. Вимірювання отвору деталі

У пазу зі зворотного боку штанги 5 розташована вузька лінійка глибиноміра 6, жорстко з'єднана з рамкою 3. При зімкнутому положенні губок торець глибиноміра збігається з торцем штанги. При вимірюванні глибини отвору або уступу в деталі торець штанги упирається в торець деталі, а глибиномір за допомогою рамки пересувається до упору в дно отвору або границю уступу. Розмір вимірюної глибини визначається за поділками штанги і ноніуса (рис. 3.14).



Рис. 6.10. Вимірювання розміру глибини деталі

Мікрометр гладкий (рис. 6.11). Основою мікрометра є скоба 1, а передавальним (перетворювальним) пристроєм служить гвинтова пара, що складається з мікрометричного гвинта 3 і мікрометричної гайки, закріпленої всередині стебла 5, які часто називають мікропарою. У скобу 1 запресовані п'ятка 2 і стебло 5. Вимірювана деталь охоплюється вимірювальними поверхнями мікрогвинта 3 і п'ятки 2. Барабан 6 приєднаний до мікрогвинта 3 корпусом тріскачки 7. Для наближення мікрогвинта 3 до п'ятки 2 його обертають за барабан або за тріскачку 8 за годинниковою стрілкою (від себе), а для видалення мікрогвинта від п'ятки його обертають проти годинникової стрілки (на себе). Закріплюють мікрогвинт у потрібному положенні стопором 4.

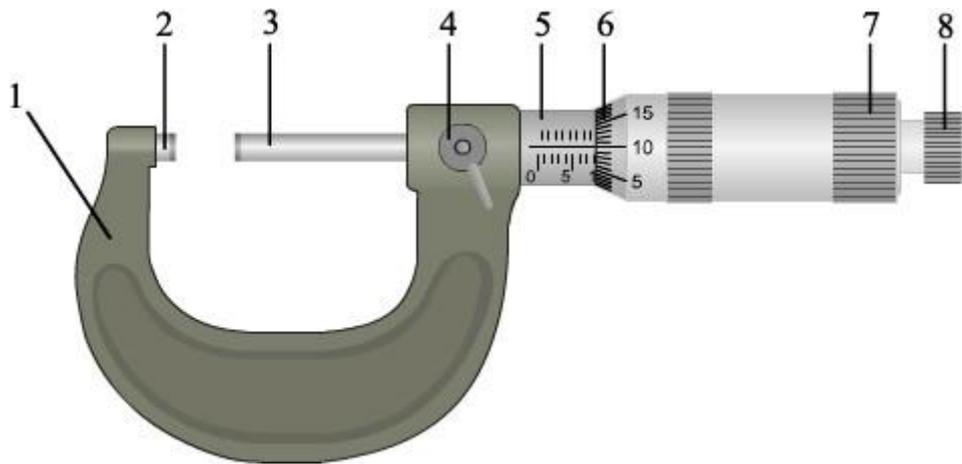


Рис. 6.11. Мікрометр гладкий:

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

При щільному зіткненні вимірювальних поверхонь мікрометра з поверхнею вимірюваної деталі тріскачка прокручується з легким тріском, при цьому обмежується вимірювальне зусилля мікрометра. Результат вимірювання розміру мікрометром відраховується як сума відліків за шкалою стебла 5 і барабана 6. Слід пам'ятати, що ціна поділки шкали стебла становить 0,5 мм, а шкали барабана — 0,01 мм. Крок різі мікропари (мікрогвинт і мікрогайка) $P = 0,5$ мм.

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

Показання за шкалами гладкого мікрометра відлічують у такому

порядку: спочатку за шкалою стебла 5 читають значення штриха, найближчого до торця скоса барабана 6 (на рис. 3.16 — це число 15,00 мм). Далі за шкалою барабана читають значення штриха, найближчого до поздовжнього штриха стебла (на рис. 3.3, б — це число 0,20 мм). Додавши обидва значення, отримують показання мікрометра (на рис. 3.16 — це значення 15,20 мм).

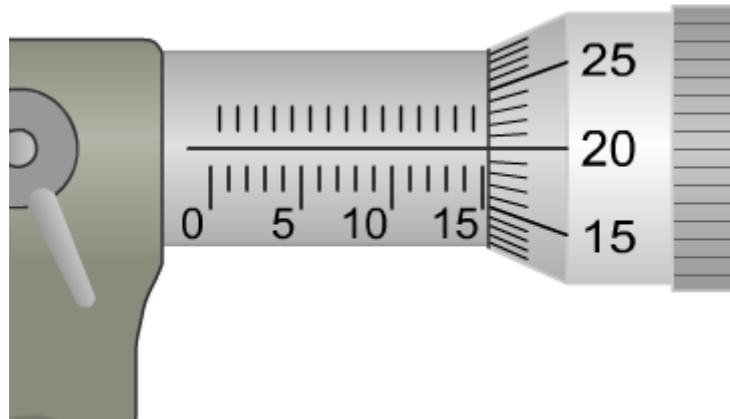


Рис. 6.12. Відлік показань за шкалами гладкого мікрометра

Діапазони вимірювання гладкого мікрометра: від 0...25 мм; 25...50 мм тощо до 275...300 мм, далі 300...400; 400...500 і 500...600 мм.

До мікрометрів із нижньою границею понад 25 мм додають встановлювальні міри для перевірки нульового положення. Мікрометри з верхньою границею понад 300 мм мають змінну або пересувну п'ятку для збільшення діапазону вимірювань до 50 мм (рис. 6.13).



Рис. 6.13. Мікрометри типу МК

Для підвищення зручності і прискорення відліку показання мікрометра випускаються накладні пристрої з точністю 0,01 мм, такі як комбінований мікрометр гладкий (дюйм/метр) із цифровою індикацією й електронний мікрометр з комп'ютером і принтером (рис. 6.14).



Рис. 6.14 Накладні пристрої для вимірювань із точністю 0,01 мм: а — електронний мікрометр з принтером; б — комбінований мікрометр гладкий з цифровою індикацією

Індикатор годинникового типу. Індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм з пересуванням вимірювального стрижня паралельно шкалі призначений для відносних вимірювань зовнішніх розмірів, відхилень форми і розташування поверхонь (рис. 6.15). Він є також показуючим пристроєм індикаторної скоби, індикаторного глибиноміра й індикаторного нутроміра. На лицьовому боці циферблата індикатора є дві стрілки і дві шкали; велика стрілка 1 над оцифрованою круглою шкалою 2 і мала стрілка 4 над відліковою шкалою 5. Кругова шкала має ціну поділки 0,01 мм, а мала шкала — 1 мм. Пересування вимірювального стрижня 6 на 1 мм викликає поворот стрілки 1 на 100 поділок (один повний оберт), а стрілки 4 на одну поділку. Шкала 2 індикатора разом із обідком при установці шкали на нульову поділку повертається відносно великої стрілки 1 і фіксується стопором 3.

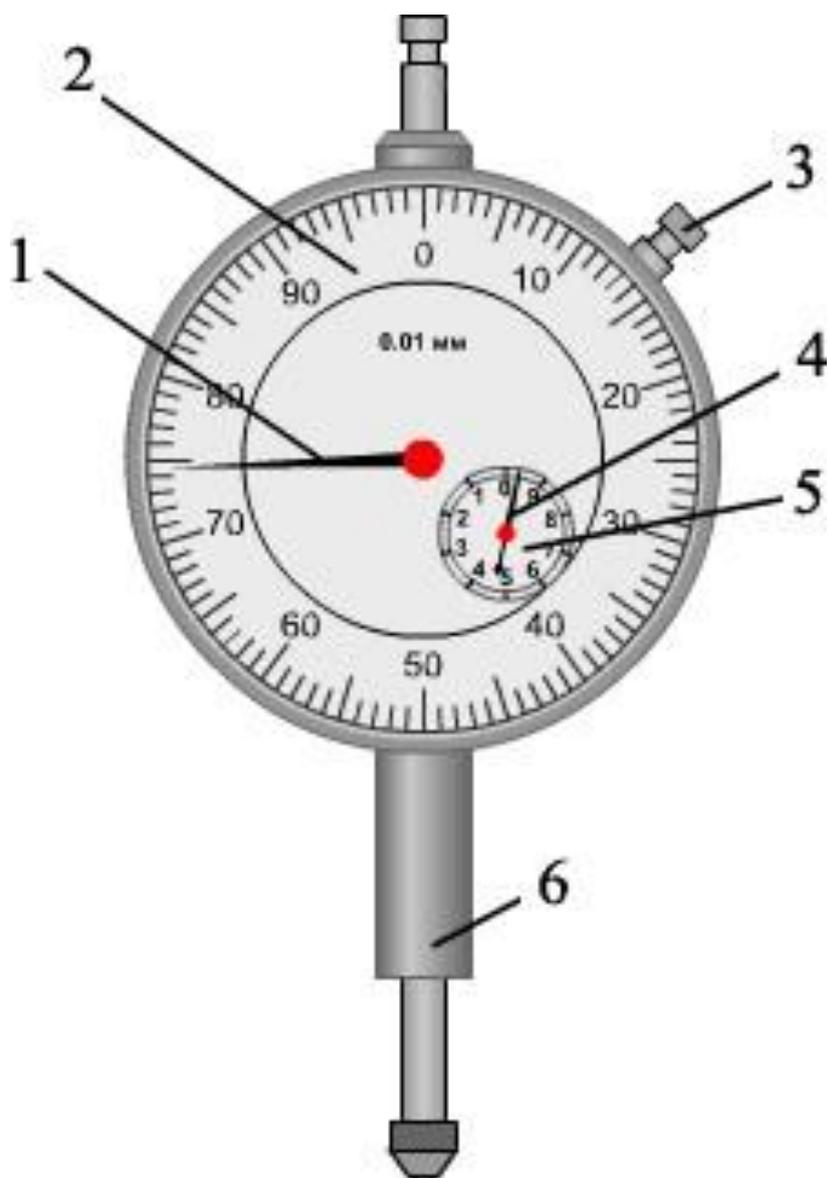


Рис. 6.15. Індикатор годинникового типу:

1 — велика стрілка; 2 — шкала індикатора; 3 — стопор; 4 — стрілка; 5 — відлікова шкала; 6 — вимірювальний стрижень

Конструкція індикатора годинникового типу являє собою вимірювальну головку з поздовжнім пересуванням наконечника (рис. 6.16). Основою індикатора є корпус, усередині якого змонтовано перетворювальний механізм — рейково-зубчаста передача. Крізь корпус проходить вимірювальний стрижень 2 із наконечником 1. На стрижні нарізано рейку. Рухи вимірювального стрижня-рейки 2 передаються зубчастими колесами — рейковим 8, передавальним 6 і трибкою 4 основній стрілці 5, величина повороту якої відлічується за круглою шкалою — циферблатом. Для установки на «0» кругла шкала повертається обідком.

Кругла шкала індикатора годинникового типу складається зі 100

поділок, ціна кожної поділки — 0,01 мм. Це означає, що при пересуванні вимірювального наконечника на 0,01 мм стрілка індикатора перейде на одну поділку шкали.

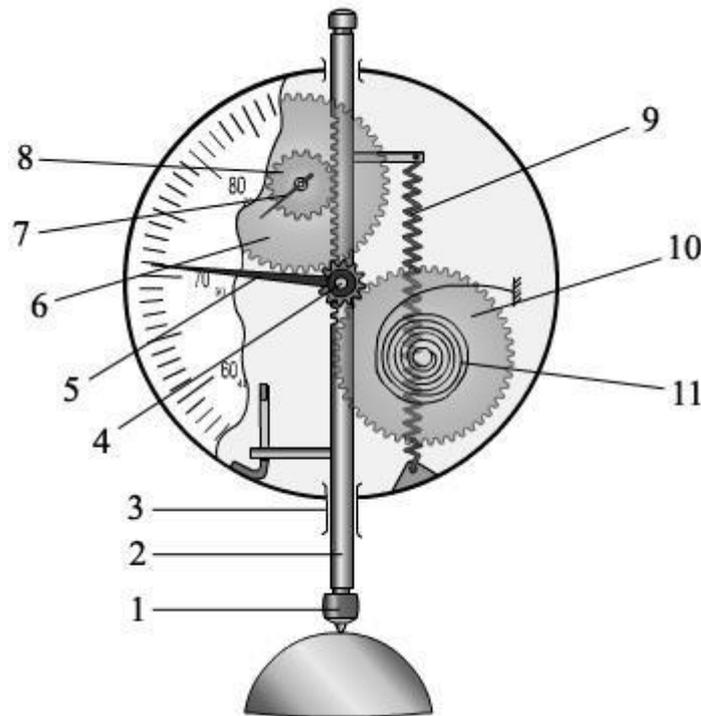


Рис. 6.16. Пристрій індикатора годинникового типу:

1 — наконечник; 2 — вимірювальний стрижень-рейка; 3 — гільза; 4 — трибка; 5 — стрілка; 6 — передавальне зубчасте колесо; 7 — стрілка; 8 — зубчасте рейкове колесо; 9 — пружина; 10 — зубчасте колесо; 11 — пружинний волосок

Загальна структура засобів вимірювань

Конструкція переважної більшості засобів вимірювання складається з послідовно розташованих елементів і пристроїв, кожен з яких у цій послідовності виконує певне завдання під час вимірювання. Для того щоб у подальшому у процесі вивчення засобів вимірювання було легше уявити їх дію, розглянемо стисло ці пристрої та їх призначення (ГОСТ 16263—70).

Основа вимірювального засобу — це конструктивний елемент, на базі якого змонтовано всі елементи даного діючого засобу вимірювання.

Наприклад, штанга штангенциркуля, скоба мікрометра, корпус індикатора годинникового типу.

Рис. 6.17. Штанга штангенциркуля

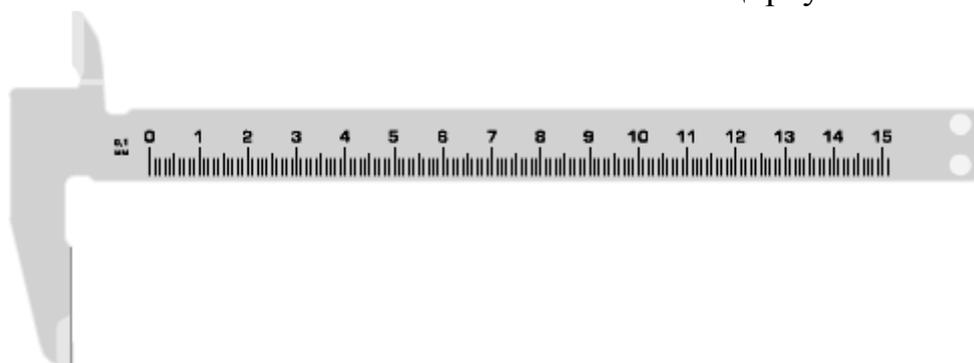




Рис. 6.18. Скоба мікрометра



Рис. 6.19. Корпус індикатора годинникового типу

Сприймальний елемент — це частина засобу вимірювання, яка здійснює його зіткнення з об'єктом вимірювання і сприймає величину цього об'єкта, наприклад вимірювальні губки штангенциркуля, вимірювальний наконечник індикатора (рис. 6.20). Частина сприймального елемента, яка безпосередньо торкається поверхні об'єкта, іноді називають чутливим елементом (рис. 6.21).



Рис. 6.20 Вимірювальний наконечник індикатора

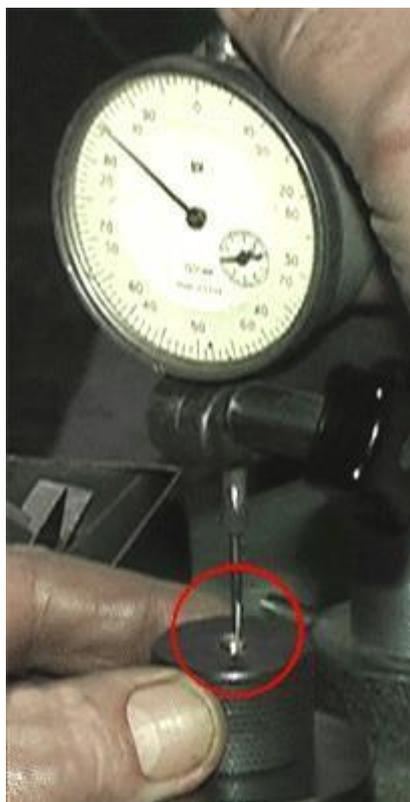


Рис. 6.21. Сприймальний елемент індикатора

Розмірний елемент — це одна із деталей засобу вимірювання, яка має власний точний, зазвичай багатозначний, розмір, із величиною якого у процесі вимірювання безпосередньо зіставляється сприйнята засобом вимірювання величина об'єкта вимірювання (наприклад, штанга зі шкалою штангенциркуля).

Перетворювальний пристрій — це внутрішній механізм або елемент засобу вимірювання, який перетворює (видозмінює) малі пересування, сприйняті від об'єкта вимірювання, у великі пересування на відліковому пристрої так, що ці великі пересування виконувач може безпосередньо спостерігати і відлічувати (наприклад, зубчаста передача в індикаторі годинникового типу).

Відліковий пристрій — створює можливість відлічувати показання засобу вимірювання, у більшості випадків відлікові пристрої мають шкалу і покажчик, яким служить окремий штрих, група штрихів або стрілка. Упродовж останнього часу поширюються засоби вимірювання з цифровими відліковими пристроями, наприклад ноніус штангенциркуля (рис. 6.22), кругла шкала індикатора і стрілка (рис. 6.23), цифрове табло пристрою з цифровою індикацією (рис. 6.24).

Залежно від призначення і принципу дії конкретного засобу вимірювання в його конструкції використовуються ті чи інші комплекси цих пристроїв і елементів, які складають структуру цього засобу вимірювання.

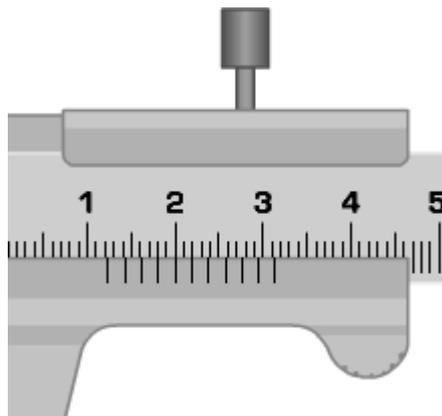


Рис. 6.22. Ноніус штангенциркуля

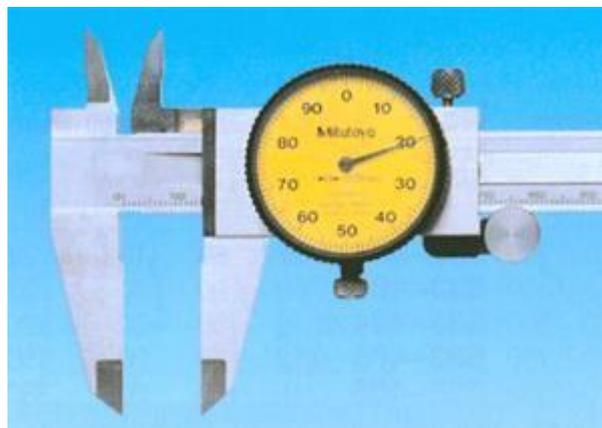


Рис. 6.23. Шкала індикатора і стрілка



Рис. 6.24. Цифрове табло пристрою

Параметри і характеристики засобів вимірювання

Шкала — це ряд позначок (штрихів або точок) і проставлених біля них чисел, положення і значення яких відповідає ряду послідовних розмірів. Довжина (інтервал) поділки шкали — відстань між серединами (осями) двох сусідніх позначок шкали, найпоширеніші інтервали — 0,5 і 1 мм.

Ціна поділки шкали — це різниця значень величини, відповідних двом сусіднім позначкам шкали. Іншими словами, величина пересування сприймального пристрою засобу вимірювання, яка викликає пересування покажчика на одну поділку шкали. Найпоширеніші ціни поділок — 0,1; 0,2; 0,5 мкм; 1; 2; 5 мкм; 0,01; 1 мм.

Приклад. Якщо наконечник індикатора годинникового типу перемістити на 0,01 мм, то стрілка зсунеться на одну поділку кругової шкали, отже, ціна поділки складає 0,01 мм (рис. 6.25).



Рис. 6.25. Показання індикатора під час вимірювань

Показання засобу вимірювання — це значення величини, визначене за відліковим пристроєм після вимірювання заданого об'єкта. Показання завжди складається від добутку числа поділок шкали і відліку і ціни поділки даної шкали.

Приклад 1. Потрібно виміряти діаметр вала штангенциркулем. Для цього охоплюємо губками для зовнішніх вимірювань вимірюваний вал і читаємо за шкалою і ноніусом показання 25,3 мм.

Приклад 2. Потрібно виміряти відхилення від паралельності поверхонь пластини індикатором. Для цього укладаємо пластину на столик, підводимо до неї наконечник, зсуваємо пластину до одного краю і ставимо стрілку на «0». Далі зсуваємо пластину до іншого краю і читаємо за шкалою нове положення стрілки. Якщо стрілка зсунулася на 10 поділок шкали, то показання індикатора — непаралельність поверхонь пластини — дорівнює 0,1 мм, оскільки ціна поділки шкали $c = 0,01$ мм. Тут «0» і «10» — відліки, а 0,10 мм — показання.

Діапазон показань — це область значень вимірюваного розміру, які можуть бути відлічені за даною шкалою.

Границі вимірювань даним засобом вимірювання — найбільший і найменший розміри, які можуть бути виміряні з нормованою точністю.

Діапазон вимірювань даним засобом вимірювання — це область, у якій розташовані вимірювані розміри.

Контрольні запитання

1. Що таке метрологія?
2. Що таке засіб вимірювання?
3. Що таке шкала, довжина поділки (інтервал), ціна поділки, відлік?
4. Що таке діапазон показань, границі вимірювання, діапазон вимірювань?

Лекція №7 Методи та похибки вимірювання

1. **Види вимірювання**
2. **Методи вимірювання**
3. **Складові похибки вимірювання. Перевірка. Державна система забезпечення однаковості вимірювань**

Види вимірювання

Пряме вимірювання — це вимірювання, при якому значення вимірюваної величини здобувають безпосередньо за відліковим пристроєм, наприклад вимірювання висоти h лінійкою глибиноміра штангенциркуля ШЦ-1 (рис. 7.1).

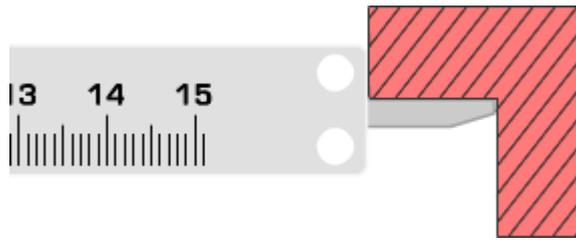


Рис. 7.1. Вимірювання висоти лінійкою глибиноміра штангенциркуля ШЦ-1

Непряме вимірювання — це вимірювання, при якому шукане значення величини здобувають перерахунком результатів прямих вимірювань величин, пов'язаних із шуканою величиною відомою нам залежністю.

Приклад. Потрібно виміряти відстань L_0 між осями двох отворів (рис. 7.2) за допомогою штангенциркуля.

Прямим вимірюванням з допомогою штангенциркуля визначити величину L_0 практично неможливо, оскільки осі отворів розташовані у повітряному просторі й відчуті їх сприймальним пристроєм штангенциркуля не можна. Отже, слід застосувати непряме вимірювання. Спочатку виконуємо прямі вимірювання величин L_B , d_1 і d_2 губками для внутрішніх вимірювань, а далі підраховуємо шукану величину за залежністю.

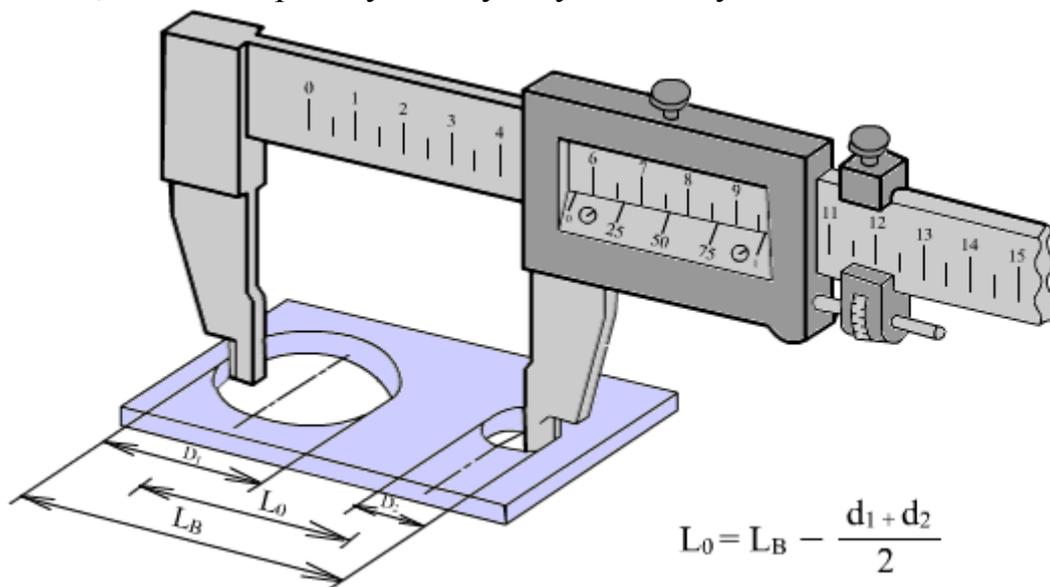


Рис.7.2. Непряме вимірювання

Контактне вимірювання — це вимірювання, при якому сприймальний пристрій засобу вимірювання має механічний контакт з поверхнею вимірюваної деталі, наприклад вимірювання за допомогою штангенциркулів, індикатора годинникового типу тощо (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Контактне вимірювання за допомогою штангенциркуля
Безконтактне вимірювання — це вимірювання, при якому сприймальний пристрій не має механічного контакту з поверхнею вимірюваної деталі, наприклад вимірювання на мікроскопі.

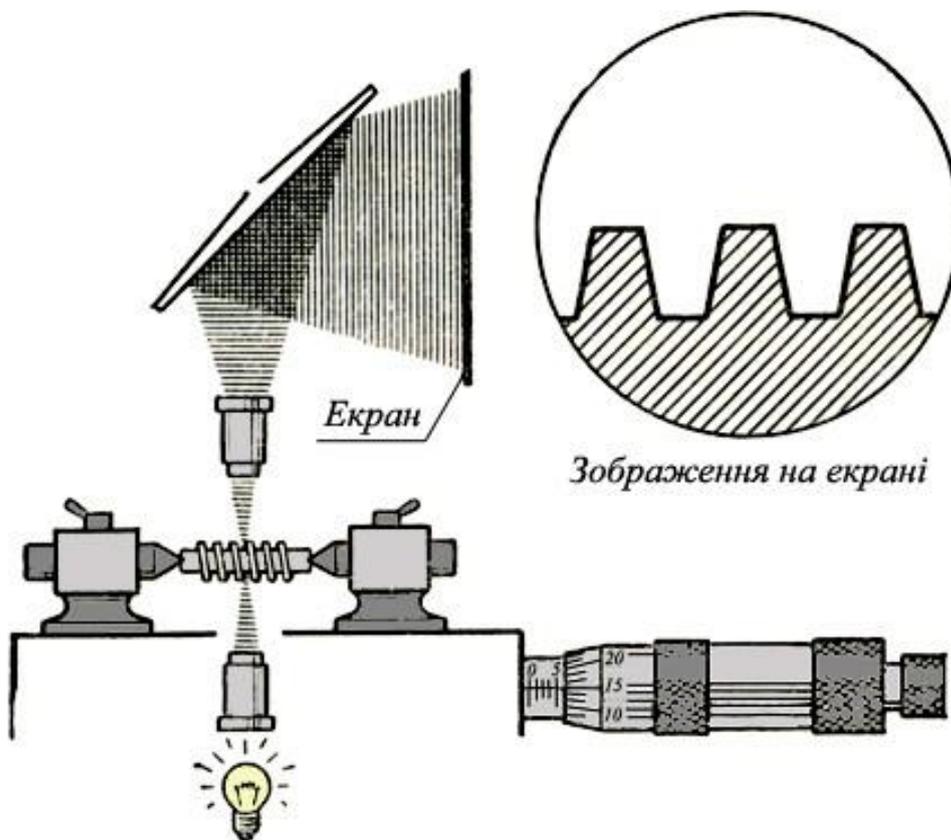


Рис. 4.33. Безконтактне вимірювання



Рис. 7.4. Безконтактне вимірювання деталі на мікроскопі

Методи вимірювання

Методом вимірювання прийнято називати сукупність прийомів і принципів використання засобів вимірювання. Найпоширенішими є такі методи.

Метод безпосереднього оцінювання — при цьому методі величина вимірюваної деталі визначається безпосередньо по розмірному пристрою, який наявний у конструкції застосовуваного засобу вимірювання, наприклад вимірювання діаметра вала за допомогою штангенциркуля.

Тут величина діаметра, сприйнята губками, безпосередньо зіставляється зі шкалою штанги, яка має точний розмір і входить до конструкції цього засобу вимірювання (рис. 7.5).



Рис. 7.5. Вимірювання деталі методом безпосереднього оцінювання

Метод порівняння з мірою — це метод, при якому величина вимірюваної деталі зіставляється з величиною, відтворюваною мірою або величиною зразкової деталі, які не входять до конструкції застосовуваного засобу вимірювання. Наприклад, вимірювання вала діаметром 30 мм за допомогою індикатора годинникового типу методом порівняння з кінцевою мірою 30 мм на стояку зі столиком (рис. 7.6).

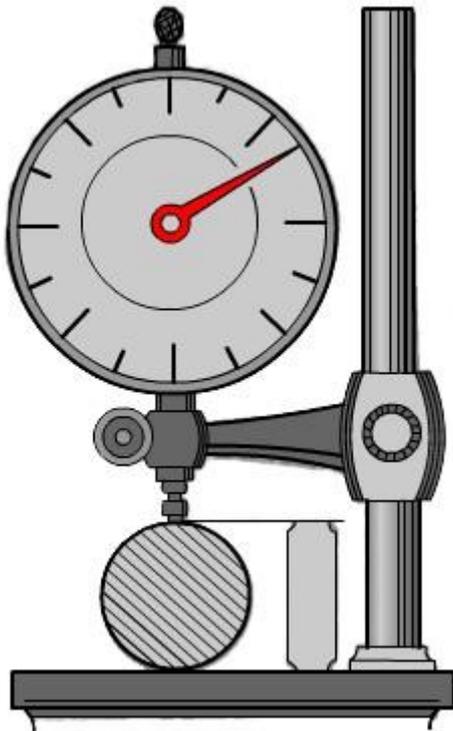


Рис. 7.6. Вимірювання методом порівняння з мірою

У сучасному машинобудуванні часто застосовують з'єднання деталей, у яких сполучувані поверхні мають складний профіль. Наприклад, деталі з різьєю, деталі зі шліцьовою поверхнею тощо.

Очевидно, що для визначення придатності таких деталей необхідно контролювати всю її поверхню одразу, в комплексі розмірів і розташування всіх її елементів.

Для цього виготовляють зразок (іноді його називають калібром), який має форму поверхні деталі, сполучуваної з контрольованою деталлю (для контролю втулки роблять зразок, що має форму вала, і навпаки), і з'єднують його поверхню з поверхнею контрольованої деталі. Якщо деталь і зразок не сполучуються, то деталь не придатна, не придатний комплекс розмірів і розташування елементів її поверхні. Такий метод контролю і називають комплексним (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Комплексний метод контролю деталі (за допомогою калібра-пробки)

Комплексний метод контролю дає тільки відповіді «придатний» або «не придатний». У разі відповіді «придатний» гарантується збиральність пари деталей зі складним контуром. У разі відповіді «не придатний» потрібно визначити причину цієї непридатності. Для цього необхідно виявити той розмір або те неправильне розташування елемента поверхні, яке заважає збиральності контрольованої деталі зі зразком (а отже, в подальшому і зі з'єднуваною деталлю на збиранні). Для цього застосовують метод, який виявляє числові величини шуканих відхилень, причому кожен елемент має вимірюватися окремо, тобто диференційовано. Цей метод так і називають відокремлювальним, або диференційованим (рис. 7.8).

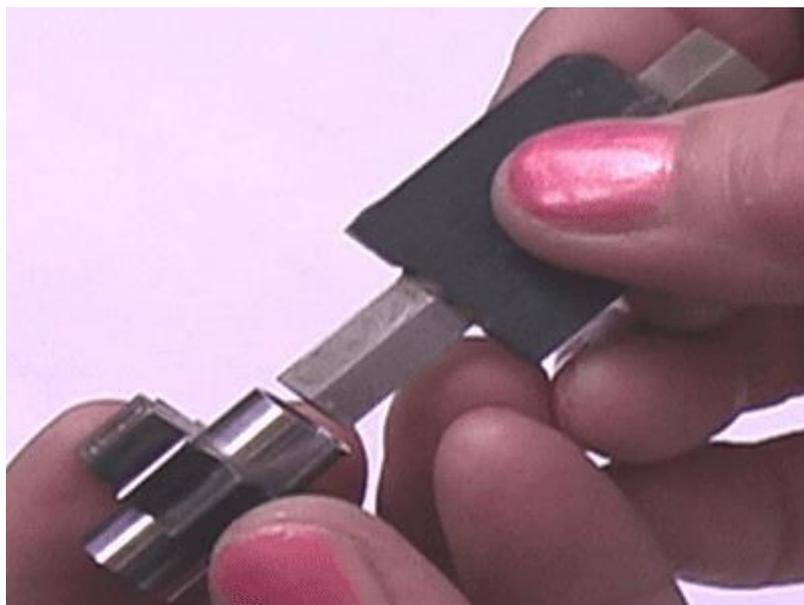


Рис. 7.8. Забір елемента шліцьової втулки диференційованим методом

Складові похибки вимірювання. Перевірка. Державна система забезпечення однаковості вимірювань

Похибка вимірювання — це відхилення результату вимірювання від дійсного розміру вимірюваної величини. У числових величинах похибку вимірювання Δ підраховують як різницю між результатом вимірювання LB і дійсним розміром LD вимірюваної величини: $\Delta = LB - LD$.

Найсуттєвіше впливають на величину похибки вимірювання п'ять складових: похибка засобу вимірювання, похибка встановлювальних мір, похибка від вимірювального зусилля, похибка через температурних деформацій, суб'єктивні похибки виконувача вимірювання. Розглянемо детальніше складові похибки вимірювання, визначимо, як, чому і звідки вони виникають.

Похибка засобу вимірювання — це різниця між показанням даного засобу вимірювання і дійсним розміром вимірюваної величини.

Ця похибка вносить найчастіше найбільшу частку в похибку вимірювання. Саме тому за всіма засобами вимірювання, як після їх виготовлення або ремонту, так і за тими, що перебувають в експлуатації, здійснюється нагляд, під час якого періодично визначається, у якому стані знаходиться кожен засіб вимірювання.

Такий контроль прийнято називати перевіркою засобів вимірювання. При проведенні перевірки визначається працездатність даного засобу вимірювання, в тому числі і величина його похибки, а саме, чи перебуває вона в межах установленої норми. Виконують перевірку спеціальні органи метрологічної служби — вимірювальні лабораторії та їх перевірні пункти (працівники цих органів, які особисто проводять перевірку, називаються перевірниками). Якщо в результаті перевірки даний засіб вимірювання виявляється придатним, тобто він працює і його похибка перебуває в межах норми, то на нього виписується документ про позитивні результати перевірки (атестат), якщо ж ні, то його вилучають із застосування. Атестат придатного засобу вимірювання зберігається в його футлярі і свідчить про придатність його до дати наступної перевірки за графіком. Якщо термін пройшов і чергову перевірку не здійснили, то при нагляді це вимірювання оголошується незаконним, а його атестат недійсним (рис. 7.9).



Рис. 7.9. Набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини (КМД) з атестатом

Усе ці заходи виконуються для забезпечення однаковості вимірювань. Однаковість вимірювань — це такий стан усіх вимірювань, при якому їх результати виражаються в узаконених одиницях і мають нормовану точність. Для забезпечення однаковості вимірювань у нашій країні створено Державну систему забезпечення однаковості вимірювань (ДСВ), яка складається з великої групи ГОСТів. Комплекс цих стандартів із ДСВ мають номери, які починаються з цифри 8. Наприклад, ГОСТ 8.051—81 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».

Похибки, які вносяться встановлювальними мірами або зразками. Усі ці міри мають власні похибки, і ці похибки з їх знаками входять до похибки кожного вимірювання.

Похибка вимірювання від вимірювального зусилля. Вимірювальне зусилля створює в засобі вимірювання і вимірюваній деталі деформації, які, в свою чергу, призводять до похибок вимірювання.

Похибки від температурних деформацій. На сьогодні встановлено, що вимірювання лінійних розмірів має виконуватися за температури $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таку температуру називають нормальною. Практично точно витримати цю температуру складно. В реальних умовах під час вимірювань деталь, засіб вимірювання й оточуюче середовище можуть мати різні температури, які

можуть безперервно змінюватися. Ці коливання й відхилення температури від $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ призводять до температурних деформацій — змін розмірів і форми як вимірюваної деталі, так і самого засобу вимірювання. Такі деформації створюють похибки вимірювання, які входять у загальну похибку вимірювання.

Суб'єктивні похибки виконувача вимірювання. Людина, яка застосовує засіб вимірювання (суб'єкт), вносить у цей процес похибки, що виникають під час його діяльності. Цими похибками є похибки дії, тобто помилки, які виникають під час виконання виконувачем прийомів вимірювання, і похибки відлічування показання. Розрізняють такі види помилок виконувача:

— виконувач неправильно визначає місце покажчика (стрілки, відлікового штриха) відносно штриха відлікової шкали через зсув свого ока з точки відліку. Такий зсув називають паралаксом. *Паралакс* — це позірний зсув покажчика відносно штриха шкали, викликаний зсувом ока наглядача з перпендикуляра, опущеного через покажчик на площину шкали (рис. 7.10);

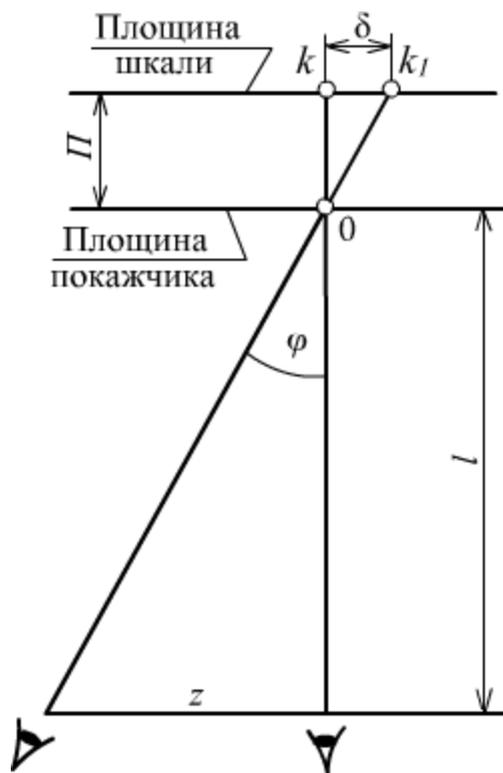


Рис. 7.10. Схема паралакса

— неправильно визначає знак відхилення вимірюваного розміру від «0», поставленого за встановлюваною мірою; положенню покажчика частку ціни поділки шкали;

— неправильно підраховує числову величину показання: помиляється в кількості поділок відхилення за шкалою від «0», помиляється в ціні поділок на різних ділянках шкали тощо.

Повна (сумарна) похибка вимірювання. Для засобів вимірювання, які випускаються промисловістю і застосовуються в машинобудуванні для вимірювання лінійних розмірів, дослідженнями виявлено граничні величини повних, сумарних похибок вимірювання ΔE .

Деякі з цих похибок наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

| Засоби вимірювання | Клас мір | Хід стрижня, мм | Номинальний розмір, мм | | | | | | | | | |
|---|----------|-----------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|-----|
| | | | 1 | 6 | 10 | 18 | 50 | 80 | 120 | 180 | 260 | 360 |
| | | | — 6 | — 10 | — 18 | — 50 | — 80 | — 120 | — 180 | — 260 | — 360 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Штангенциркуль з відліком по ноніусу 0,1 мм | — | — | 150 | 150 | 50 | 150 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 250 |
| Індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм при вимірюванні розміру | 5 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 | 30 | 30 | 40 |
| | 3 | 1 | 10 | | | | | | | | | |
| | 3 | 0,1 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Контрольні запитання і завдання

1. Яка різниця між прямим і непрямим вимірюванням?
2. Що таке метод безпосереднього оцінювання і метод порівняння з мірою?
3. Що таке комплексний і диференційований методи вимірювання?
4. Що таке похибка вимірювання, і які складові впливають на її величину?
5. Що таке перевірка засобів вимірювання?
6. Назвіть суб'єктивні похибки виконувача вимірювання.

Лекція №8 Засоби лінійних вимірювань

- 1. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини. Перевірка плоских поверхонь. Калібри гладкі та шаблони**
- 2. Штангенінструменти**
- 3. Мікрометричні інструменти**
- 4. Важільно-механічні прилади**
- 5. Оптико-механічні і пневматичні пристрої**

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини. Перевірка плоских поверхонь. Калібри гладкі та шаблони

Скорочено називаються плитками, являють собою сталі прямокутники, у яких дві сторони мають сталий розмір, а по висоті — різні. Кінцевими мірами плитки називаються тому, що точний розмір у них утворюється по кінцях прямокутника.

Робочим розміром окремої плитки є «середина довжина», яка визначається довжиною перпендикуляра, спущеного з середини однієї з вимірювальних поверхонь плитки на протилежну поверхню.

Найпоширенішими в машинобудуванні є плоскопаралельні кінцеві міри довжини (КМД). Особливість КМД полягає в тому, що їх вимірювальні поверхні мають добру площинність, паралельні між собою і мають надто малу шорсткість.

Плоскопаралельні кінцеві міри поділяються за точністю виготовлення, тобто за величиною допуску на виготовлення, на чотири класи (0; 1; 2 і 3), а за точністю атестації робочих розмірів, тобто за точністю, з якою виміряно розмір самої плитки, на п'ять розрядів (1; 2; 3; 4 і 5). Плиткам, у яких найточніше атестовано розміри, присвоюється перший розряд, а плитки 5-го розряду мають грубішу атестацію розміру. Так, значення 100 мм плитки першого розряду з номінальним розміром 100 мм визначено (атестовано) з точністю $\pm 0,1$ мкм, а той же розмір 100 мм плитки 5-го розряду — з точністю ± 2 мкм.

За допомогою плиток перевіряють і настроюють різні вимірювальні засоби, наприклад при відносних методах вимірювань. Плитки мають різні розміри і комплектуються в набори з 10, 42 і 87 штук.



Рис. 8.1. Набір із 87 кінцевих мір

За допомогою плиток можна скласти набір різних розмірів, для чого кілька плиток притирають одну до одної і складають у блоки з двох, трьох, але не більше чотирьох плиток. Набір притертих плиток не розсипається, бо їх поверхні дуже старанно оброблено і вони зчіплюються між собою, коли одну плитку насувати на іншу. Сили зчеплення двох плиток досягають значної величини, і роз'єднати їх можна тільки зсуваючи одну плитку по другій.

Застосування плоскопаралельних кінцевих мір довжини (КМД):

1. Перевірка точності засобів вимірювання довжин. У цьому випадку перевірюваним пристроєм ніби вимірюють кінцеву міру. Відлічивши показання перевірюваного засобу вимірювання, перевірник порівнює його з довжиною міри за її атестатом і підраховує різницю між ними, яка є похибкою перевірюваного засобу вимірювання. Для такої перевірки застосовують так звані зразкові КМД.

2. Установка засобів вимірювання довжин на розмір і на «0». У цьому випадку застосовують кінцеву міру або блок із мір як вихідний розмір, тобто вимірювання виконують методом порівняння з мірою. Номінальний розмір міри або блока беруть якомога ближчим до номінального розміру вимірюваної деталі. Для такого призначення застосовують так звані робочі КМД.

3. Вимірювання лінійних розмірів деталей машин безпосередньо кінцевими мірами довжини з приладдям.

Калібри гладкі і шаблони. Одномірний інструмент без шкал, застосування якого підвищує продуктивність праці. Калібри і шаблони особливо широко застосовують у масовому і серійному виробництві для контролю розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь.

Найпоширенішим є спосіб контролю розмірів гладкими калібрами, які часто називають граничними.

Калібри-скоби для контролю валів (ГОСТ 2216—68, 18355—73). Прохідна сторона (ПР) має розмір, який дорівнює найбільшому граничному розміру вала, а непрохідна (НЕ) — найменшому граничному розміру вала (рис. 5.4—5.7).

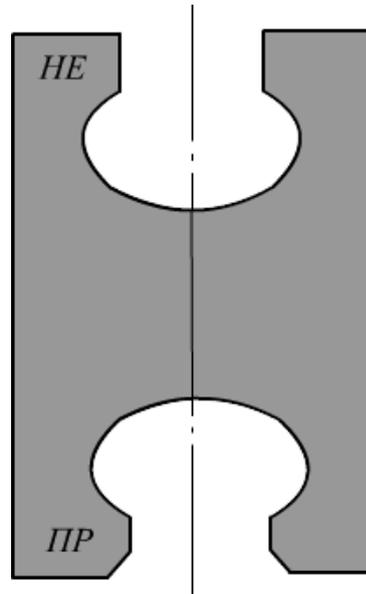


Рис. 8.2. Скоба листова двостороння від 1 до 50 мм



Рис. 8.3. Скоба листова одностороння від 1 до 180 мм



Рис. 8.4. Скоба штампована двостороння від 3 до 100 мм

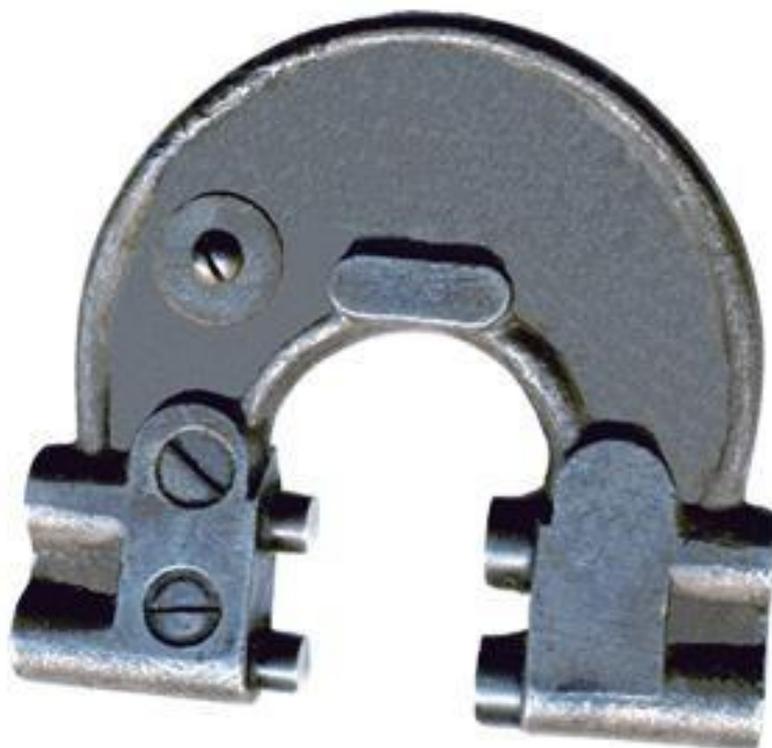


Рис. 8.5. Скоба регульована від 0 до 330 мм

Застосування калібрів-скоб. Прохідна сторона калібрів (ПР) для валів має проходити в перевірявану поверхню контрольованого розміру, а непрохідна (НЕ) не повинна в неї проходити.

Вимірювальні поверхні калібрів мають бути дещо змазаними.

Застосування занадто великих зусиль при вимірюванні призводить до неправильних показань і завчасному зношуванню вимірювальних поверхонь інструменту.

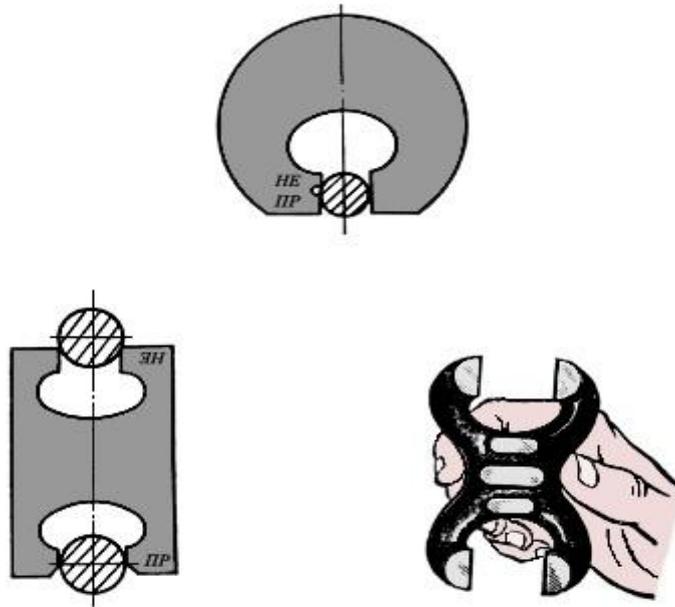


Рис. 8.6. Застосування калібрів-скоб

Калібри-пробки для контролю отворів. Прохідна сторона (ПР) пробки має розмір, який дорівнює найменшому граничному розміру отвору, а непрохідна сторона (НЕ) — найбільшому граничному розміру отвору.



Рис. 8.7. Калібри-пробки

Застосування пробок. Прохідна сторона пробки (ПР) має проходити в перевірюваний отвір, а непрохідна сторона (НЕ) не повинна проходити.



Рис. 8.9. Застосування пробок

Шаблони для контролю довжин і висот. Контроль довжин і висот граничними шаблонами здійснюється так само, як і скобами і пробками, тобто пересуванням їх вимірювальних поверхонь відносно перевірюваних поверхонь деталей (виробів).

Штангенінструменти

До групи штангенінструментів належать розсувні вимірювальні інструменти, які мають штангу, рухомих рамку з ноніусом.

Усі ці інструменти мають дві шкали: одну нанесено на штанзі з інтервалом поділок у 1 мм, другу — на пластинці ноніуса з інтервалами, які відповідають установленій для даного інструмента точності відліку (рис. 8.10)

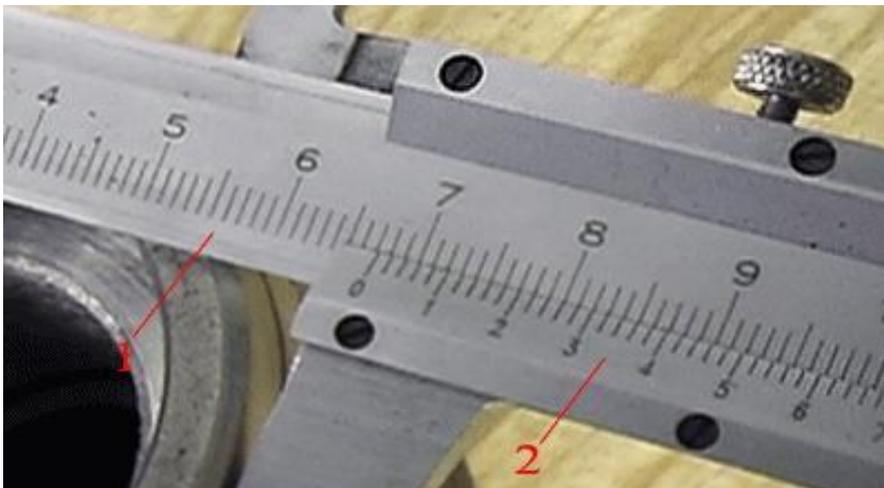


Рис. 8.10. Шкали штангенциркуля: 1 — штанга (інтервал поділки 1 мм); 2 — ноніус (інтервал поділки 0,02 мм)

Будова штангенінструментів визначається їх призначенням: вимірювання зовнішніх і внутрішніх діаметрів, довжин, товщин, висот, глибин, площин або просторової розмітки тощо. Відповідно до призначення інструментальною промисловістю випускаються штангенциркулі, штангенрейсмуси, штангенглибиноміри.

Штангенциркулі. Штангенциркулі випускаються таких типів: ШЦ-I, ШЦ-1Ц, ШЦ-1, ШЦ-II і ШЦ-III. Кожен із них має спільні основні частини і свої особливості.

ШЦ-I з двостороннім розташуванням губок, для зовнішніх і внутрішніх вимірювань і з лінійкою для вимірювань глибини (рис. 8.11). Величина відліку по ноніусу — 0,1 мм, границя вимірювань — від 0 до 125 мм.

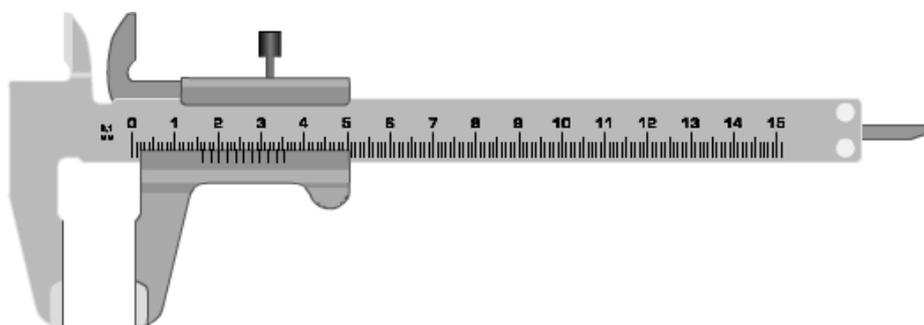


Рис. 8.11. Штангенциркуль ШЦ-I

ШЦ-1Ц — для відліку, замість ноніуса служить відлікова головка, а на ребрі штанги закріплено рейку, тому показання читаються за положенням стрілки на круглій шкалі, що є простіше, швидше і менш утомно для виконувача (рис. 8.12).



Рис. 8.12. Штангенциркуль ШЦ-1Ц



Рис. 8.13. Відлікова головка штангенциркуля ШЦ-1Ц

ШЦТ-I — відсутні губки для внутрішніх вимірювань, а вимірювальні поверхні губок для зовнішніх вимірювань мають пластини із твердих сплавів для підвищення зносостійкості.

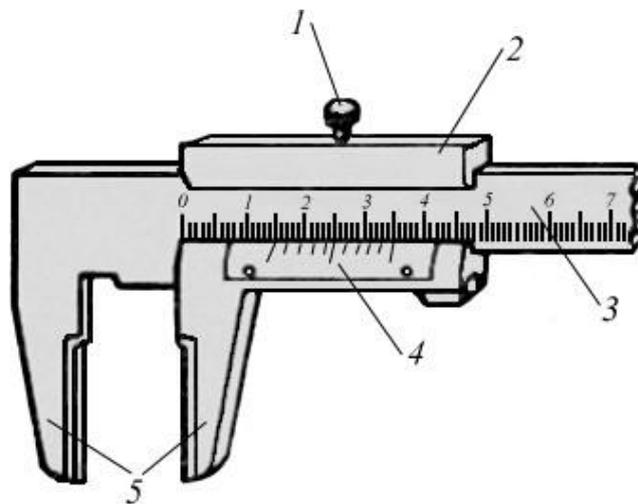


Рис. 8.14. Штангенциркуль ШЦТ-I:

1 — затиск рамки; 2 — рамка; 3 — штанга; 4 — ноніус; 5 — вимірювальні губки

ШЦ-II — відрізняється від попередніх конструкцій тим, що у нього відсутня лінійка глибиноміра. ШЦ-II із двостороннім розташуванням губок: нижні губки — для зовнішніх і внутрішніх вимірювань, верхні губки — для розмічувальних робіт на площині (рис. 5.17). Границя вимірювань 0—200 мм, 0—250 мм і 0—320 мм, величина відліку по ноніусу 0,05 мм. Штангенциркулі типу ШЦ-II є найпоширенішими в інструментальному виробництві.

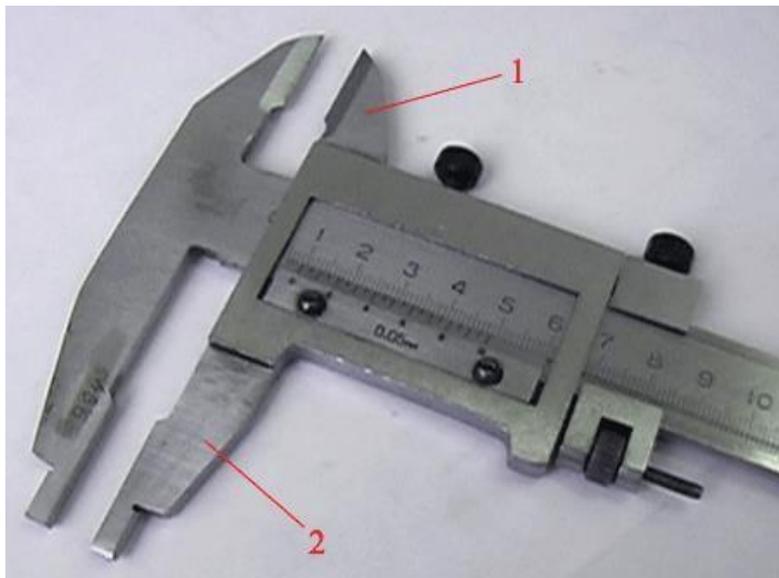
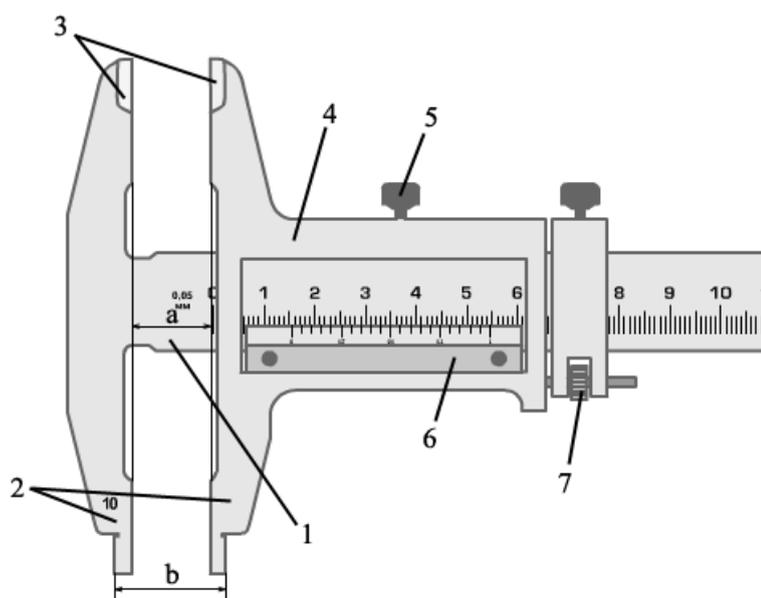


Рис. 8.15. Штангенциркуль ШЦ-II:
1 — верхні губки для розмічувальних робіт на площині; 2



— нижні губки для зовнішніх і внутрішніх вимірювань

Рис. 8.16. Штангенциркуль ШЦ-II:
1 — штанга; 2 — вимірювальні губки; 3 — розмічувальні губки; 4 — рамка; 5 — затискрамки; 6 — ноніус; 7 — мікрометрична подача

Основними його частинами є штанга 1, вимірювальні губки 2, розмічувальні губки 3, рамка 4, затиск рамки 5, ноніус 6 і мікрометрична подача 7 для плавного підведення губок до поверхні вимірюваної деталі. Вимірювальні губки мають циліндричну зовнішню поверхню, призначену для

вимірювання отворів і відстаней між стінками деталей. Радіус цих поверхонь не перевищує половини сумарної товщини губок. Розмір b зсунутих губок зазвичай має 10 мм і маркується на бічній поверхні. У всіх внутрішніх вимірюваннях до показань за шкалою штанги додають цей розмір (рис. 8.17). Для зовнішніх вимірювань використовуються внутрішні вимірювальні поверхні губок 2 і 3; відстань a між губками є визначуваним розміром деталі.



Рис. 8.17. Маркування губок штангенциркуля ШЦ-ІІ — 10 мм

ШЦ-ІІІ — відрізняється від ШЦ-ІІ тим, що має тільки губки для зовнішніх і внутрішніх вимірювань 1 (рис. 5.20). Границя вимірювань 0—500 мм, 800—2000 мм, відліки по ноніусу 0,05 мм, 0,01 мм.

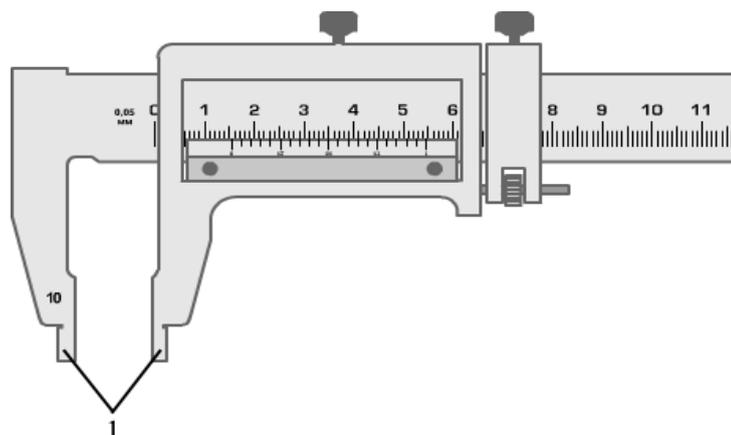


Рис. 8.18. Штангенциркуль ШЦ-ІІІ:1 — губки для зовнішніх і внутрішніх вимірювань

Для лінійних вимірювань застосовують також штангенциркулі з

електронним цифровим відліком (рис. 5.21).



Рис. 8.19. Штангенциркуль з електронним цифровим відліком

Техніка вимірювань штангенциркулем. Приступаючи до вимірювання штангенциркулем, необхідно його перевірити. Вимірювальні поверхні губок мають бути рівними, без забоїв і викривлень. У зімкнутому положенні між ними не має бути видимого зазору; в цьому положенні нульовий штрих лінійки штанги і нульовий штрих ноніуса мають точно збігатися (рис. 8.20). Рамка має довільно пересуватися штангою без качання і заїдання. У разі закріплення рамки гвинтом вона не має зсуватися, в іншому випадку штангенциркуль не придатний для вимірювань (рис. 8.21).

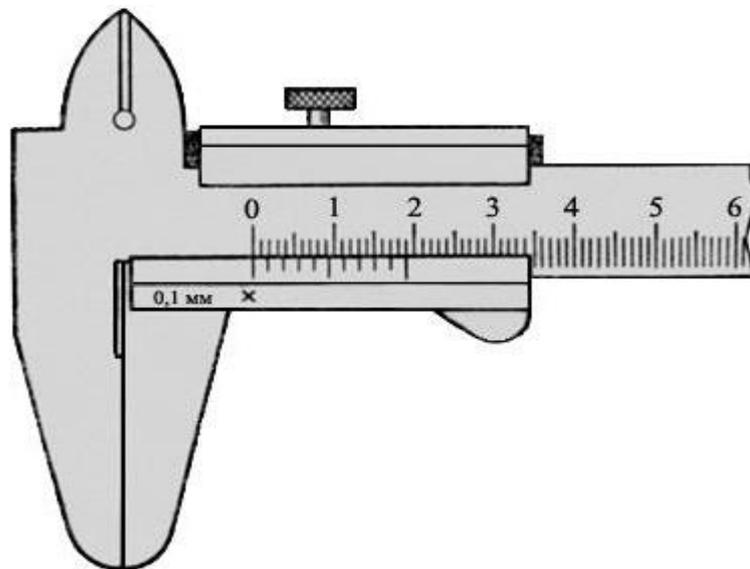


Рис. 8.20. Перевірка нульового положення штангенциркуля

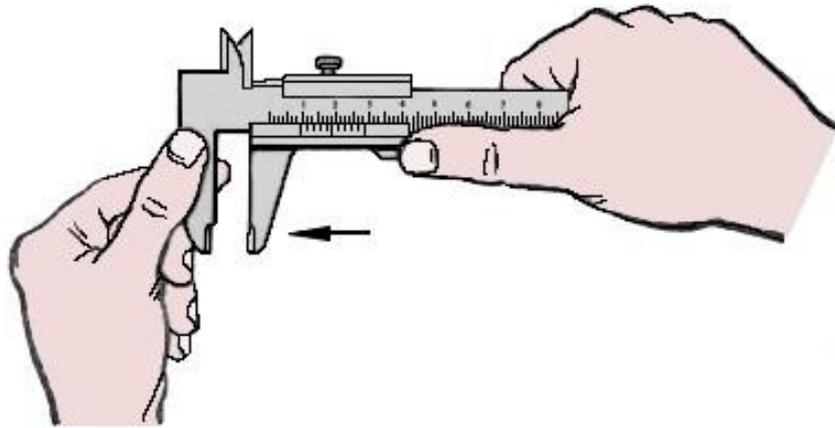


Рис. 8.21. Пересування рамки штангенциркуля

Отримання правильних результатів вимірювань залежить від установки інструмента на виробі.

Вимірюючи деталь, потрібно стежити, щоб губки штангенциркуля і деталь розташовувалися без перекосу, в іншому випадку результат вимірювання завжди перевищуватиме дійсний розмір (рис. 8.22). Вимірюючи отвір, необхідно установити губки точно за найбільшим розміром — діаметром отвору. При установці губок по хорді, або з нахилом до осі отвору, отриманий розмір буде завжди менше фактичного (рис. 8.23).

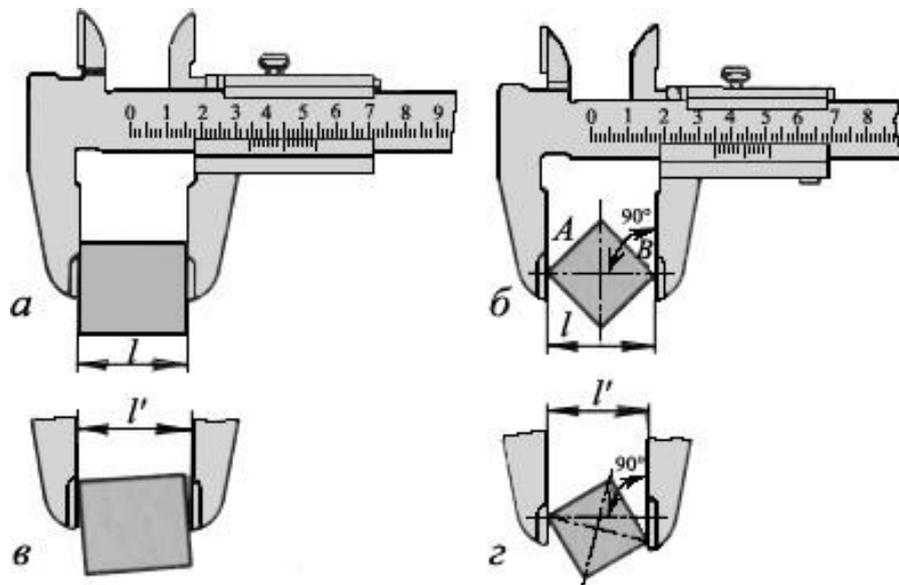


Рис. 8.22 Прийоми вимірювання штангенциркулем: а, б — правильні; в, г — неправильні

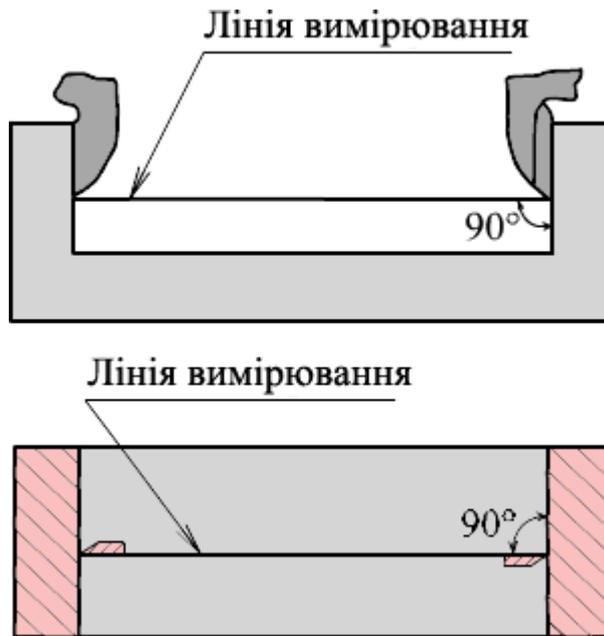


Рис. 8.23 Положення губок внутрішніх паралельних поверхонь

Не можна сильно притискати губки до поверхні виробу, оскільки при тугій їх ході результати вимірювань можуть бути більше фактичних розмірів (вимірювання отворів) або менше (вимірювання зовнішніх циліндричних поверхонь).

При дотриманні цих простих правил і дбайливому поводженні з інструментом похибки при вимірюваннях можуть бути зведені до мінімуму і залежати тільки від похибок самого інструмента.

Штангенглибиноміри. Штангенглибиноміри призначені для вимірювання висот і глибин. Їх застосовують для контролю глибин глухих отворів, уступів, пазів, канавок (рис. 8.24).



Рис. 8.24. Штангенглибиномір

Основою штангенглибиноміра (рис. 8.25) є рамка 4, яка має внизу опору 6 з вимірювальною поверхнею. Крізь рамку проходить штанга зі

шкалою 1 і вимірювальною поверхнею на торці. Штанга 1 розташована і пересувається перпендикулярно вимірювальній поверхні опори 6, ноніус 5 нанесено на окремій пластині і закріплено в рамці 4 паралельно шкалі штанги. Мікрометрична подача 2 рамки (3 — затиск) на штангенглибиномірі така сама, як і на штангенциркулі ШЦ-П.

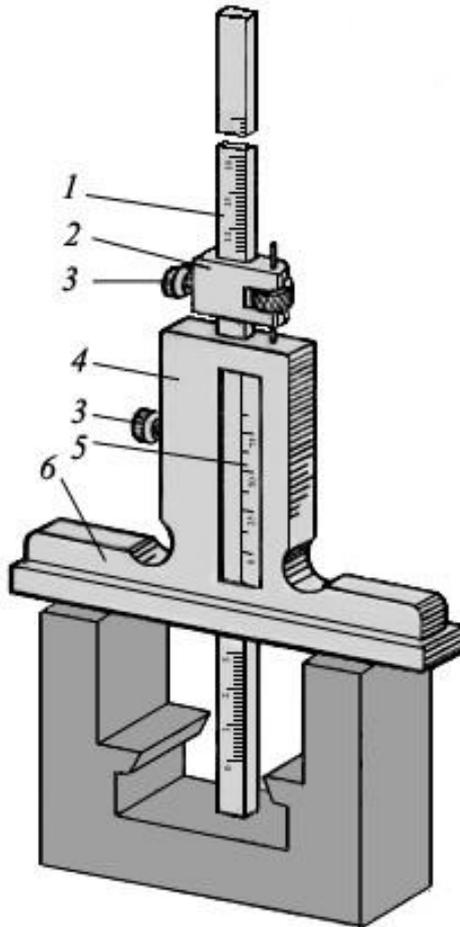


Рис. 8.25. Штангенглибиномір:

1 — штанга; 2 — мікроподача; 3 — затиск; 4 — рамка; 5 — ноніус;
6 — опора

Штангенглибиноміри виготовляють з границею вимірювань 0—60 мм, 0—250 мм, 0—400 мм і величиною відліку по ноніусу 0,05 мм.

При вимірюванні штангенглибиноміром його основу ставлять на гладку поверхню деталі, від якої ведуть відлік розміру, а штангу пересувають до упору в поверхню, до якої вимірюють відстань (рис. 5.28). Перед вимірюванням інструмент необхідно перевірити: при суміщенні торця штанги з площиною основи нульові штрихи штанги і ноніуса мають збігатися.



Рис. 8.26. Вимірювання глибини деталі штангенглибиноміром
Штангенрейсмуси призначаються для вимірювання висоти деталей, установлених на перевірній плиті і для виконання точної просторової розмітки. До комплекту штангенрейсмуса входять ніжки для вимірювання висотних розмірів і ніжки для виконання розмічувальних робіт.

Опорною деталлю штангенрейсмуса (рис. 8.27) є основа 6, у якій закріплена штанга 1 зі шкалою, розташована перпендикулярно опорній площині основи. Штангою пересувається рамка 4 з виступом для кріплення ніжок, а в ній паралельно шкалі штанги розташований ноніус 5, нанесений на окремій пластинці. Мікроподачу 2 рамки (3 — затиск) тут застосовано таку саму, як і на штангенциркулі ШЦ-II і штангенглибиномірі. На виступі рамки за допомогою державки 7 закріплюються ніжки: вимірювальна 8 і розмічувальна 9. Шкали штанги і ноніуса штангенрейсмусів виконують такі самі, як і на штангенциркулях і штангенглибиномірах.

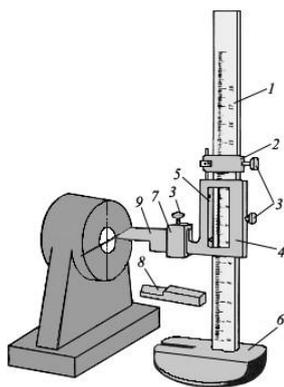


Рис. 8.27. Штангенрейсмус:

1 — штанга; 2 — мікроподача; 3 — затиск; 4 — рамка; 5 — ноніус;
 6 — основа; 7 — державка; 8 — вимірювальна ніжка; 9 — розмічувальна ніжка

Інструментальна промисловість випускає штангенрейсмуси з границями вимірювань 0—250 мм, 40—400 мм і більше до 1500—2500 мм з величиною відліку по ноніусу 0,05 і 0,1 мм. Виліт ніжок штангенрейсмусів відповідний довжині штанги 50, 80, 125 і 160 мм.

Мікрометричні інструменти

Визначення лінійних розмірів з вищою точністю, ніж штангенінструментом, здійснюється мікрометричним інструментом. Як і масштабні міри, мікрометричний інструмент призначений для вимірювання зовнішніх і внутрішніх діаметрів, висот і глибин деталей. Так само, як і штангенінструмент, мікрометр дозволяє визначити розмір безпосередньо відліком по шкалі, однак різниться від нього своєю конструкцією.



Рис. 8.28. Мікрометр гладкий



Рис. 8.29. Мікрометричний глибиномір

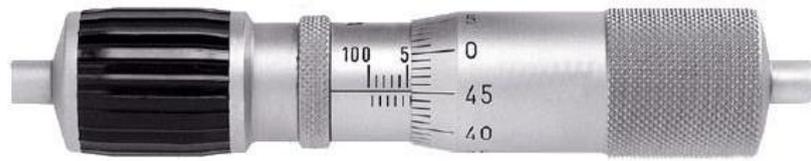


Рис. 8.30. Мікрометричний нутромір

Будова мікрометричних інструментів заснована на застосуванні гвинтової пари, яка перетворює обертальний рух мікрометричного гвинта в його поступальний рух. Мікрометричний гвинт має довжину різі 25 мм. Цим розміром обмежують інтервали вимірювання всіх мікрометричних інструментів, оскільки подовження різьби гвинта призводить до втрати його точності.

У гвинтовій парі поздовжнє пересування гвинта прямо пропорційне кроку різьби й куту повороту гвинта (рис. 8.31).

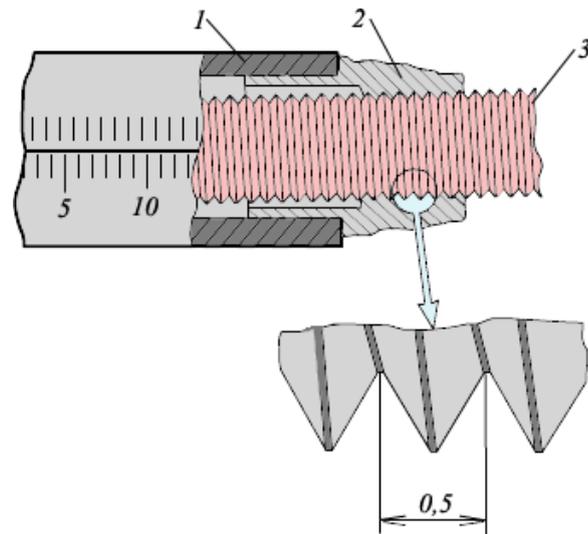


Рис. 8.31. Гвинтова пара:

1 — стебло; 2 — нарізна втулка; 3 — мікрогвинт

Правила і прийоми вимірювань мікрометром. Перед початком вимірювань мікрометром перевіряється його установка на нуль. Для цього прокручують мікрометр до змикання поверхонь п'ятки і мікрогвинта до вільного прокручування тріскачки. При цьому нульовий штрих барабана має точно збігатися з поздовжнім штрихом стебла, що указує на правильність установки мікрометра. Якщо точного збігу немає, то виконують установку мікрометра на нуль. Закріпивши мікрометричний гвинт стопором, натиском повертають на півоберту ковпачок, таким чином від'єднуючи барабан від мікрогвинта.

Далі поворотом барабан суміщають нульовий штрих кругової шкали з поздовжнім штрихом стебла, після чого знов закріплюють барабанчик встановлювальним ковпачком.

Вимірювану деталь поміщають між вимірювальними поверхнями п'ятки і мікрогвинта. Мікрогвинт обертають за тріскачку доти, доки тріскачка не почне прокручуватися вхолосту. Після цього здійснюють відлік розміру, як це показано вище (рис. 8.32).

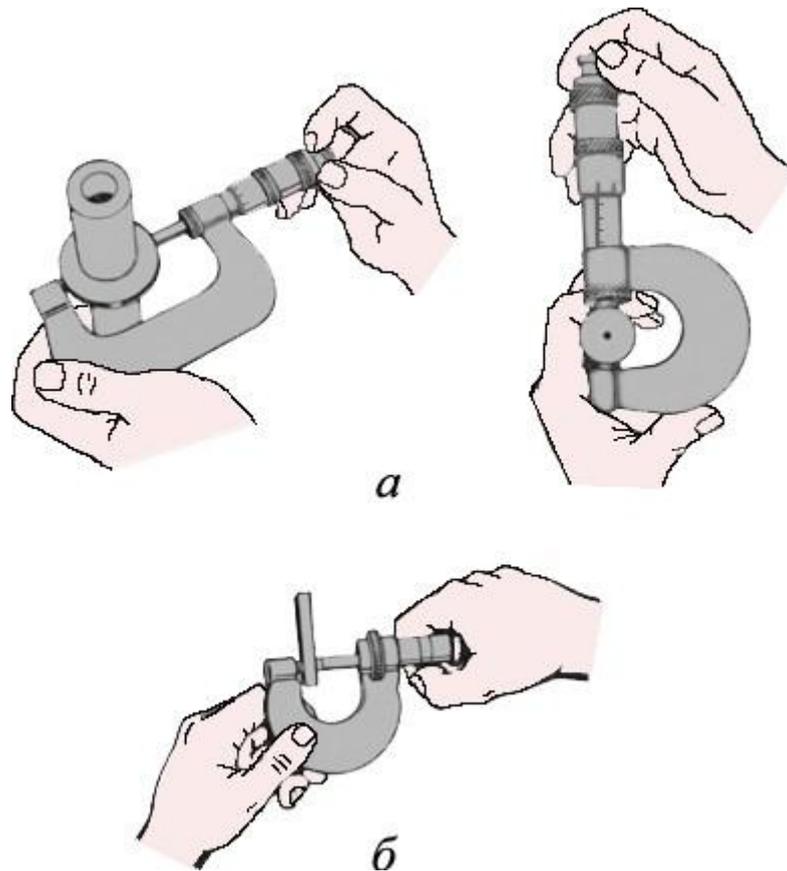


Рис. 8.32. Прийоми вимірювання гладким мікрометром: а — правильні; б — неправильні

При вимірюваннях партії деталей невеликих розмірів користуються спеціальними підставками, в яких закріплюється скоба мікрометра.

Для спеціальних цілей в конструкції мікрометра вводять різні зміни. Так, для вимірювання товщин стінок труб застосовують мікрометр із п'яткою, яка має сферичну вимірювальну поверхню. У мікрометрах для вимірювання товщин листових матеріалів обидві вимірювальні поверхні зроблені сферичними, для того щоб зменшити помилки вимірювань, пов'язані з неплоскостістю листового матеріалу і можливою неправильною установкою мікрометра. Крім того, скоба мікрометра має більш значний виліт — до 200 мм.

Важільно-механічні прилади

Важільно-механічні пристрої перетворюють малі відхилення розмірів у зручні для відліку пересування стрілки по шкалі. Як правило, вони призначені для вимірювання розмірів виробів відносним методом. Якщо розміри виробів менше діапазону показань пристрою, то вимірювання можуть бути виконані абсолютним методом. До основних типів механічних передач, використовуваних у пристроях, належать важільні, зубчасті, важільно-зубчасті, пружинні і важільно-пружинні механічні передачі.

Важільно-механічні пристрої можна поділити на три основні групи:

Вимірювальні головки — знімні відлікові пристрої, призначені для оснащення контрольно-вимірювальних пристроїв.

Пристрої із вбудованими відліковими пристроями — важільні скоби, важільні мікрометри тощо.

Пристрої із знімними відліковими пристроями — індикаторні скоби, нутроміри і глибиноміри тощо (рис. 8.33).



Рис. 8.33. Вимірювальний пристрій зі знімним відліковим приладом

Вимірювальні головки застосовують для вимірювання розмірів, а також відхилень виробів від заданої геометричної форми — овальності, биття, ограновування, прямолінійності тощо. Вимірювальні головки встановлюють на стояках або штативах, які показані на рис. 8.34.



Рис. 8.34. Стояки і штативи для вимірювальних головок

Для вимірювання лінійних розмірів серед оптико-механічних пристроїв найпоширенішими є оптиметри. Так називають пристрої, в конструкції яких перетворювальний пристрій заснований на застосуванні оптичних і механічних елементів.

Вертикальний оптиметр (рис. 8.35). Пристрій нагадує стояк із вимірювальною головкою, наприклад з мікрокатором. Практично вертикальний оптиметр слід вважати засобом вимірювання, який складається зі стояка й оптико-механічної відлікової вимірювальної головки, її зазвичай називають трубкою оптиметра.

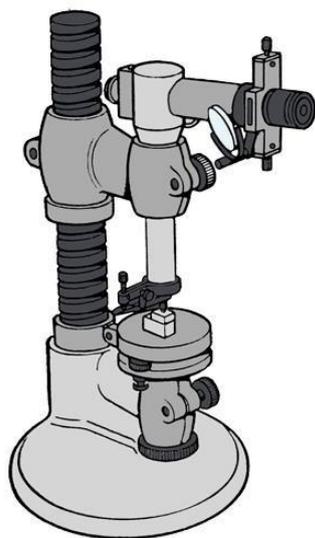


Рис. 8.36. Вертикальний оптиметр

Контрольні запитання і завдання

1. Що таке плоскопаралельні кінцеві міри? Опишіть їх будову і показники.
2. Назвіть основні параметри плоскопаралельних кінцевих мір довжини.
3. Що таке клас точності і розряд кінцевих мір довжини?
4. Що таке калібри? Які калібри називають граничними?
5. Які спільні вузли мають штангенінструменти?
6. Які засоби вимірювання належать до штангенінструментів?
7. Опишіть основні частини штангенглибиноміра.
8. Що являє собою штангенрейсмус і для чого його використовують?
9. Що таке мікрометричні інструменти?
10. З яких частин складається мікрометрична пара?
11. У чому особливість побудови мікрометричного глибиноміра?
12. Опишіть основні частини мікрометричного нутроміра і його застосування.
13. Якою є ціна поділки шкали мікрометра?
14. Які типи передач використовуються у важільно-механічних пристроях?
15. Що називають вимірювальними головками?
16. Що таке оптиметр?
17. Де застосовують оптиметри?
- 18.

Лекція №9 Допуски кутів і конусів. Інструментальні конуси

1. **Нормальні кути загального призначення**
2. **Нормальні конусності**
3. **Основні параметри гладких конічних з'єднань**
4. **Допуски конусів**

Нормальні кути загального призначення

Різні кути вимірюються кутовими розмірами, які зазначаються у градусах ($^{\circ}$), хвилинах ($'$) і секундах ($''$). Для того щоб обмежити кількість застосовуваних кутових розмірів, стандарт установлює значення рекомендованих, так званих *нормальних кутів*, які мають застосовуватися при призначенні незалежних кутових розмірів.

Як одиниця вимірювання кута в радіальній системі прийнятий радіан — кут між двома радіусами одного кола, що вирізають з нього дугу, довжина якої дорівнює довжині радіуса.

Часткою радіана (рад.) є мікрорадіан (мкрад), тобто одна мільйонна

частина радіана. $1^\circ = 0,017453$ рад.

У практичній діяльності застосовують поки що лише градусну систему (хоча для розрахунків зручнішою є радіанна), оскільки ще не випускаються засоби вимірювання зі шкалами, розділеними в радіанах.

Відхилення кута $\Delta\alpha$ часто оцінюють зміною відстані Δh між сторонами кута, виміряної в лінійних величинах (наприклад, у міліметрах на 1 м): $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ і $\Delta h = h_2 - h_1$, таким чином, Δh є відхиленням кута, оцінене в міліметрах на довжині L .

Допуском кута AT називається різниця між найбільшим α_2 і найменшим α_1 граничними розмірами кута. Позначення AT прийнято за CT СЕВ.

Розрізняють три розташування поля допуску AT відносно номінального розміру кута: зсунуте в $\pm \frac{AT}{2}$

$+AT$, зсунуте в $-AT$ і симетрично розташоване .

Величина допуску кута AT призначається залежно від довжини L меншої зі сторін, які утворюють кут, а номінальна величина кута при призначенні допуску не береться до уваги.

У таблицях ГОСТ 8903—81 і на кресленнях числова величина допуску кута виражається різними позначеннями:

$AT\alpha$ — допуск кута, заданий у радіанах або градусах, точно переведених із числа $\frac{AT}{L}$ рад;

— допуск кута, заданий у градусах, число яких округлено після перерахунку з радіан;

ATh — допуск кута, заданий довжиною відрізка (катета), перпендикулярного меншій стороні кута; ATD — допуск кута конуса, заданий лінійною величиною. Цей допуск призначається як допуск на різницю діаметрів конуса на заданій відстані L .

Числові величини допусків кутів передбачені ГОСТ 8908—81 у всіх цих виразах і поділені на 17 ступенів точності, позначуваних у порядку спадання точності $AT1, AT2, AT3 \dots AT17$.

Нормальні конусності

За ГОСТ 8593—81 для машинобудування прийняті як нормальні конусності 1:200; 1:100; 1:50; 1:30;

1:20; 1:15; 1:12; 1:10 тощо до 1:0,289.

Окрім них наведено кути і конусності спеціального призначення, у тому

числі значно поширені конуси інструментів Морзе з конусністю, близькою до 1 : 20, і розмірами, визначеними номерами від 0 до 6.

У сучасних верстатах із ЧПК застосовують конуси з конусністю 7:24, які дають точне центрування і легкий поділ сполучених деталей.

Допуски кутів конусів поділяють на дві групи:

- допуски кутів конусів із конусністю менше 1:3 задаються в міліметрах, позначаються АТD і вибираються залежно від довжини твірної конуса L;
- допуски кутів конусів із конусністю більше 1:3 задаються в міліметрах, позначаються АТh і вибираються залежно від довжини меншої сторони кута конуса.

Основні параметри гладких конічних з'єднань

Гладкі конічні з'єднання отримують сполученням двох деталей — зовнішнього конуса (вала) із внутрішнім конусом (отвором). Деталь з конічною поверхнею є складною деталлю з декількома важливими параметрами, які виконують певну роль при сполученні деталей гладкого конічного з'єднання (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Калібри із зовнішнім і внутрішнім конусом Основними параметрами конуса за ГОСТ 25548—82 є (рис. 9.2):

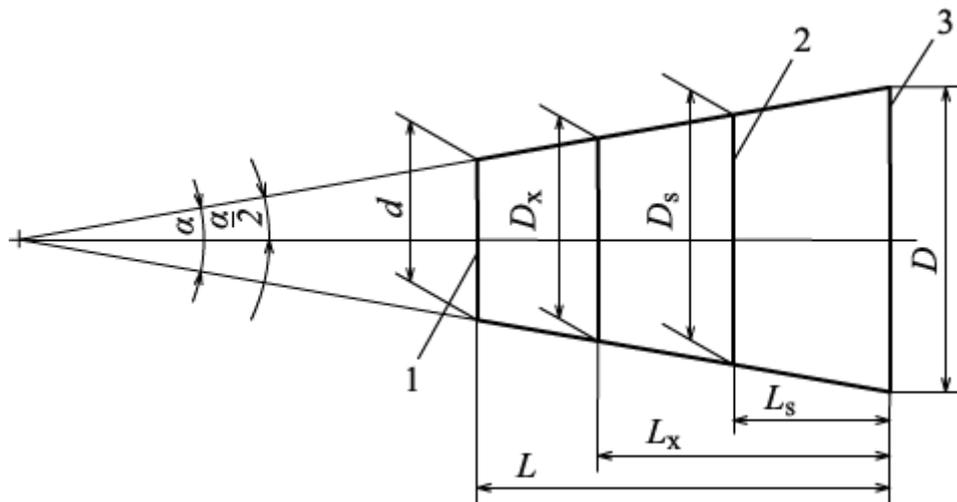


Рис. 9.2. Параметри конуса: 1 — реальна поверхня

основа конуса — коло, створене перетином конічної поверхні з площиною, перпендикулярною осі конуса і яка обмежує його в осьовому напрямку.

Розрізняють велику основу конуса (з великим діаметром) і малу основу конуса (з меншим діаметром);

базова площина конуса — площина, яка перпендикулярна осі конуса і служить для визначення осьового положення основи конуса;

базова відстань конуса — відстань між основною і базовою площинами конуса;

діаметри конуса: діаметр D великої основи конуса і діаметр d малої основи конуса, зовнішній конус має DB і dB , а внутрішній DA і dA ;

діаметри конусів задаються в міліметрах;

кут конуса α (кут між твірними конуса або кут при вершині) і кут нахилу $\alpha/2$ (кут між твірною і віссю конуса); кути задаються в градусах;

довжина конуса L — відстань між основами конуса, в яких розташовані діаметри D і d даного конуса; довжина конуса задається в міліметрах;

конусність C — відношення різниці діаметрів конуса до довжини конуса (9.1)

$$C = \frac{(D - d)}{L}.$$

Конусність задається у вигляді відношення 1:L, наприклад, $C = 1:10$, означає, що на довжині конуса $L = 10$ мм різниця діаметрів конуса

$D - d = 1$ мм.

Допуски конусів

Допуск TD — допуск діаметра конуса, який дорівнює сталій різниці граничних діаметрів конуса на всій його довжині (рис. 9.3). Допуск TD визначає поле допуску конуса, в межах якого мають перебувати всі

точки реальної поверхні конуса, і обмежує всі його відхилення, якщо на відхилення кута, круглості і прямолінійності твірних не встановлені окремо менші допуски.

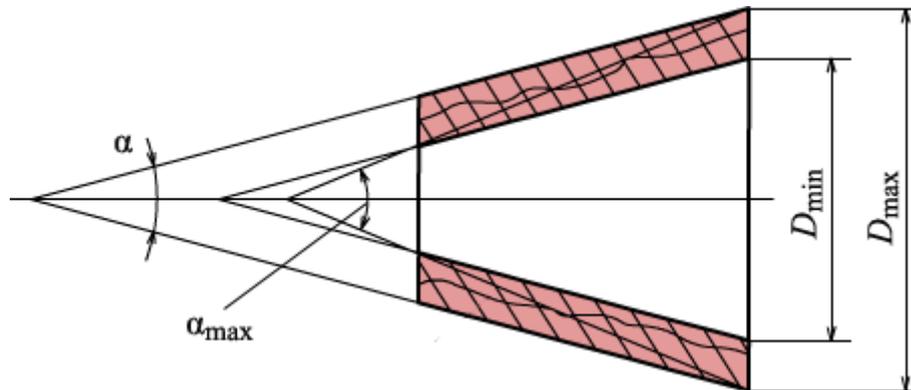


Рис. 9.3. Створення допуску діаметра конуса ГОСТ 25307-82 встановлює такі допуски для конусів: допуск T_α — діаметра конуса в будь-якому перерізі; допуск TDS — діаметра конуса в заданому перерізі; допуск кута конуса AT ; допуск форми конуса, який містить допуск круглості TFR і допуск прямолінійності твірної TFL.

Конічна посадка визначає характер конічного з'єднання, який залежить від різниці (до складання) діаметрів внутрішнього і зовнішнього конусів у їх поперечних перерізах, які суміщають після фіксації осьового положення. Конічні посадки можуть бути із зазором (рис. 9.4, а), перехідні (рис. 9.4, б) і з натягом (рис. 9.4, в). Граничні зазори і натяги в конічних посадках також поділяються на найбільші і найменші.

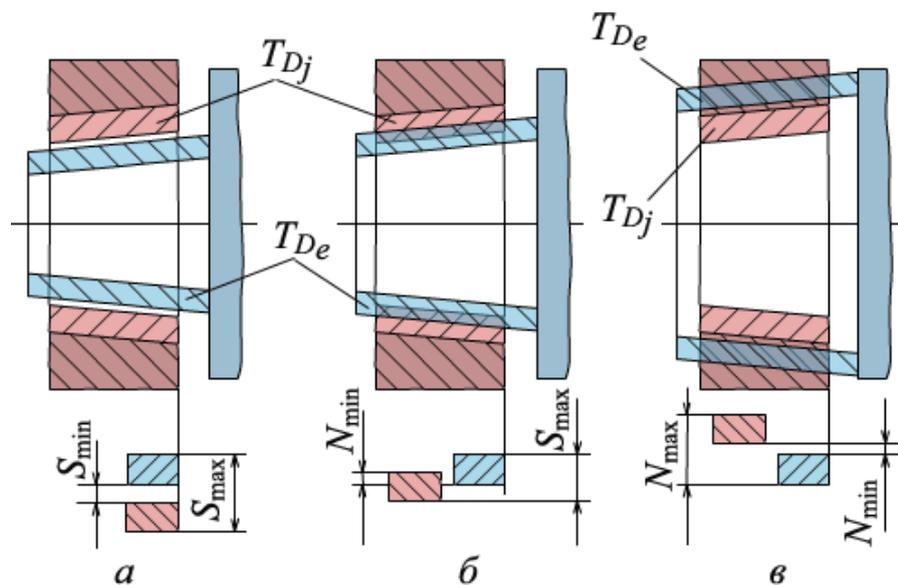


Рис. 9.4. Конічні посадки:
а — із зазором; б — перехідні; в — з натягом

За способом фіксації взаємного розташування сполучуваних конусів посадки поділяються на:

- *Посадки з фіксацією шляхом суміщення конструктивних елементів.* Тут зовнішній конус вводиться у внутрішній до упора торцями, і посадку отримують залежно від інших розмірів конічних елементів з'єднуваних деталей. Посадки можуть бути отримані таким способом із зазором, перехідні, із натягом. На складальному кресленні розміри, які визначають з'єднання, можуть бути зазначені тільки як довідкові.

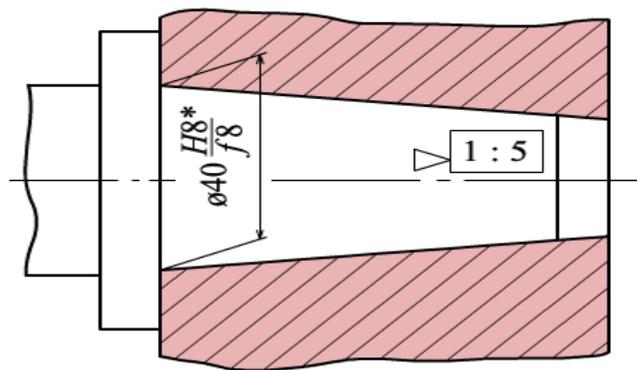


Рис. 9.5. Посадка конічного з'єднання з фіксацією при суміщенні конструктивних елементів

- *Посадки, отримані виконанням заданої відстані між базовими площинами з'єднуваних конусів.* Тут зовнішній конус вводиться у внутрішній до отримання заданої відстані між базами і фіксується в цьому положенні. Посадки отримують із зазором, перехідні, з

натягом. На складальному кресленні має бути нанесений розмір, який визначає відстань між базовими площинами, поміщений у прямокутну рамку (рис. 9.6).

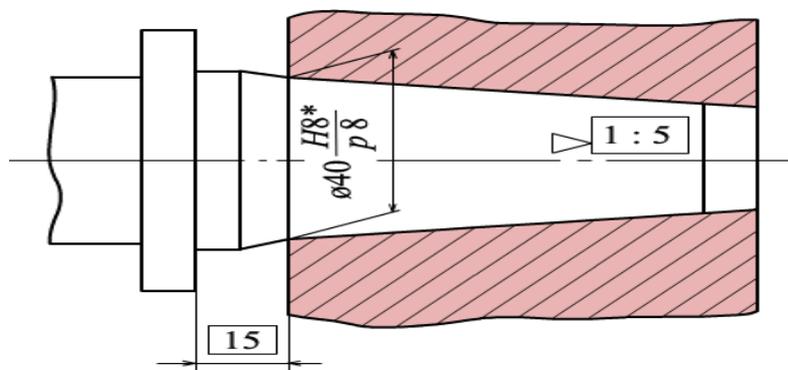


Рис. 9.6. Посадка конічного з'єднання з фіксацією заданої осьової відстані між базовими площинами

- Посадки, отримані заданим осьовим зсувом сполучуваних конусів від їх початкового положення. Тут зовнішній конус вводиться у внутрішній до дотику конічних поверхонь, а потім один із конусів зсувається на задану відстань і фіксується в новому положенні. Посадка залежить від величини і напрямку пересування. Цим способом отримують посадки із зазором і з натягом. На складальному кресленні має бути зазначений розмір осьового зсуву, а початкове положення конусів позначатися штрих-пунктирною тонкою лінією з двома точками (рис. 9.7).

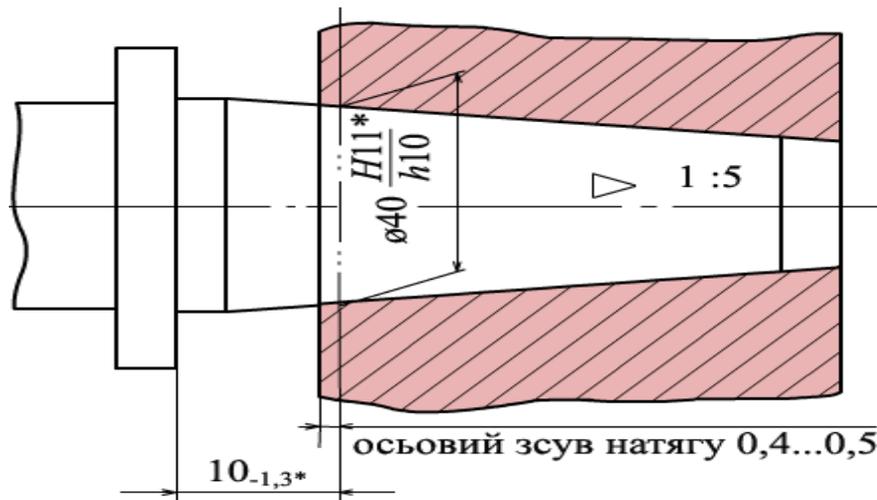


Рис. 9.7. Посадка конічного з'єднання з фіксацією заданого осьового зсуву від початкового положення

- Посадки, отримані прикладенням заданого зусилля запресування зовнішнього конуса у внутрішній, де конусні деталі з'єднуються запресуванням із вимірюванням сили опору, і цю силу доводять до заданої величини. Величина натягу в посадці залежить від величини прикладеної сили. На кресленнях задане зусилля запресування позначається в технічних вимогах, наприклад, «Зусилля запресування $F_s = \dots \text{Н}$ ».
- *Нерухомі конічні з'єднання застосовують* для передачі крутного моменту, щільні з'єднання — для газоводомаслонепроникності і для центрування, рухомі з'єднання — для постійного зазору, який регулюється за рахунок осьового пересування деталей. У міру зношування сполучуваних поверхонь зазор може відновлюватися за рахунок осьового пересування деталей з'єднання.
- *Інструментальні конуси.* Одним із поширених видів гладких конічних з'єднань у

машинобудуванні є інструментальні конуси. У них зовнішніми конусами служать конічні елементи хвостовиків оброблювальних інструментів, — свердел, розверток, зенкерів, фрез, центрів тощо, а внутрішніми конусами служать конічні елементи отворів базуючих деталей верстатів — шпинделів, оправок, пінолів задніх бабок тощо (рис. 9.8, 9.9).

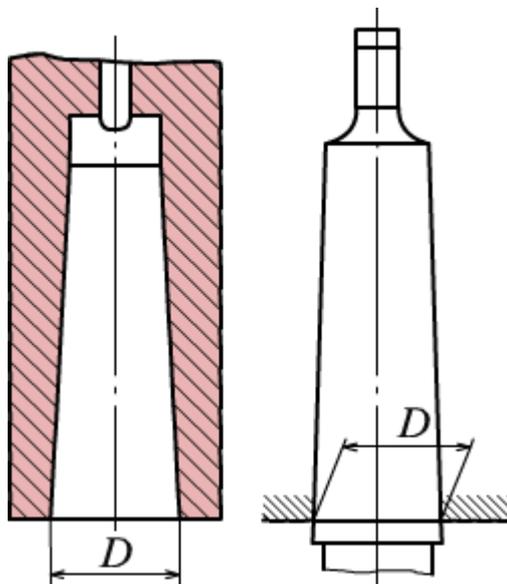


Рис. 9.8. Конуси інструментів



Рис. 9.9. Фреза з конічним хвостовиком

- *Допуски інструментальних конусів.* Для метричних конусів і конусів Морзе встановлено п'ять ступенів точності АТ4—АТ8, якими регламентовані відхилення кута, прямолінійності твірних і круглості конусів, а також основних розмірів конусів і їх лапок. Відхилення кута розташовують у плюс для зовнішніх і в мінус для внутрішніх

конусів.

Для внутрішніх конусів ступені точності АТ4 і АТ5 є перспективними. Ступінь точності зазначають в умовному позначенні конуса.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть різновиди кутів і їх позначення.
2. Що таке допуск кута і його позначення?
3. Що таке допуски кутів конусів і їх позначення?
4. Назвіть основні параметри конуса.
5. Назвіть конічні посадки за способами фіксації.
6. Які встановлені допуски для конусів?
7. Що таке інструментальні конуси і які застосовують системи цих конусів?

Лекція №10 Допуски і посадки різей

1. Загальні відомості про нарізні з'єднання
2. Позначення нарізних з'єднань на кресленнях
3. Допуски і посадки різей

Нарізним з'єднанням називається з'єднання по різі двох деталей — одна з зовнішньою, а інша з внутрішньою різзю. Різь, отримана на зовнішній циліндричній поверхні, називається зовнішньою різзю (умовно — болт), а отримана у внутрішній циліндричній поверхні — внутрішньою різзю (умовно — гайка).

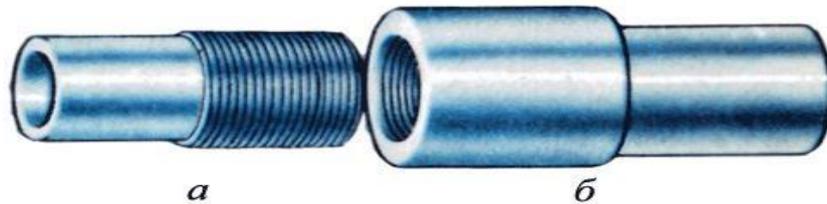


Рис. 10.1. Деталі з різзю:
а — зовнішньою; б — внутрішньою

Нарізні з'єднання значно поширені в машинобудуванні (в більшості сучасних машин понад 60 % усіх деталей мають різь). За експлуатаційним призначенням розрізняють різі загального застосування і спеціальні, призначені для з'єднання одного типу деталей певного механізму. До першої групи належать різі:

а) кріпильні (метрична, дюймова), застосовувані для рознімного з'єднання деталей машин,

основна вимога до яких — забезпечити міцність з'єднання і зберегти щільність (нерозкриття) стику в процесі тривалої експлуатації;

б) кінематичні (трапецеїдальна і прямокутна), застосовувані для ходових

гвинтів, гвинтів супортів верстата і столів вимірювальних пристроїв тощо, основна вимога до яких — забезпечити точне пересування при найменшому терті, і (упорна) для перетворення обертального руху в прямолінійний у пресах і домкратах, основна вимога до якої — забезпечити плавність обертання і високу навантажувальну здатність;

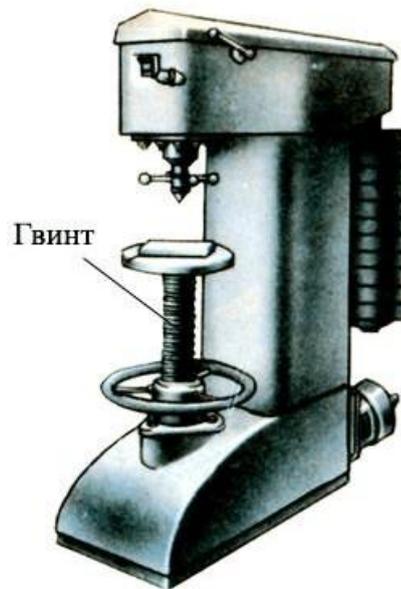
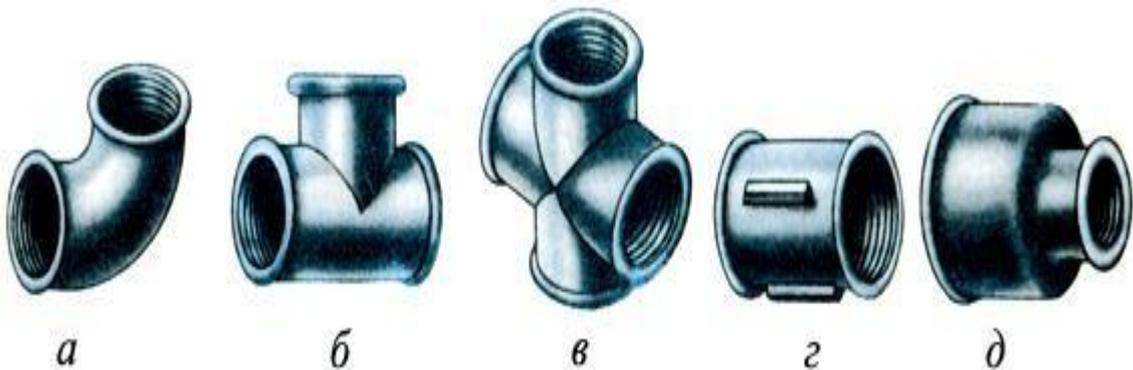


Рис. 10.2. Застосування кінематичної різі для гвинта супорта верстата

в) трубні й арматурні (трубні циліндрична і конічна, конічна метрична), застосовувані для трубопроводів і арматури різного призначення, основна вимога до яких — забезпечити герметичність з'єднань. Експлуатаційні вимоги до різей залежать від призначення нарізних з'єднань. Спільними для всіх різей є вимоги надійності, довговічності і скручуваності без підгонки незалежно виготовлених нарізних деталей при збереженні експлуатаційних властивостей



з'єднань.

Рис. 10.3. Фітинги для з'єднання труб між собою
 За профілем поперечного перерізу різі можна поділити на трикутні, трапецеїдальні, прямокутні, круглі, упорні (рис. 10.4).

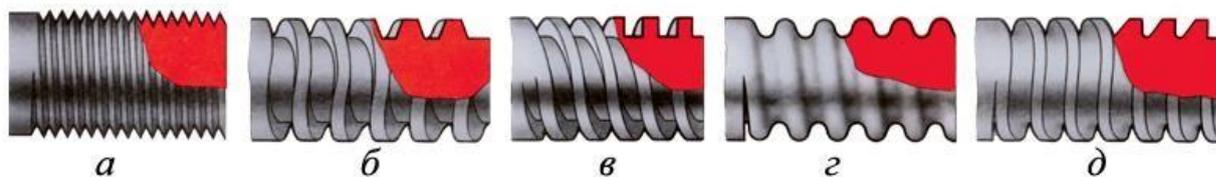


Рис. 10.4. Профілі поперечного перерізу різей:
 а — трикутна; б — трапецеїдальна; в — прямокутна; г — кругла; д — упорна

За напрямком витків різі поділяють на праві (закручують за годинниковою стрілкою) і ліві (закручують проти годинникової стрілки) (рис. 10.5).

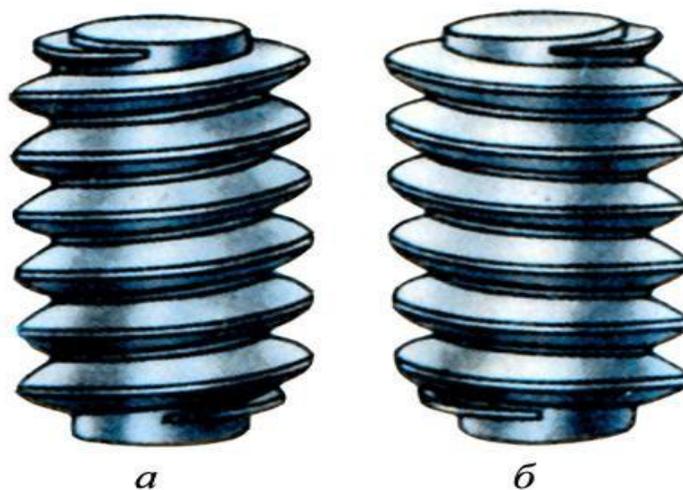


Рис. 10.5. Різі:

а — права; б — ліва

За кількістю заходів різі поділяються на однозахідні і багатозахідні (рис. 10.6).

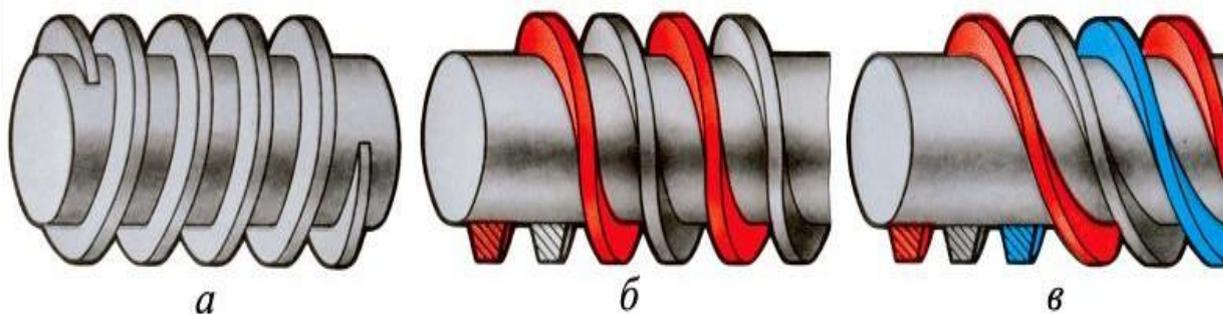


Рис. 10.6. Однозахідні і багатозахідні різі:

а — однозахідна; б — двозахідна; в — тризахідна

Для розгляду як представник нарізних з'єднань прийнята метрична різь.

ГОСТ 9150—81 поширюється на всі різновиди метричних різей і встановлює єдиний для них номінальний профіль (рис.10.7).

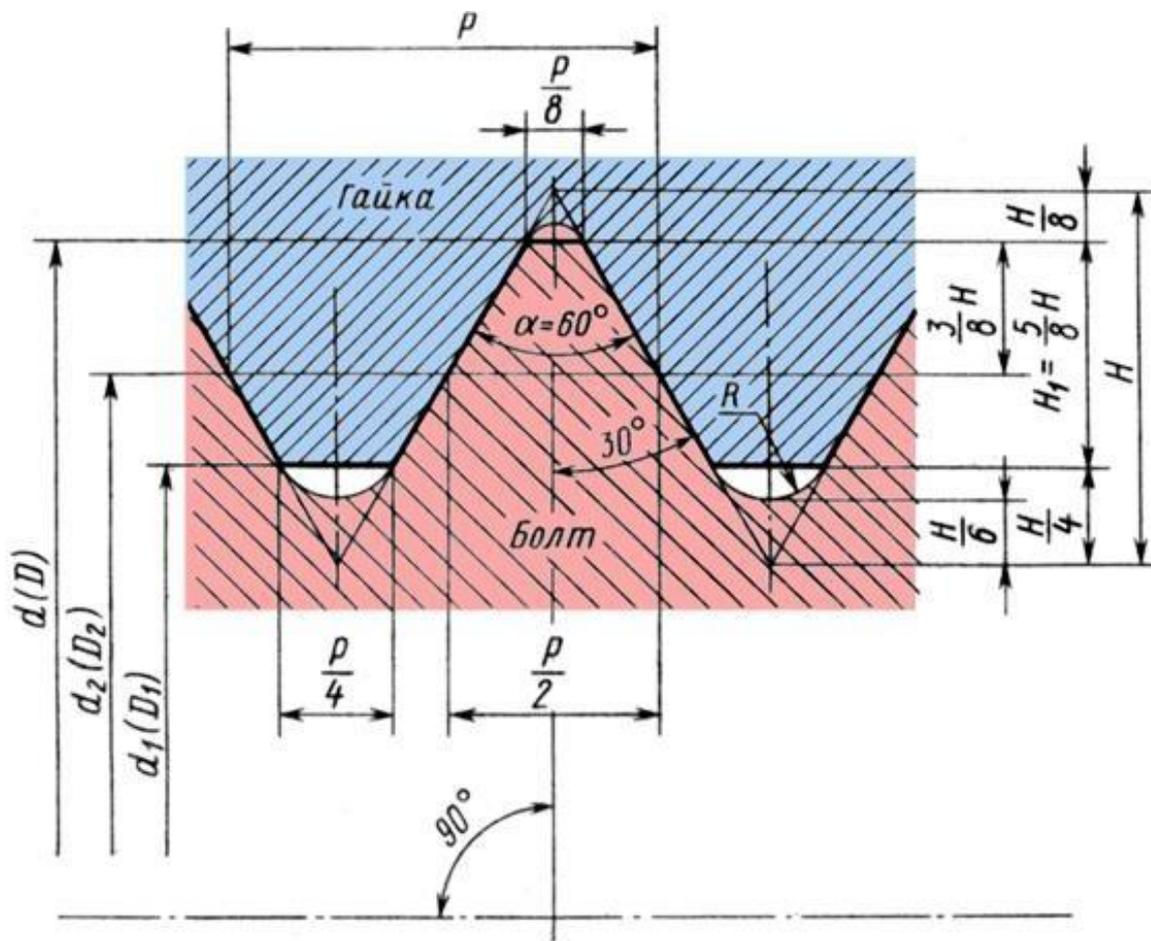


Рис. 10.7. Розташування полів допусків метричної різі параметрами профілю і різі в цілому є такі:

$d(D)$ — зовнішній діаметр різі болта (гайки), за яким різь умовно позначається; $d_1(D_1)$ — внутрішній діаметр різі болта (гайки);

$d_2(D_2)$ — середній діаметр різі болта (гайки), тобто діаметр уявного співвісного з різью циліндра, твірна якого перетинає профіль так, що ширина канавки дорівнює товщині тіла витка;

P — крок різі відповідає відстані між сусідніми однойменними (лівими або правими) боковими сторонами профілю в напрямку, паралельному осі різі;

t — хід різі, який відповідає відносному поздовжньому пересуванню за один оберт гвинта (гайки) і дорівнює добутку кроку на число заходів, $t = P \cdot n$;

α — кут профілю різі, придатність різі визначає кут нахилу бокових сторін

профілю, який дорівнює для симетричних різей $\alpha/2$.

Номінальний профіль, спільний для болта і гайки, отримують з вихідного рівностороннього гостровершинного профілю висотою H шляхом зрізу вершин витків по зовнішньому діаметру на $H/8$ і по внутрішньому діаметру на $H/4$. Форма западин у внутрішніх різей не регламентується. Форма западин у зовнішніх різей може або не оговорюватися і бути плоскозрізаною, або спеціально оговорюватися радіусною. Радіусна форма западин у зовнішніх різей є переважною через більшу міцність при циклічних навантаженнях. Відстань $H/6$ використовується при проектуванні різального інструмента для нарізання зовнішніх різей. Величина H_1 відповідає максимально можливій робочій висоті профілю.

Нарізні з'єднання з таким профілем відзначаються підвищеною міцністю порівняно з різью, яка має менші зрізи; полегшується створення зовнішньої різі накатуванням і внутрішньої різі нарізанням. Метрична різь при статичних навантаженнях має запас самогальмування.

Метричні різі кожного діаметра в інтервалі 1...600 мм можуть виготовлятися з кроками декількох розмірів, однак не більше 6 мм (рис. 10.8). Великі кроки наявні тільки у різей діаметром 1...68 мм. Окрім того, для кожної різі передбачена низка дрібних кроків, які призначають при тонкостінних деталях, обмеженій довжині скручування, для підвищення міцності і самогальмівних властивостей в умовах поштовхоподібних і вібраційних навантажень, у випадках, коли необхідно отримати малі осьові пересування при значних кутах повороту (наприклад, мікрометричні гвинти пристроїв). Довжина скручування у різей із дрібним кроком непостійна і практично коливається від $0,3$ до $2d$. ГОСТ 8724—81 містить усе вказівки щодо наявності й переваги метричних різей з різними кроками (табл. 10.1).



Рис. 10.8. Вал з нарізаною метричною різью і кроками різних розмірів

Таблиця
10.1

Діаметри і кроки метричних різей

| Діаметр и d, D, мм | Кроки P, мм | Діаметр и d, D, мм | Кроки P, мм | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|--------|---|---|-----|----------|-----|------|-----|
| | | | великі | дрібні | | | | | | | |
| 1-й ряд | 2-й ряд | 3-й ряд | | 4 | 3 | 2 | 1,5 | 1,2 5 | 1 | 0,75 | 0,5 |
| — | — | 1 1 | (1,5) | — | — | — | — | — | 1 | 0,75 | 0,5 |
| 12 | — | — | 1,7 5 | — | — | — | 1,5 | 1,2 5 | 1 | 0,75 | 0,5 |
| — | 1 4 | — | 2 | — | — | — | 1,5 | 1,2 5 | 1 | 0,75 | 0,5 |
| — | — | 1 5 | — | — | — | — | 1,5 | — | (1) | | |
| 16 | — | — | 2 | — | — | — | 1,5 | — | 1 | 0,75 | 0,5 |

Позначення нарізних з'єднань на кресленнях

Позначення різі показує вид різі, номінальний діаметр, крок (якщо різі із дрібним кроком), напрямок різі (якщо вона ліва), поля допусків (табл. 10.2).

Таблиця
10.2

Умовні позначення різей

| Тип різі і номер стандарту (ГОСТ або СТ СЕВ) | Умовне позначення типу | Зазначені на кресленні розміри | Приклади позначень різі |
|--|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Метрична з крупним кроком, ГОСТ 8724-81 (СТ СЕВ 181—75) | М | Зовнішній діаметр, мм | M10-6H; M36-7H; M10LH-6H |
| Метрична з дрібним кроком, ГОСТ 8724—81 (СТ СЕВ 181—75) | М | Зовнішній діаметр і крок, мм | M64*2-7H |
| Метрична для діаметрів менше 1 мм (годинникова), ГОСТ 900—73 | М | Зовнішній діаметр, мм | M0,6 |

| | | | |
|--|----|---|---------------------------------|
| Трапецеїдальна однозахідна, ГОСТ 24738— 81 (СТ СЕВ 639—77) | Tr | Зовнішній діаметр і крок, мм, і номер ГОСТу | Tr36*6- 6H, ГОСТ 24738-81 |
| Упорна, ГОСТ 10177-82 (СТ СЕВ 1181— 79) | S | Зовнішній діаметр і крок, мм | S80*16-4H |
| Трубна циліндрична, ГОСТ 6357—81 (СТ СЕВ 1157— 78) | G | Умовне позначення розміру різі в дюймах | G21/2-A |
| Конічна дюймова з кутом профілю 60°, ГОСТ 6111—52 | K | Позначення розміру різі в дюймах і номер ГОСТу | K3/4", ГОСТ 6111-52 |

Допуски і посадки різей

Система допусків має забезпечувати як скручуваність, так і міцність нарізного з'єднання. З декількох різновидів метричних різей найбільше застосовується і дійсно є універсальною тільки різь із зазорами. Систему допусків для посадок із зазором у метричних різей загального призначення, які мають крок 0,2...6 мм (при діаметрах 1...600 мм), регламентує ГОСТ 16093—81.

Різь повністю визначається п'ятьма параметрами: трьома діаметрами, кроком і кутом нахилу бокових сторін. Нормуються ж полями допусків лише середній діаметр і додатково d у зовнішніх або $D1$ у внутрішніх різей.

ГОСТ 16093—81 установлює для метричних різей ступені точності 3...9, які для низки діаметрів призначають лише вибірково (табл. 10.3).

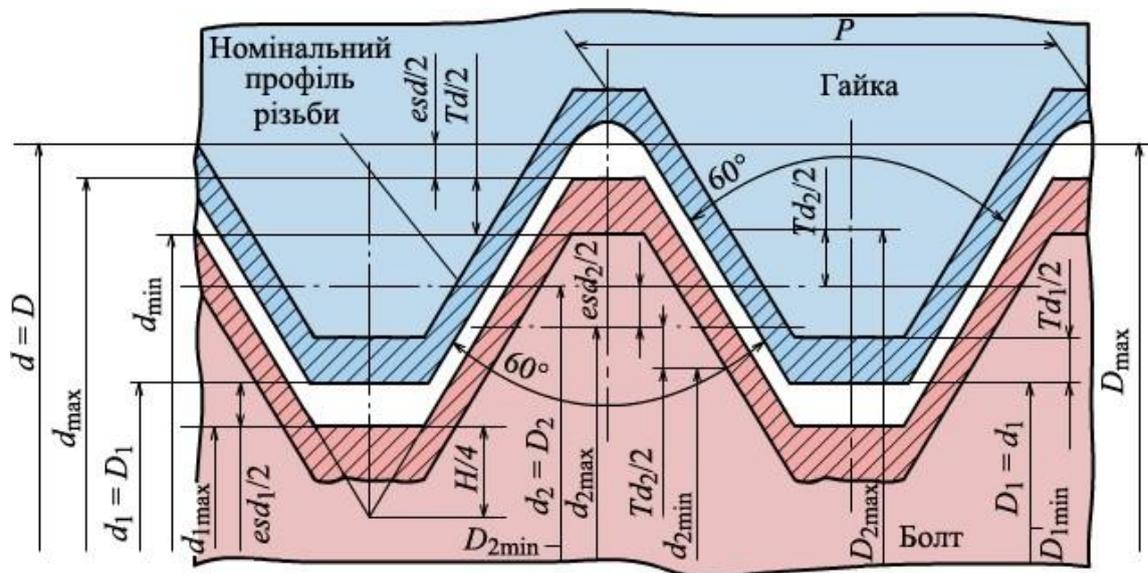
Таблиця
10.3

Ступені точності для метричних різей

| Вид різі | Діаметр різі | Ступені точності |
|-----------|--------------|--------------------------|
| Зовнішня | D | — 4 — 6 — 8 — — |
| | $d2$ | 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10* |
| Внутрішня | D2 | — 4; 5; 6; 7; 8; 9* — |
| | D1 | — 4; 5; 6; 7; 8; — — |

*Тільки для різей на деталях із пластмас.

Усі відхилення і допуски відлічують від номінального профілю в напрямку, перпендикулярному осі різі (рис. 10.9). На схемах прийнято



зазначати половинчаті величини, покладаючи другі половини розташованими на діаметрально протилежних профілях виробу.

Рис. 10.9. З'єднання із зазором

Допуски метричних кріпильних різей установлені низкою ГОСТів, у яких призначені допуски середнього діаметра болта Td_2 і гайки TD_2 . Це сумарні допуски, що містять і допуск власного середнього діаметра, і компенсації допустимих відхилень кроку P і половини кута профілю (допуски кроку і половини кута профілю окремо не передбачені).

У стандартах призначені також допуски зовнішнього діаметра болта Td і внутрішнього діаметра гайки TD_1 . Допуски внутрішнього діаметра болта d_1 і зовнішнього діаметра гайки D не призначаються. При нарізанні різі потрібне лише забезпечення правильного кута профілю α по всій стороні витка або западини до початку закруглення дна западини.

Допуски по середньому діаметру Td_2 і TD_2 є сумарними, оскільки одночасно з обмеженням відхилень середнього діаметра призначені і для обмеження в межах довжини скручування похибок різі по кроку і куту нахилу сторін профілю. У зв'язку з цим у різей розрізняють дійсний середній діаметр (виміряний по матеріалу деталі) і приведені середній діаметр ($d_{2пр}$, $D_{2пр}$), який враховує сукупний вплив на скручуваність усіх названих похибок.

Розглянемо докладніше поняття щодо приведеного середнього діаметру. Припустимо, є два болти з цілком однаковими дійсними середніми діаметрами d_2 . Їх легко виміряти нарізним мікрометром, методом трьох

дротів або по контурах різі на інструментальному мікроскопі. У першого болта похибок у кроці і в куті нахилу сторін профілю немає, а у другого — ϵ . Чи однаково вони за таких саме умов вкручуватимуться в одну і ту саму гайку? Ні. За рахунок помилок у кроці і перекосів у різі другий болт вкручуватиметься гірше, а то й зовсім не вкрутиться, тобто здаватиметься при скручуванні повніше, ніж ϵ насправді. Цей позірний діаметр і називають приведеним середнім діаметром $d_{2\text{пр}}$. У гайок погіршення скручуваності відповідає позірному зменшенню середнього діаметра, який позначають як $D_{2\text{пр}}$.

Усі ці допуски знаходять у таблицях ГОСТів відхилень: es і ei — відповідно верхнього і нижнього відхилень болта й ES і EI — верхнього і нижнього відхилень гайки.

Розглянемо ГОСТ 16093—81, який передбачає посадку метричної кріпильної різі із зазором як найпоширенішу.

Стандарт установлює основні відхилення діаметрів різі з позначеннями: для болтів

— h, g, f, ed , для гайок — H, G, E, F .

Поля допусків діаметрів різі створюються в комплексі зі ступеня точності (величини допуску) й основного відхилення, а тому позначаються попереду цифрою (ступінь точності) і на другому місці

— літерою (основне відхилення), наприклад $6h; 8e; 7H$ (рис. 10.10).

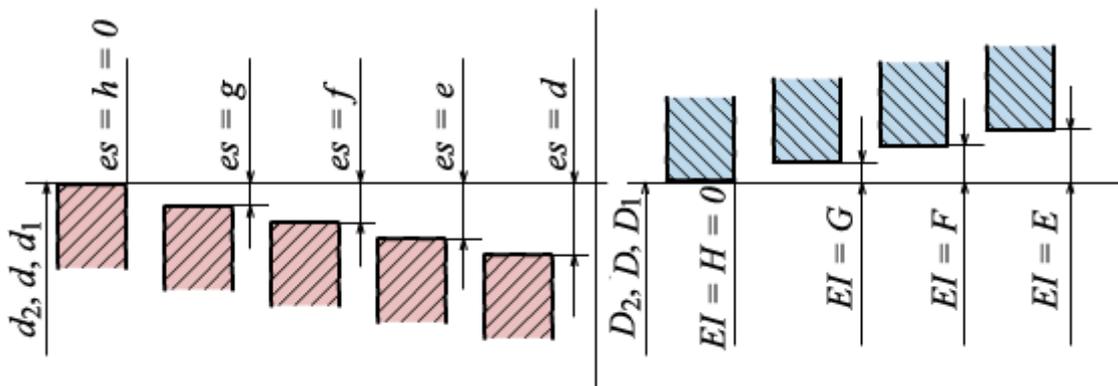


Рис. 10.10. Поля допусків посадок із зазором

Поле допуску різі деталі (болта або гайки) позначається чотирма знаками — для середнього діаметра і для діаметра виступу (зовнішнього діаметра болта або внутрішнього діаметра гайки); спочатку пишеться позначення поля допуску середнього діаметра, а потім поле допуску діаметра виступу.

Наприклад, болт $6g7h$ — це означає, що в цього болта допуск

середнього діаметра 6-го ступеня точності й основне відхилення g , а допуск зовнішнього діаметра — 7-го ступеня точності й основне відхилення h . Якщо позначення поля допуску середнього діаметра збігається з позначенням поля допуску діаметра виступу, то ставиться одне (єдине) позначення поля допуску різі, наприклад $6g$.

ГОСТ 16093—81 установлює три групи довжин скручування — нормальні довжини N , великі довжини L і малі довжини S . Допуск різі, якщо немає особливих указівок, належить до нормальної довжини скручування N .

Зазначені поля є обмежувальним доббором. За наявності основ допускається застосовувати їх в інших сполученнях. Поля допусків $6g$ і $6H$ виділені рамкою для переважного застосування. У нарізних з'єднаннях рекомендується сполучати поля допусків одного класу точності.

Застосовуваність різних посадок із зазором, звичайно, є різною, однак найбільш застосовуваною вважається посадка $6g6H$ середнього класу точності (рис. 7.9, 7.10).

Номинальний профіль метричної різі визначає вихідні розміри зовнішнього, середнього і внутрішнього діаметрів різі і теоретичну висоту витка H , а також висоту витка H_1 , отриману за лишком двох глибин закруглення западин. Ці розміри визначають за таблицями ГОСТ 9150—81 залежно від величини кроку P і номінального діаметра d даної довжини.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називається нарізним з'єднанням?
2. Назвіть основні експлуатаційні вимоги до нарізних з'єднань.
3. Як класифікуються різі?
4. Назвіть параметри профілю різі і їх позначення.
5. Що таке номінальний профіль різі і що він визначає?
6. На які параметри метричної різі призначені допуски, а на які ні?
7. Опишіть поля допусків діаметрів метричної різі. Із чого вони створюються?
8. Які існують посадки метричних нарізних з'єднань?

Лекція №11 Засоби вимірювання різей

1. **Калібри для циліндричних різей.**
2. **Засоби вимірювання параметрів різі**
3. **Інструментальний вимірювальний мікроскоп**

Калібри для циліндричних різей.

Калібри для контролю придатності циліндричних різей діють як комплект жорстких засобів, які виконують контроль придатності різі.

Перевага їх у тому, що вони забезпечують повну взаємозамінність різі скручуваних деталей.

Такі калібри поділяються на дві основні групи: калібри для зовнішньої і внутрішньої різі. За принципом побудови це граничні калібри, а отже, вони поділяються на прохідні і непрохідні, кожен з яких контролює свою границю поля допуску.

За формою поверхні вони поділяються на нарізні та гладкі. У нарізних прохідних калібрів — повний профіль витків різі, а у нарізних непрохідних — укорочений (рис. 11.1). Різь із повним профілем прохідного калібру має контур номінального профілю і параметри, виконані з високою точністю.



Рис.11.1. Нарізні калібри

Для перевірки нарізних отворів застосовують прохідні нарізні пробки (ПР і П-ПР), контролюючі зовнішній і приведений середній діаметр різі, і непрохідні нарізні пробки (НЕ), контролюючі верхню границю середнього діаметра різі. За необхідності застосовують гладкі прохідні і непрохідні пробки для контролю внутрішнього діаметра нарізного отвору.

У разі контролю калібрами різь вважається придатною, якщо прохідний калібр скручується з деталлю за всією довжиною її нарізки без зусилля, а непрохідний калібр скручується з деталлю не більше ніж на дві нитки (рис. 11.2).



Рис.11.2. Застосування калібрів

Основним типом нарізних пробок є пробки зі вставками, що мають конусний хвостовик. Вони виготовляються для різь діаметром від 1 до 50 мм. Пробки з зовнішнім діаметром різь понад 50 до 100 мм виготовляють у вигляді насадок, закріплюваних гвинтами на кінцях пластмасової ручки (рис. 11.3).

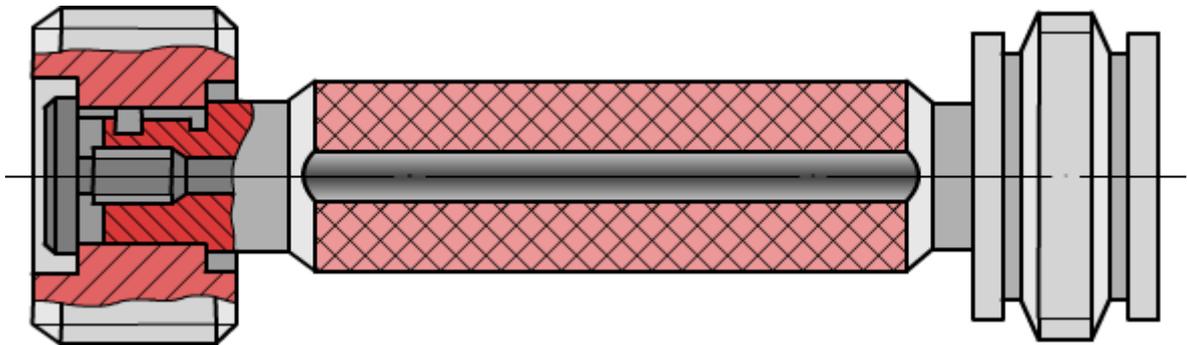


Рис. 11.3. Гранична пробка з насадками

Перевірку зовнішніх різь виконують нарізними кільцями, виготовленими для різь діаметром від 1 до 100 мм. Прхідні кільця мають різь на всій ширині кільця (рис. 11.4). Їх зовнішня поверхня накочується. Непрохідні кільця мають укорочену різь (залишають лише 2—3 витки з укороченим профілем різь). На цих кільцях роблять відмітну проточку посередині зовнішньої циліндричної накатаної поверхні кільця (рис.11.5).



а

б

Рис. 11.4. Нарізні кільця:
а — непрохідне кільце; б — прохідне кільце

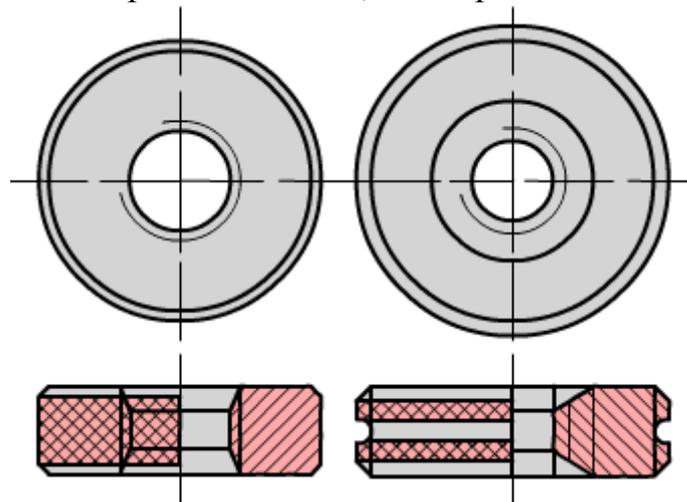


Рис. 11.5. Кільця нарізні

Засоби вимірювання параметрів різі

Нарізні шаблони дозволяють визначити крок метричної різі або число ниток на 1" дюймовій і трубній різі. Вони являють набір шаблонів — пластин товщиною 0,5 мм і зубцями, відповідними кроку різі, розташованих в обоймі (рис. 11.6).



Рис. 11.6. Нарізні шаблони

Під час контролю шаблони прикладаються до вимірюваної різі, поки зубці шаблони не збіжаться з різзю. Оскільки на кожному шаблоні зазначається крок або число ниток, то в такий спосіб за їх маркуванням визначається крок різі. За просвітом між зубами можна перевірити на око і кут профілю.

Засоби вимірювання параметрів різі.

Для вимірювань середнього діаметра різі користуються визначенням, у якому середнім діаметром різі вважають відстань між паралельними сторонами витків, розташованих по різні боки осі різі, і виміряна перпендикулярно осі різі.

Поширеним засобом вимірювання середнього діаметра різі в машинобудуванні є мікрометр зі вставками (його часто називають нарізний мікрометр, рис. 11.7). Цей мікрометр відрізняється від гладкого мікрометра МК тим, що в торцях його мікрогвинта і п'ятки виконані отвори, в які поміщаються вставки. До мікрогвинта зазвичай ставлять конічну вставку 1, а в п'ятку призматичну 2. Коли мікрометр охоплює вставками реальну різь, конічна вставка входить до западини, а призматична вставка охоплює виток. У цьому положенні відлік по шкалах стебла і барабана дає розмір середнього діаметра вимірюваної деталі. Мікрометр зі вставками має ціну поділки $s = 0,01$ мм. Діапазон вимірювання 25 мм, а границі вимірювання 0—25; 25—50 і т. д. до 325—350 мм.

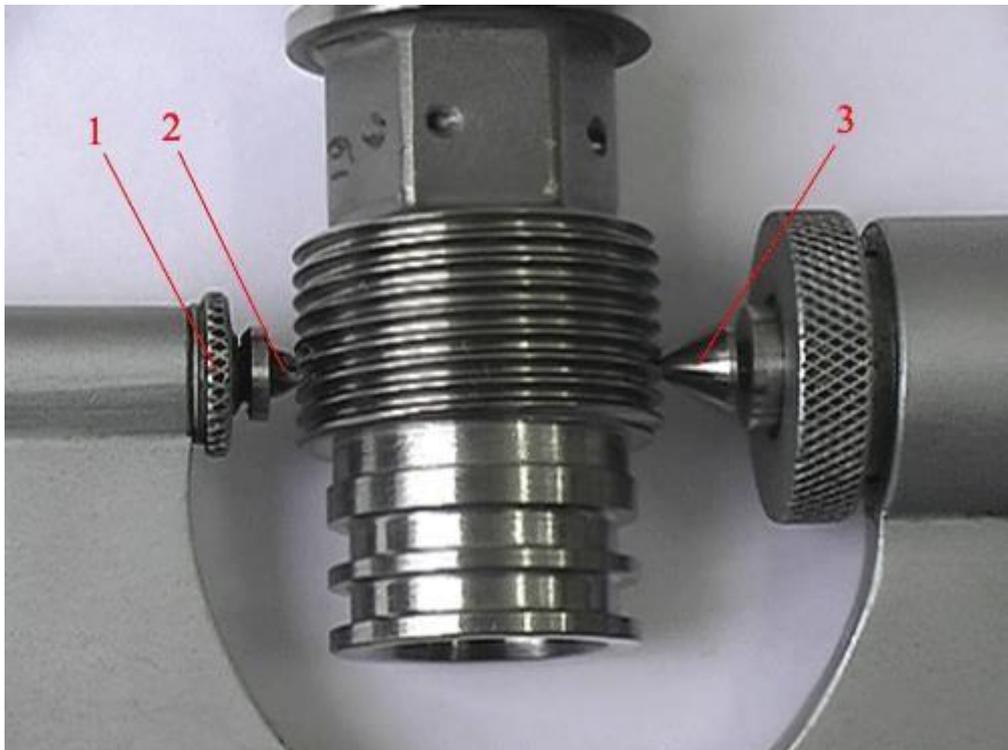


Рис. 11.7. Мікрометр зі вставками при вимірюванні середнього діаметра різі болта: 1 — гайка; 2 — призматична

вставка; 3 — конічна вставка

Мікрометр від 0 до 25 мм установлюється на «0» гайками 3 разом із вставками, зведеними до упору, а мікрометри для вимірювання розмірів понад 25 мм установлюються на нижню границю вимірювання за прикладеною до кожного мікрометра встановлювальною мірою. Вставки для вимірювання середнього діаметра різі прикладені до кожного мікрометра парами: конічна і призматична. Розмір вимірювальних поверхонь кожної пари залежить від кроку різі.

Похибка вимірювання мікрометром зі вставками становить від 0,025 до 0,20 мм. Вимірювання середнього діаметра різі з використанням дротів здійснюється значно точніше, ніж мікрометром зі вставками (рис. 11.8).

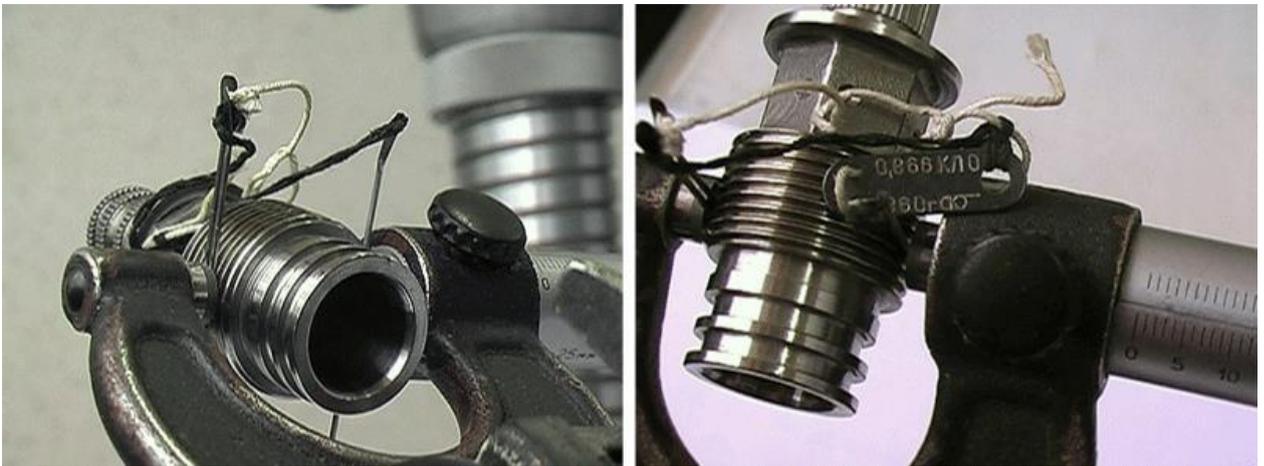


Рис. 11.8. Вимірювання середнього діаметра різі за допомогою трьох дротів

Розмір дроту добирається так, щоб твірні дроти дотикалися гвинтової поверхні різі в зоні власне середнього діаметра різі d_2 . Найбільший діаметр дроту для метричної різі дорівнює $d_{np} = 0,577 P$. Перерахунок з розміру M на розмір середнього діаметра d_2 для метричної різі виконують за формулою $d_2 = M - 1,438 d_{np}$ (метод вимірювання є непрямим).

Дроти для вимірювання середнього діаметра різі виготовляє інструментальна промисловість, випускаючи їх комплектами з 3 шт. Номінальні розміри дротів залежать від кроку і становлять від 0,101 до 3,464 мм для метричної різі. Граничні відхилення діаметра дротів від номінального розміру $\pm 0,5$ мкм. Відхилення форми перебувають у межах допуску розміру дротів. Особливо суворо контролюється ограновування поверхні дроту (рис. 11.9).



Рис. 11.9. Дроти для вимірювання середнього діаметра різі

Похибка вимірювання середнього діаметра з використанням трьох дротів є невеликою, наприклад, на горизонтальному оптичному мікрометрі вона становить 1,5—2 мкм. Середній діаметр різі калібрів-пробок робочих і контрольних вимірюється лише за допомогою трьох дротів.

Інструментальний вимірювальний мікроскоп

Застосовуються дві моделі інструментальних мікроскопів: малий (моделі ММИ) і великий (моделі БМИ). Обидві моделі побудовані за однією принциповою схемою і різняться насамперед габаритними розмірами, границями вимірювання і набором приладдя. Мікроскопи (рис. 11.10) дозволяють виміряти всі основні елементи профілю зовнішньої різі у нарізних калібрів, мітчиків, нарізних фрез та інших інструментів з різзю. Шляхом вимірювання в прямокутних або полярних координатах на мікроскопах також перевіряють контур і розміри деталей і калібрів складної форми, фасонні різці, фасонні фрези, формотвірні деталі штампів і прес-форм, шаблони тощо.



Рис. 11.10. Інструментальний вимірювальний мікроскоп Усі вимірювання на

мікроскопі виконуються безконтактним методом.

Інструментальний мікроскоп (рис. 11.11) має чавунну основу 1, на якій на кулькових напрямних установлений стіл 3, що пересувається у двох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою мікрометричних гвинтових пар 2, які мають ціну поділок 0,005 мм і границі вимірювання 0—25 мм. Границі вимірювання можуть бути збільшені в поздовжньому напрямку шляхом установки між кінцем мікрогвинта і вимірювальним упором на столі мікроскопа кінцевої міри потрібного розміру (до 75 мм у малій моделі і 150 мм у великій).

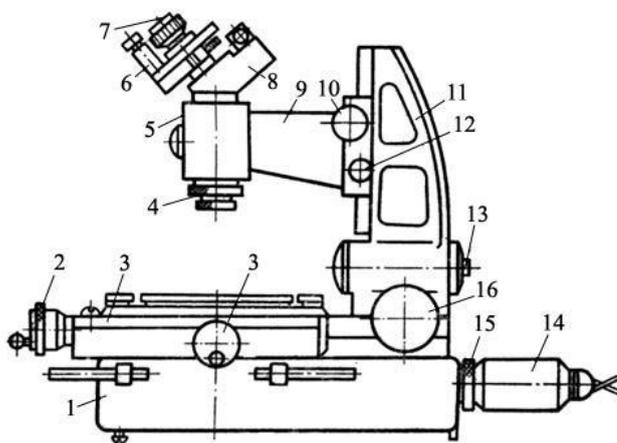


Рис. 11.11. Інструментальний мікроскоп:

1 — чавунна основа; 2 — мікрометричні гвинтові пари; 3 — стіл; 4 — об'єктив; 5 — тубус; 6 — відліковий пристрій; 7 — змінна кутомірна головка з окуляром; 8 — прилив; 9 — кронштейн; 10, 16 — маховичок; 11 — стояк; 12 — гвинт; 13 — вісь; 14 — освітлювальний пристрій; 15 — кільце

Верхня частина стола може бути повернута навколо вертикальної осі з метою точного суміщення лінії вимірювання з напрямком поздовжнього або поперечного пересування стола. Кут повороту стола визначається по ноніусу з величиною відліку 3'. Для спостереження в мікроскоп контуру деталі при вимірюванні тіньовим методом у центральній частині стола 3 вставлене предметне скло, яке забезпечує можливість освітлення знизу. Освітлювальний пристрій 14 має лампу, конденсор, світлофільтр і діафрагму, яка регулюється поворотом кільця 15.

На кронштейні 9 установлений тубус 5. Разом з кронштейном тубус може пересуватися напрямними стояка 11. За допомогою маховичка 16 стояк може нахилитися навколо осі 13 на

$\pm 12,5^\circ$ в обидва боки для установки тубуса 5 під кутом, що відповідає куту підйому вимірюваної різі. Кут нахилу визначається за шкалою маховичка 16. Вісь нахилу стояка строго суміщена з віссю центрів, установлюваних на столі мікроскопа при контролі тіл обертання.

Обертанням маховичка 10 здійснюється вертикальне пересування кронштейна 9, фіксоване гвинтом 12. Щоб уникнути падіння кронштейна і пошкодження об'єктива 4, кронштейн утримується пружинним гальмом.

На тубусі 5 мікроскопа зверху кріпиться змінна кутомірна головка з окуляром 7 і відліковим пристроєм 6 або револьверна профільна окулярна головка. Прилив 8 призначений для кріплення проекційної насадки, за допомогою якої отримують на екрані зображення, яке зазвичай спостерігається оком в окуляр 7.

Інструментальні мікроскопи оснащуються комплектом змінних окулярних головок: кутомірної ОГУ-21, профільної (револьверної) ОГР-23 і головкою подвійного зображення ОГУ-22, застосовуваної порівняно рідко і переважно під час контролю відстаней між центрами отворів. Усі окулярні головки мають десятикратне збільшення (рис. 11.12).



Рис. 11.12. Змінна кутомірна головка з окуляром

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке повний і укорочений профілі різі? Який склад комплектів калібрів для контролю гайки і болта?
2. Що таке контрольні калібри для нарізних калібрів-складів комплектів для контролю прохідних і для непрохідних кілець?
3. Що таке комплексний і диференційований методи вимірювання різі?
4. Яка відмінність мікрометра зі вставками від гладкого мікрометра?
5. Поясніть вимірювання середнього діаметра різі за допомогою дротів (розмір дротів, перевага такого вимірювання).

Лекція №12 Шпонкові та шліцьові з'єднання, їх параметри

1. Шпонкові з'єднання.
2. Шліцьові з'єднання.

Шпонкові і шліцьові з'єднання призначені для отримання рознімних нерухомих і рухомих з'єднань, які передають крутні моменти. Вони дозволяють за необхідності здійснювати відносно осьове пересування сполучуваних деталей, наприклад, при ввімкненні/вимкненні муфт або зубчастих коліс.

Шпонкові з'єднання

Шпонкові з'єднання виконують зазвичай по одній із перехідних посадок. Їх застосовують у малонавантажених тихохідних передачах (кінематичні кола подач верстатів), у крупногабаритних з'єднаннях (шестірні-маховики, шківні ковальсько-пресових машин), у всіх відповідальних нерухомих конічних з'єднаннях (маховики двигунів внутрішнього згорання, центрифуги тощо), в одиничних (дослідних) екземплярах машин.

Шпонкові з'єднання мають передавати заданий крутний момент, їх застосовують тоді, коли до точності центрування з'єднуваних деталей не висувають особливих вимог.

Ці з'єднання прості щодо виконання, компактні, легко розбираються і збираються. У такому з'єднанні частина шпонки входить у паз вала, а частина — в паз маточини колеса (рис. 12.1).

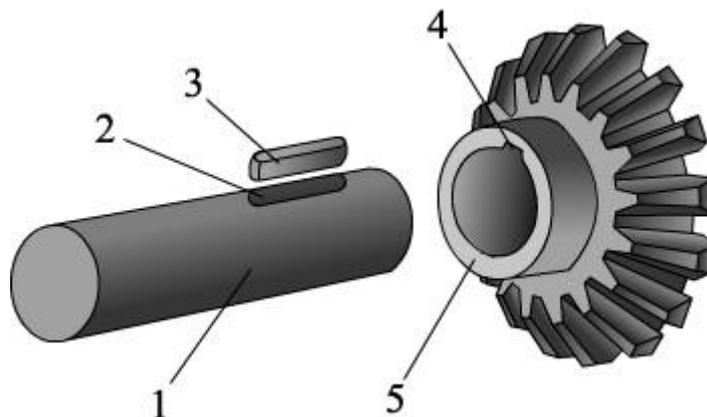


Рис. 12.1. Шпонкові з'єднання:

1 — вал; 2 — паз на валу; 3 — шпонка; 4 — паз на втулці; 5 — втулка

За формою шпонок з'єднання поділяють на призматичні, сегментні та клинові (рис. 12.2).

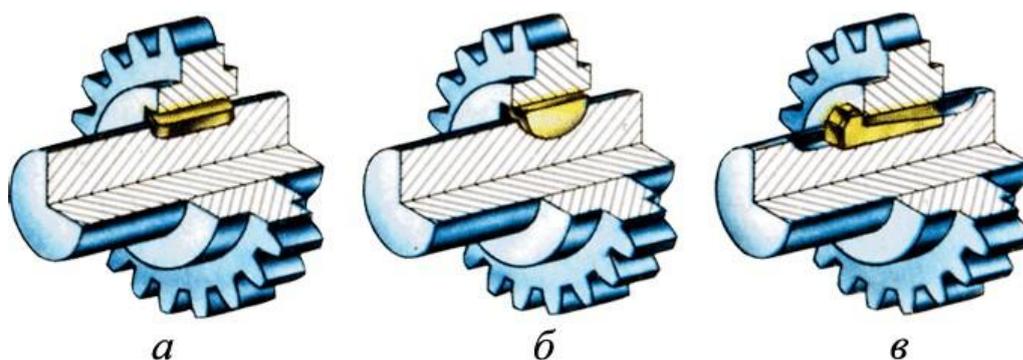


Рис. 12.2. Типи шпонкових з'єднань:

а — шпонка призматична ГОСТ 23360—78; б — шпонка сегментна ГОСТ 24071—80; в — шпонка клинова ГОСТ 24068—90

Найбільше поширення мають призматичні шпонки (рис. 12.2 а), які, розташовуючись внизу вала, дещо виступають із нього і входять у паз, виконаний у втулці (маточині) деталі, з'єднуваної з валом. Передача обертання від вала до втулки (або навпаки) здійснюється робочими боковими гранями шпонки. Після зборки шпонкового з'єднання між пазом втулки і верхньою гранню шпонки має бути невеликий зазор.

Працездатність шпонкових з'єднань визначається переважно точністю посадок по ширині шпонки b . Інші розміри задають так, щоб виключити можливість защемлення шпонки по висоті або занадто велике заниження поверхонь стикання бокових сторін. На рис. 12.3 наведено параметри призматичних шпонок. Для шпонкових пазів втулок на кресленнях просявляють розмір $(d + t_2)$ як єдиний зручний для контролю; на валах краще зазначати t_1 , проте допускається і розмір $(d - t_1)$. Граничні відхилення розмірів по глибині пазів наведено в табл. 12.1.

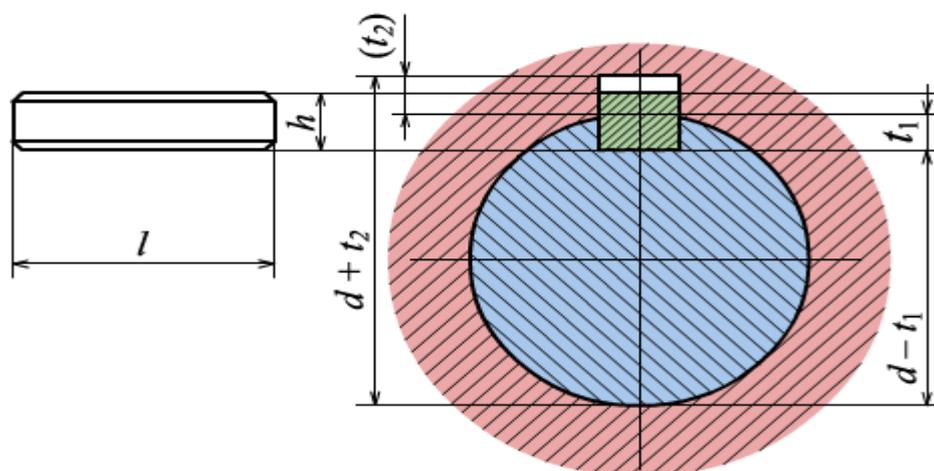


Рис. 12.3. Параметри шпонкового з'єднання

Шліцьові з'єднання досконаліші від шпонкових: при одному і тому самому діаметрі вони передають значно більший крутний момент, забезпечують високий ступінь центрування деталей, у них відсутня знімна деталь (шпонка). У масовому і серійному виробництвах виготовлення шліцьових деталей не складніше і не дорожче шпонкових, а складання зручніше і швидше.

Шліцьове з'єднання втулки з валом створюється виступами, які є на валу, і западинами такого самого профілю у втулці або маточині (рис. 12.4).

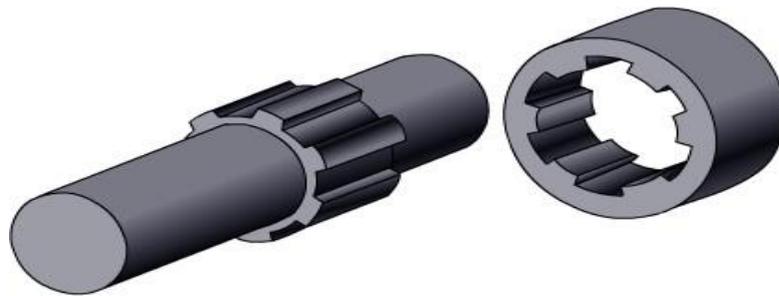


Рис. 12.4. Створення шліцьового з'єднання

Шліцьові з'єднання різняться за формою профілю шліців і потужністю, передаваною з'єднанням.

За формою профілю розрізняють прямобічні, евольвентні і трикутні шліцьові з'єднання, а для розрізнення за потужністю встановлені три серії з'єднань: легка, середня і важка.

У машинобудуванні широко застосовуються зубчасті з'єднання прямобічного профілю. З'єднання прямобічного профілю характеризуються числом зубів Z , діаметрами d і D , шириною зуба b (рис. 12.5).

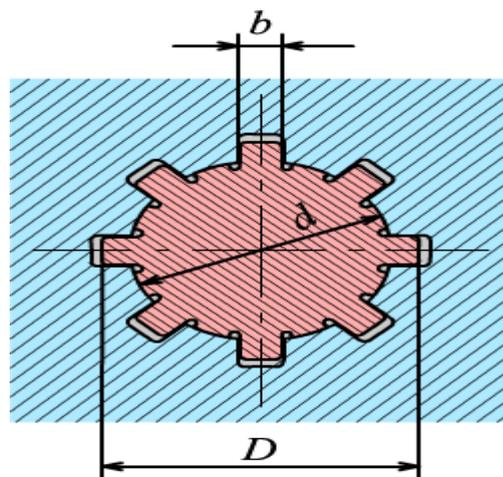


Рис. 12.5. Шліцьове з'єднання прямобічного профілю ГОСТ 1139—80 встановлює три методи центрування сполучуваних втулки і вала: За колом діаметра D (найбільш

технологічне), зазор за діаметром d (рис. 8.6, а).

За колом діаметра d , зазор за діаметром D (рис. 8.6, б).

За розміром b (по бокових сторонах зубів), зазори за діаметрами d і D (рис. 12.6, в).

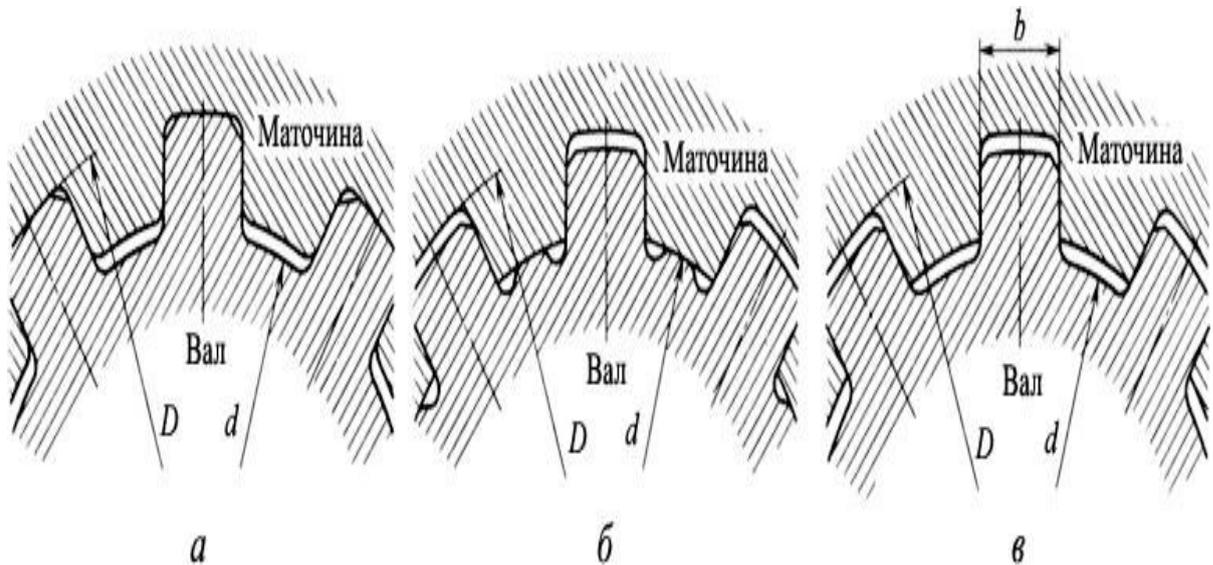


Рис. 12.6. Методи центрування шліцьових з'єднань:

а — центрування за зовнішнім діаметром D ; б — центрування за внутрішнім діаметром d ; в — центрування за розміром b

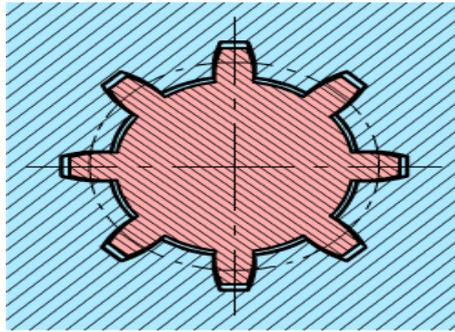
Вибір методу центрування визначається експлуатаційними вимогами і технологічними факторами.

Метод центрування за боковими сторонами зубів b забезпечує досить точні поля допусків і посадки лише за розміром b . За нецентрувальними діаметрами обов'язковий гарантований зазор. При центруванні за b , особливо якщо вал термічно обробляється, бокові поверхні шліць шліфують, щоб точно витримати їх товщину і прямолінійність.

Цей метод центрування є найпростішим і найдешевшим. Він призначається при невисоких вимогах до співвісності сполучуваних деталей, коли основна вимога полягає у надійній передачі крутного моменту і відсутності ударів при реверсі, наприклад, у карданних з'єднаннях транспортних, будівельних та інших подібних машин.

Методи центрування за внутрішнім d і зовнішнім діаметром D приблизно рівноцінні. Обидва регламентують точність і вид сполучення за двома елементами: центрувальним діаметром і боковими сторонами зубів. За нецентрувальним діаметром забезпечується гарантований зазор, що виключає його вплив на збируваність шліцьового з'єднання.

Евольвентні шліцьові з'єднання. Евольвентними ці з'єднання називають



тому, що вони мають профіль зуба вала і паза втулки, окреслений евольвентою (рис. 12.7).

Рис. 12.7. Шліцьове з'єднання евольвентного профілю

Профіль евольвентних шліців має велику бокову поверхню стикання. Таке з'єднання міцніше, ніж у з'єднань з прямобічним профілем, оскільки має більший переріз в основі зуба.

Основним є центрування за боковими сторонами зубів (рис. 12.8), при якому, на відміну від прямобічних, досягається досить гарна співвісність деталей. Через малі розміри опорних площадок передбачається ще центрування за D .

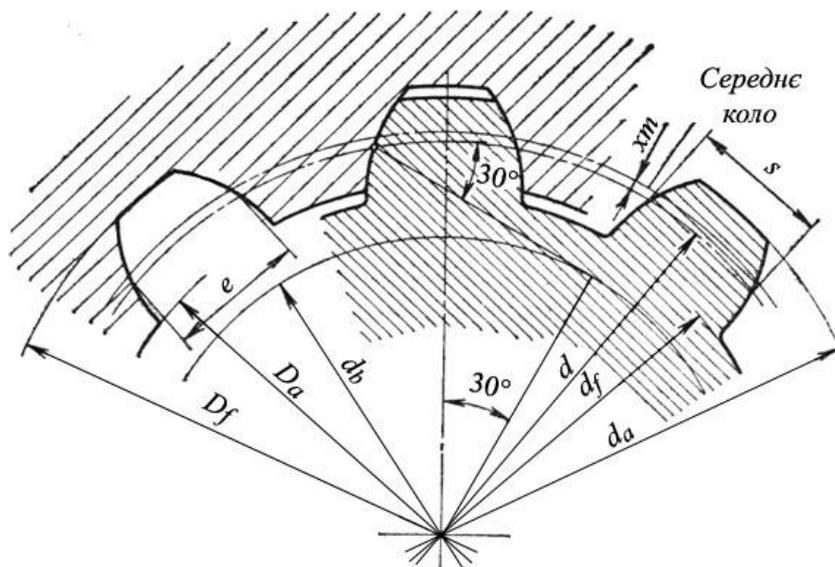


Рис. 12.8. Елементи евольвентного шліцьового з'єднання

На рис. 12.8 показано елементи евольвентного шліцьового з'єднання:
номінальний
(вихідний) діаметр D , ділильна колова товщина зуба вала s і ширина западин втулки e (номінально $s = e$), діаметр основного кола d_b , діаметр ділильного кола d , зсув вихідного контуру x_m , ділильного кола крок p . Співвідношення між окремими

елементами є такими: $m = p/\pi$;
 $p = 2s = 2e$; $d = mz$;
 $db = mz \cos 30^\circ$; $Df = D$;
 $Da = D - 2m$; $Df = D - 2,2m$;
 $da = D - 0,2m$.

Контрольні запитання та завдання

1. Які відомі типи шпонкових з'єднань?
2. Назвіть параметри призматичних шпонок.
3. Назвіть параметри прямобічних шліцьових з'єднань.
4. Які види центрування застосовують у машинобудуванні?
5. Назвіть параметри евольвентного шліцьового з'єднання і види центрування цих з'єднань.
- 6.

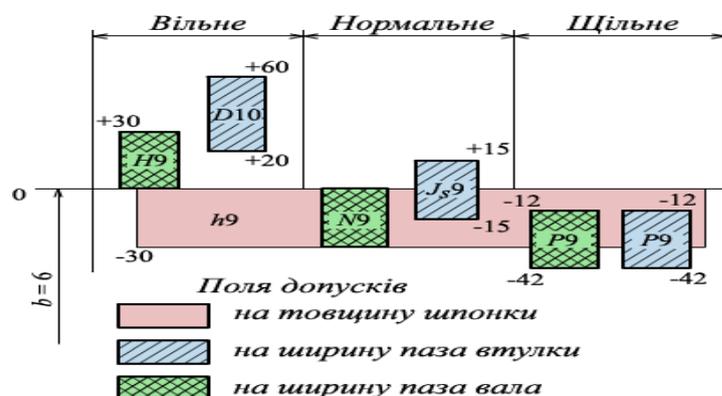
Лекція №13 Допуски, посадки, вимірювальний інструмент і прилади, контроль шпонкових і шліцьових з'єднань

1. Допуски, посадки і контроль шпонкових з'єднань
2. Допуски, посадки і контроль шліцьових з'єднань
3. Евольвентні шліцьові з'єднання.

Допуски, посадки і контроль шпонкових з'єднань

Систему допусків і посадок шпонкових з'єднань розглянемо на прикладі з'єднань з призматичними шпонками, які набули найбільшого поширення.

Шпонкове з'єднання за розміром b побудовано за системою вала: шпонка має для всіх посадок однакове поле допуску $h9$, а різні посадки отримуємо за рахунок різних полів допусків ширини канавок (пазів). Стандартами встановлено, що посадки шпонкових з'єднань за розміром b поділені на три групи: щільні, нормальні і вільні. Ці



посадки створюються полями допусків ширини канавок P9, Js9, N9, D9, D10 і H9 (рис. 13.1). Усі ці поля допусків взяті з ГОСТ 25347—82.

Рис. 13.9. Поля допусків шпонкових з'єднань

Щільні з'єднання отримують посадкою $\frac{P9}{h9}$ для канавки вала зі шпонкою і для канавки втулки зі шпонкою.

Нормальні з'єднання отримують посадкою $\frac{J,9}{h9}$ для канавки втулки зі шпонкою і посадкою $\frac{N9}{h9}$ для канавки вала зі шпонкою.

Вільні з'єднання отримують посадкою $\frac{D10}{h9}$ для канавки втулки зі шпонкою і посадкою $\frac{H9}{h9}$ для канавки вала зі шпонкою.

Висота шпонки h виготовляється з полем допуску $h11$. Сполучувані з нею глибини канавок (пазів) для вала (розмір $t1$) і для втулки (розмір $t2$) виготовляються з полем допуску $H11$. Це означає, що посадки за цими розмірами будуть $\frac{H11}{h11}$, що практично дає ймовірність досить великого зазору.

Окрім посадок за шириною канавок і товщиною шпонки b важливо і правильне розташування канавок (пазів) на валу і у втулках. Тут призначаються такі норми: допуски симетричності осі канавок (пазів) відносно осі вала і відносно отвору втулки і допуск паралельності площини осі канавки до осі вала або осі отвору.

Елементи стандартизованих шпонкових з'єднань контролюють граничними калібрами: за шириною пазів — пластинами ПР і НЕ (рис. 13.2), за глибиною пазів в отворах — спеціальними пробками зі ступінчатою шпонкою, на валах — ступінчатою пластиною-висоткою (розмір $t1$) або скобами ПР і НЕ збоку торця (розмір $d - t1$). Для контролю сумарної похибки через відхилення пазів від симетричності, прямолінійності або заданого напрямку вздовж твірної проєктують і виготовляють спеціальні калібри: для валів — у вигляді накладної призми з контрольним стрижнем визначеної товщини, для втулок — у вигляді пробки зі шпонкою. Види, конструкції і розміри калібрів для шпонкових з'єднань регламентують ГОСТ 24109—80 ... ГОСТ 24121-80.



Рис. 13.2. Контроль шпонкового паза



Рис. 13.3. Граничні калібри для контролю шпонкового паза

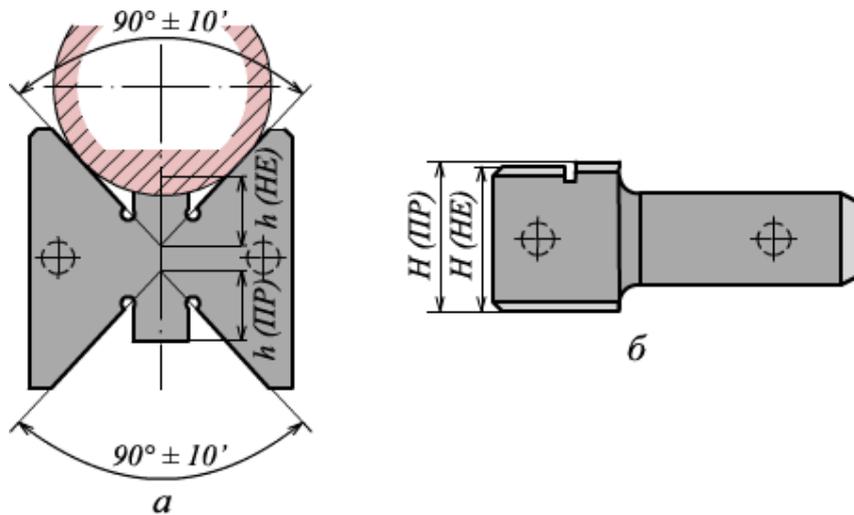


Рис. 13.4. Шаблони для контролю шпонкових пазів: а — отворів; б — валів

Приклад умовного позначення шпонкового з'єднання на кресленні: ГОСТ 23360—78.

Читається так: шпонкове призматичне нормальне з'єднання; посадки за розміром $\frac{H9}{h9}$ — паз на валу $\frac{J_9}{n9}$

*зі шпонкою і паз у втулці зі шпонкою
номінальні розміри шпонки*

18×11×100 ;

Допуски, посадки і контроль шліцьових з'єднань

Прямобічні шліцьові з'єднання. Контур прямобічного шліцьового з'єднання має три основні параметри вала і втулки: зовнішній діаметр D , внутрішній діаметр d і розмір b — товщину шліців вала або ширину канавок втулки. Прямобічні шліцьові з'єднання поділяються на три види центрування вала у втулці:

- з'єднання з центруванням за внутрішнім діаметром d (рис. 13.5, б);
- з'єднання з центруванням за зовнішнім діаметром D (рис. 13.5, а);
- з'єднання з центруванням за боковими сторонами зубів b (рис. 13.5, в).

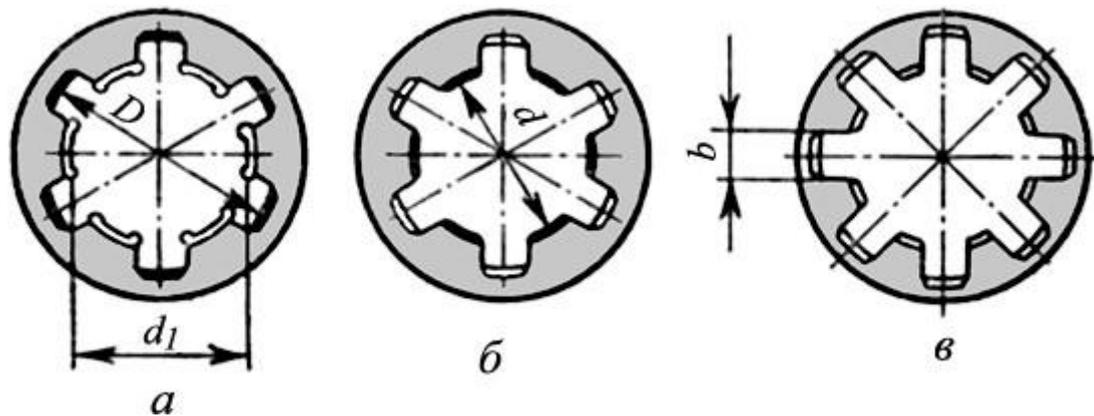


Рис. 13.5. Центрування прямобічних шліцьових з'єднань:

а — за зовнішнім діаметром; б — за внутрішнім діаметром; в — за боковими поверхнями зубів.

Допуски і посадки прямобічних шліцьових з'єднань установлюються ГОСТ 1139—80. Потрібний характер сполучування з'єднаних деталей досягається призначенням для їх виготовлення відповідних полів допусків центрувальних параметрів. Точність виготовлення цих параметрів зазвичай перебуває для валів у межах від 5-го до 10-го квалітету, а для втулок — від 6-го до 10-го квалітету. Допуски на розмір b поділені на дві групи: з'єднання підвищеної точності з допусками JT6, JT7 і JT8 і з'єднання нормальної точності з допусками JT9 і JT10.

Усі поля допусків параметрів вибрані із ГОСТ 25347—82, для валів установлені 20 полів, а для втулок — 8. Із цих полів переважними вважаються для валів поля $g6, js6, js7, e8$ і $f8$, а для втулок — поля $H7, F8, D9$ і $F10$. У випадку, якщо якийсь параметр виявляється не центрувальним, його виготовляють у межах полів допусків: для діаметра D вала — $a11$, а для D втулки — $H11$; для діаметра d вала — без призначення поля допуску, а для d втулки — $H11$. Розмір b при будь-якому виді центрування отримує певну посадку. Окрім цього, на кресленні оговорюється особлива вимога, що бокові сторони кожного зуба мають бути паралельні осі симетрії зуба.

До умовних позначень допусків і посадок шліцьових прямобічних з'єднань на кресленнях входять: літера, що позначає центрувальну поверхню; кількість зубів у з'єднанні; номінальні розміри параметрів з'єднання і посадки кожного параметра. ГОСТ 1139—80 дозволяє не указувати в позначеннях допуски не центрувальних діаметрів.

Приклади позначення шліцьового прямобічного з'єднання на кресленні:

для з'єднання: $D - 8 \times 42 \times 48 \frac{H8}{h7} \frac{F8}{e8}$;

для втулки: $D - 8 \times 42 \times 48 H8 \times 8 F8$;

для вала: $D - 8 \times 42 \times 48 h7 \times 8 e8$.

Читається так: для з'єднання — шліцьове прямобічне з'єднання, центрування за D , з параметрами

$b = 8$ мм; $d = 42$ мм, $D = 48$ мм. Посадка за $D = 48 \frac{H8}{h7}$, а по $b = \frac{F8}{e8}$;

для втулки — шліцьова прямобічна втулка, центрована за D , з параметрами і полями допусків $b = 8F8$, d — не центрується, $D = 48H8$;

для вала — шліцьовий прямобічний вал, центрований за D , з параметрами і полями допусків $b = 8e8$, d — не центрується, $D = 48h7$.

Для забезпечення взаємозамінності шліцьових валів і втулок їх перевіряють комплексними прохідними шліцьовими калібрами: шліцьовий вал — кільцем (рис. 13.6, а), отвір — пробкою (рис. 13.6, б). Допуски на елементи комплексних калібрів для шліцьових прямобічних з'єднань передбачені СТ СЕВ 355—76. Поелементний контроль за D , d і b здійснюють непрохідними калібрами або вимірювальними пристроями. У спірних випадках контроль із застосуванням комплексного калібру є вирішальним.



Рис. 13.6. Шліцьові калібри: а — кільце; б — пробка

Евольвентні шліцьові з'єднання

За зовнішнім і внутрішнім діаметрам шліцьових деталей з евольвентним профілем зуба поля допусків і посадки відповідно до ГОСТ 6033—80 задають за ГОСТ 25347—82. На ширину западин і товщину зуба вала установлені спеціальні поля допусків, позначувані (для відрізнення від звичайних полів допусків для гладких з'єднань) спочатку числом, що показує ступінь точності, а потім літерою основного відхилення.

Примітка*: поля допусків переважні для рухомих з'єднань.

Поля допусків на розмір між боковими поверхнями западин втулки і зубів вала задані трьома відхиленнями (рис. 13.7):

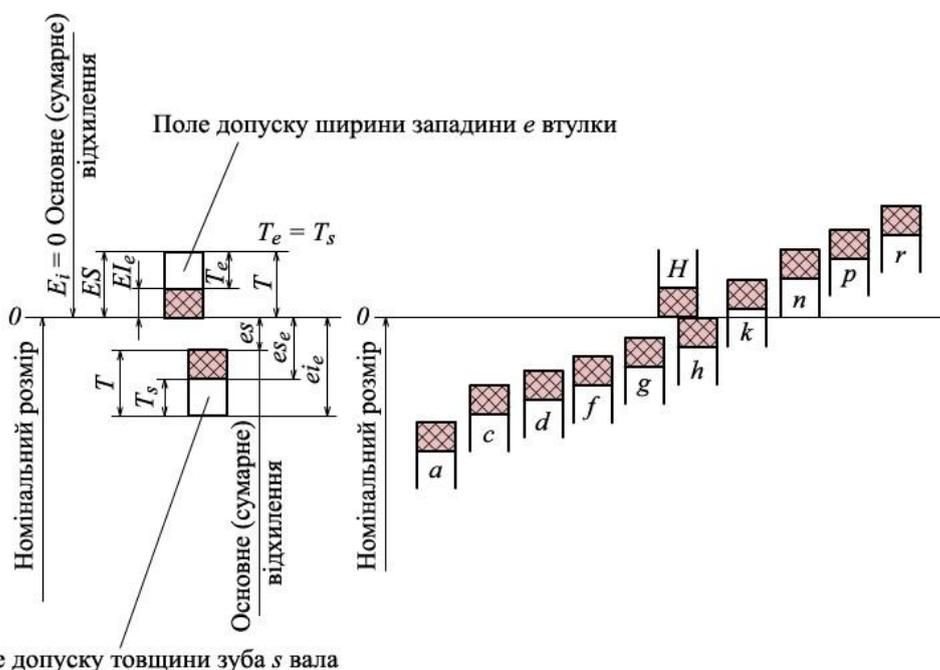
E_S і e_s — верхні відхилення, які визначають верхню границю повного (сумарного) допуску T ;

E_Ie і e_{Ie} — відхилення, які визначають нижню границю тієї частини T_e або T_s загального допуску, що призначена для відхилень власне розміру;

E_I і e_i — нижні відхилення сумарного допуску.

На кресленнях деталей зазначають лише граничні відхилення поля допуску T_e (T_s), а нижнє сумарне відхилення використовують як початок відліку відхилень при проектуванні робочої частини комплексних калібрів.

На правій частині рис. 13.15 проілюстровано відносне розташування установлених стандартом основних відхилень деталей і відносне розташування допусків розміру (світлі поля), і допусків форми і



розташування (заштриховані поля). По ширині западини втулки передбачено одне відхилення H .

Рис. 13.7. Поля допусків евольвентного шліцьового з'єднання

Умовне позначення евольвентних шліцьових з'єднань містить значення номінального діаметра з'єднання D , модуля m , позначення посадки з'єднання (полів допусків вала і втулки), які ставлять після розмірів центрувальних елементів, і в кінці — номер стандарту.

Наприклад:

$50 \times 2 \times \text{ГОСТ 6033—80}$ — умовне позначення з'єднання $D = 50$ мм, $m = 2$ мм з центруванням побічних сторонах зубів і посадкою ;

$50 \times 2 \times 9\text{H}$ ГОСТ 60330—80 — те

саме, для втулки; $50 \times 2 \times 9\text{g}$ ГОСТ

6033—80 — те саме, для вала;

$50 \times 2 \times \text{ГОСТ 6033—80}$ — умовне позначення з'єднання тих самих розмірів з центруванням позовнішньому діаметру і посадкою за ГОСТ 25347—82;

$i50 \times 2 \times \text{ГОСТ 6033—80}$ — те саме, при центруванні по внутрішньому діаметру. При центруванні з'єднання по діаметру D або d поля допусків по ширині западини втулки і товщині зуба вала обумовлені в ГОСТ 6033—80 і в умовному позначенні не зазначаються.

Контроль елементів евольвентних шліць може здійснюватися засобами, передбаченими для зубчастих коліс. Товщину окремих зубів валів і ширину окремих западин отвору перевіряють опосередковано за допомогою роликів (рис. 13.8). Вимірявши розмір M_B або M_A , порівнюють його з табличними значеннями при номінальних розмірах зовнішнього діаметра з'єднання і визначають відхилення по товщині зуба або ширині западини.

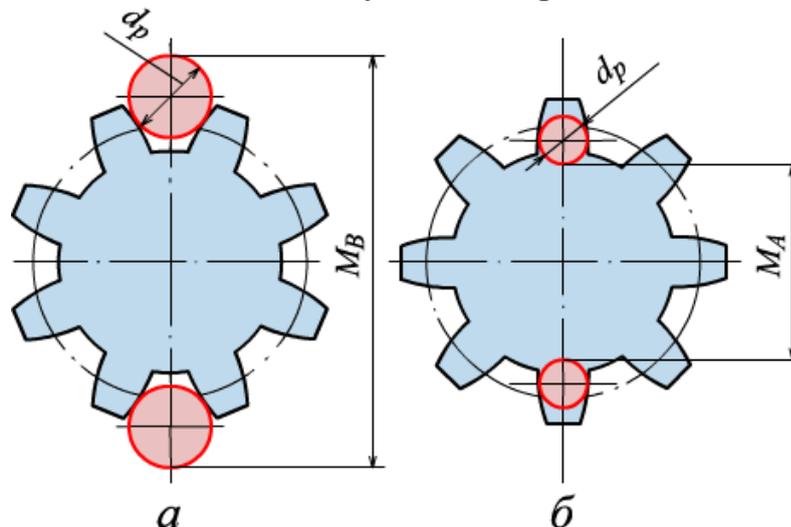


Рис. 13.8. Схема контролю евольвентних шліць за допомогою роликів: а — зовнішніх шліць; б — внутрішніх шліць

Для контролю сумарних відхилень по товщині всіх зубів валів і ширині западини отворів застосовують комплексні прохідні шліцьові калібри —

кільця і пробки (рис. 13.9). Сумарні відхилення складаються з дійсних відхилень по товщині зубів і ширині западини і похибок профілю і розташування зубів. Для контролю лише зовнішнього діаметра вала або лише внутрішнього діаметра отвору використовують універсальні вимірювальні засоби або граничні калібри-скоби і пробки (рис. 13.10). Граничні калібри можна застосовувати і для перевірки товщини зубів і ширини западин замість контролю їх за допомогою роликів.

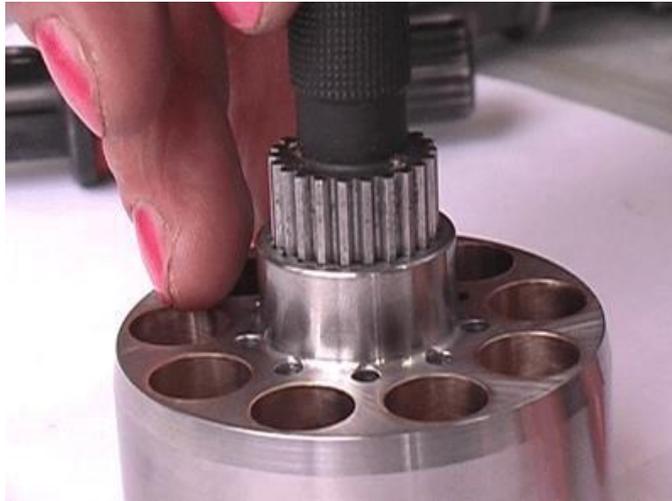


Рис. 13.9. Контроль шліцьових отворів комплексним прохідним шліцьовим калібром-пробкою

Рис. 13.10. Граничний калібр-пробка для контролю внутрішнього діаметра отвору деталі

Контрольні запитання та завдання

1. Які вам відомі типи шпонкових з'єднань?
2. Які ви знаєте групи посадок шпонкових з'єднань?
3. Умовні позначення посадок шпонкових з'єднань на кресленнях.
4. Назвіть параметри прямобічних шліцьових з'єднань. Які види центрування деталей застосовують у машинобудуванні?
5. Назвіть поля допусків переважного застосування для прямобічних шліцьових валів і втулок.
6. Назвіть параметри евольвентного шліцьового з'єднання і види центрування цих з'єднань.

7. Які калібри застосовують для контролю шпонкових і шліцьових з'єднань?

Лекція №14 Допуски та засоби вимірювання зубчастих коліс і передач

1. Основні елементи зубчастих коліс і передач. Експлуатаційні вимоги до зубчастих передач

2. Допуски зубчастих передач

3. Похибки та засоби вимірювання зубчастих коліс

У переважній більшості машин широко застосовуються зубчасті передачі, які поділяються на циліндричні з паралельно розташованими осями, конічні з осями, що перетинаються (рис. 14.1).

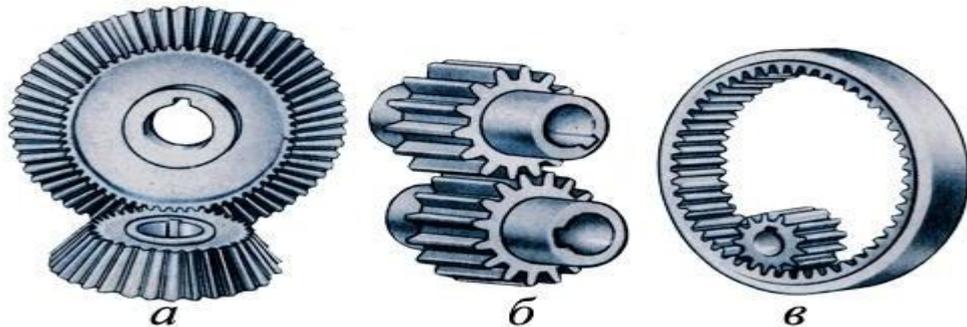


Рис. 14.1. зубчасті передачі:

а — з циліндричними зубчастими колесами з зовнішнім зачепленням зубів; б — з циліндричними зубчастими колесами з внутрішнім зачепленням зубів; в — з конічними зубчастими колесами

За розташуванням зубів зубчасті колеса поділяються на прямозубі, косозубі, шевронні. За профілем зубів — на евольвентні, циклоїдальні, за дугами кола тощо.

Найбільшого поширення набули зубчасті зачеплення з евольвентним профілем зуба. Крива лінія, що створює профіль зуба, називається евольвентою і створюється при обкатуванні без ковзання прямої лінії по колу з діаметром D (рис. 14.2).

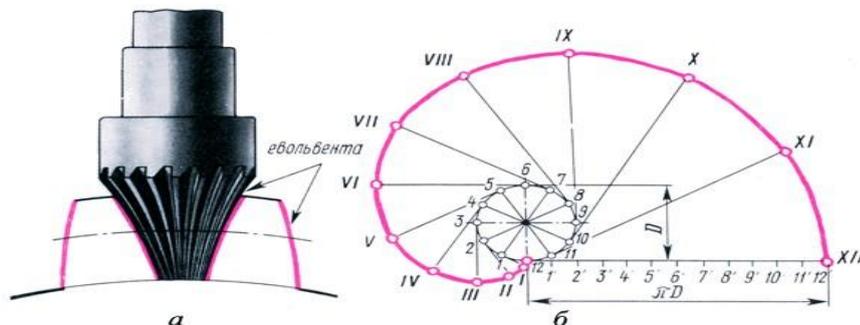


Рис. 14.2. Евольвента:

а — профілі зубів коліс і зуборізний інструмент, виконані по евольвенті; б — створення евольвенти

Більшість зубчастих передач машин і механізмів залежно від призначення можна поділити на такі групи.

Відлікові передачі входять до складу точних кінематичних кіл вимірювальних пристроїв (годинники, індикатори годинникового типу, важільно-зубчасті вимірювальні головки), лічильно-розв'язувальних механізмів, відстежувальних систем, ділильних механізмів пристроїв, верстатів тощо.

Зазвичай зазначені передачі працюють при малих навантаженнях і низьких швидкостях. Основна експлуатаційна вимога — висока точність і узгодженість кутів повороту веденого і ведучого коліс, тобто висока кінематична точність. Найчастіше це невеликі зубчасті колеса малого модуля з незначною довжиною зуба.

Швидкісні передачі входять до складу кінематичних кіл різних коробок передач, редукторів турбін, двигунів тощо.

Працюють при високих швидкостях (до 120 м/с) і досить великих потужностях. За цих умов основною вимогою до зубчастої передачі є плавність роботи, тобто безшумність і відсутність вібрацій. Безумовно, важливою є також повнота контакту зубів. Головним чином, це передачі із зубчастими колесами середніх розмірів.

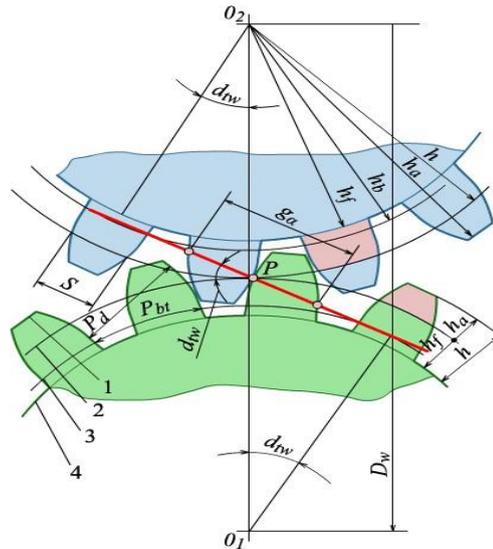
Силові передачі працюють у передавальних механізмах вантажопідійомних, землерийних, будівельних і дорожніх машин, конвеєрів, ескалаторів, механічних вальців тощо.

Вони передають значні зусилля при невисоких швидкостях. Основна вимога — повнота контакту зубів, особливо по довжині зуба. Зазвичай це колеса великого модуля, часто з великою довжиною зуба.

Окрему групу створюють *передачі загального призначення*, до яких не висувають підвищені експлуатаційні вимоги за жодним із трьох розглянутих напрямків.

Для регламентації точності окремих видів зубчастих передач (циліндричних, конічних та інших з нормальними модулями й окремо дрібномодульних) створено системи допусків саме на передачі, а не на окремі зубчасті колеса, оскільки точність зубчастих передач як самостійних ланок машини або механізму залежить не лише від точності зубчастих коліс, які входять у зачеплення, але й і від точності розташування осей у корпусах.

Розглянемо основні параметри й елементи зубчастого колеса і передачі



з евольвентним профілем зуба, їх найменування і позначення (рис. 14.3).

Рис. 14.3. Параметри евольвентного зубчастого колеса і передачі: 1 — коло вершин; 2 — ділильне коло; 3 — основне коло; 4 — коло западин

- *Основне коло* — коло, розгортання якого дає евольвенту профілю зуба колеса.
- *Крок зубів* — дуга ділильного кола, розташована між однойменними профілями двох сусідніх зубів.
- *Ділильне коло колеса* — коло, що розділяє крок зубів на дві однакові частини, на зуб і западину.
- *Модуль t* — частина ділильного кола, що припадає на один зуб колеса.
- *Боковий зазор* — відстань між неробочими профілями зубів коліс, що знаходяться в зачепленні.
- *Довжина спільної нормалі колеса* — відстань між двома паралельними площинами, які дотикаються двох різнойменних бокових поверхонь різних зубів колеса.

Вимоги до зубчастих передач залежно від їх призначення і експлуатаційних умов різні.

У відлікових системах, ділільних машинах, гвинторізних і зуборізних верстатах тощо основна вимога висувається до кінематичної точності, тобто до сталості передавального відношення за повний оберт. У передачах, призначених для високих швидкостей, а також безшумних (наприклад, в автомашинах) основна вимога висувається до плавності роботи, тобто коливанню передавального відношення в кожен момент зачеплення. У передачах, застосовуваних у різних лебідках, підйомно-транспортних механізмах, металургійних машинах тощо, потрібне добре прилягання

бокових поверхонь.

Залежно від умов роботи змінюються вимоги до бокового зазору. Так, якщо передача має прямий і зворотний хід, тобто працює з реверсуванням, то боковий зазор має бути маленьким задля уникнення ударів при зміні напрямку обертання. Більш значний зазор потрібен, якщо передача працює при високій температурі (щоб не було заклинювання зубів), а також при відносно великій різниці температур коліс і корпусу механізму.

Розглянемо детальніше зміст цих вимог.

Кінематична точність характеризується величиною відхилення кута повороту зубчастого колеса, виявленою за один повний його оберт (рис. 9.4). Різниця між номінальним, повним кутом оберту і дійсним кутом оберту і називається кінематичною похибкою колеса F'_{ir} , а за нею і характеризується кінематична точність цього колеса.

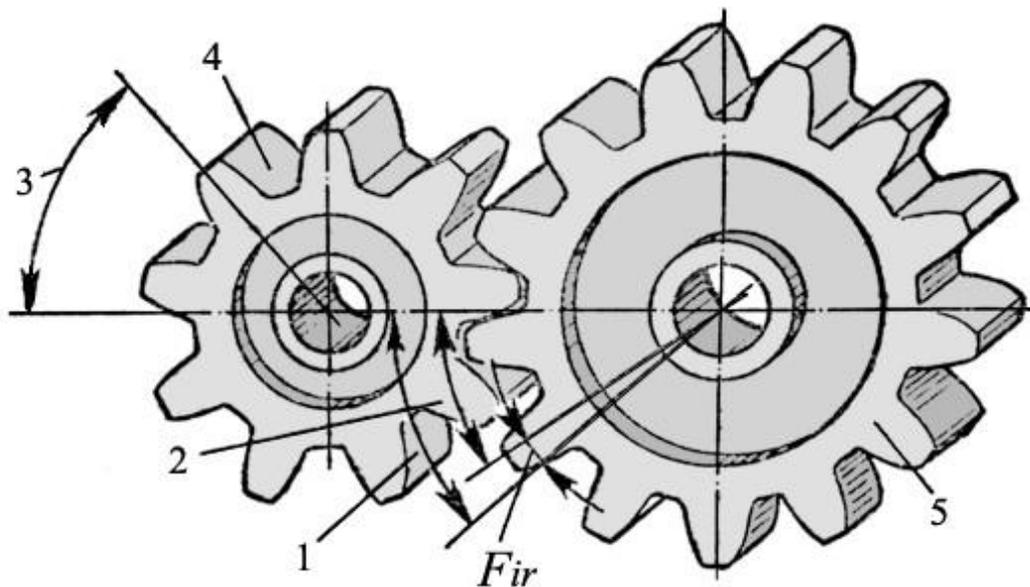


Рис. 14.4. Кінематична похибка колеса:

1 — дійсний кут повороту контрольованого колеса; 2 — номінальний кут повороту контрольованого колеса; 3 — дійсний кут повороту вимірювального колеса; 4 — вимірювальне колесо; 5 — контрольоване колесо; F'_{ir} — кінематична похибка контрольованого колеса

Кінематична точність важлива для ділільних передач металонарізних верстатів, у механізмах лічильно-розв'язувальних машин тощо.

Плавність роботи зубчастого колеса характеризується неточністю кута повороту колеса, інакше кажучи, тією ж кінематичною похибкою, однак такою, яка виявилася багатократно впродовж одного оберту колеса, тобто показує, що в межах одного оберту колесо обертається ривками, а не плавно.

Повнота контакту робочих поверхонь зубів (рис. 14.5) характеризується відношенням величини поверхні плями контакту, отриманого на зубі при роботі передачі, до всієї робочої поверхні зуба. Величина відношення обчислюється (у відсотках):

окремо по довжині $(a - c) / b \cdot 100$; окремо по висоті $h_{\text{ср}} / h_3 \cdot 100$, де a — загальна довжина плями контакту; c — сума довжин просвітів у плямі
 b — ширина зуба,
 $h_{\text{ср}}$ — середня висота плями, h_3 — робоча висота зуба.

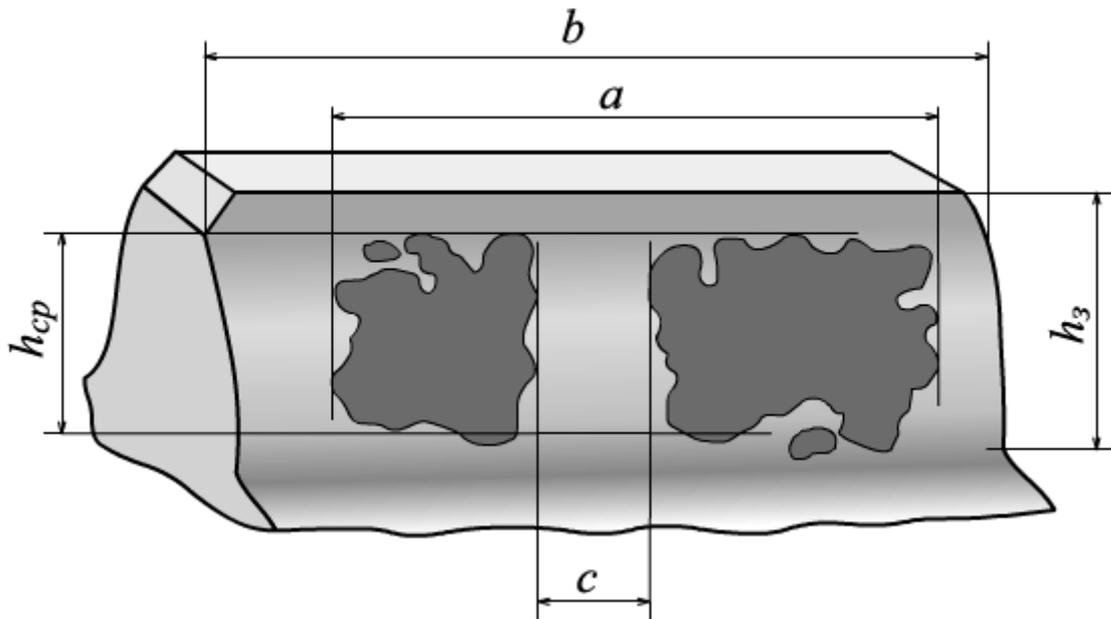


Рис. 14.5. Пляма контакту
Допуски зубчастих передач

Систему допусків циліндричних зубчастих передач, у тому числі терміни, визначення і позначення, викладено в ГОСТ 1643—81, який поширюється на евольвентні передачі зовнішнього і внутрішнього зачеплення з прямими, косозубими і шевронними зубчастими колесами з ділільним діаметром до 6300 мм, шириною зубчастого вінця або напівшеврона до 1250 мм, модулем зубів 1...55 мм, з вихідним контуром за ГОСТ 13755—81 незалежно від методу отримання бокових поверхонь зубів.

Для зубчастих коліс і передач встановлено дванадцять ступенів точності, позначуваних у порядку спадання точності арабськими цифрами від 1 до 12. Ступені 1 і 2 поки не мають установлених норм і є резервними для подальшого розвитку. Розрахунковим ступенем точності є шостий, тобто всі допуски розраховують для нього, а числові значення допусків інших ступенів визначають множенням на коефіцієнти переходу. Ступені точності 3...5 використовують для вимірювальних зубчастих коліс, зуборізного

інструменту і в передачах прецизійних машин і механізмів; 6, 7 — у відповідальних передачах верстатів, автомобілів, літаків тощо; 8, 9 призначають на колеса зубчастих передач середньої точності в загальному машинобудуванні; 10...12 задають для маловідповідальних передач.

Для кожного ступеня точності передбачено три групи показників незалежних норм: норми кінематичної точності, норми плавності роботи, норми контакту зубів коліс у передачі.

Норми кінематичної точності визначають величину повної похибки кута повороту зубчастих коліс за оберт і містять вимоги до таких параметрів і елементів колеса, які впливають на помилки передавального відношення за повний його оберт.

Норми плавності роботи визначають величину складових повної похибки кута повороту зубчастого колеса, багатократно повторюваних за оберт колеса. Вони містять вимоги до таких параметрів і елементів колеса, які впливають на зміну передавального відношення, що виникає багато разів за оберт колеса.

Норми контакту визначають повноту прилягання бокових поверхонь сполучуваних зубів коліс у передачі. Вони містять вимоги до таких параметрів і елементів колеса, які впливають на величину поверхні дотикання сполучуваних зубів.

Випадки, коли в якійсь передачі потрібно робити колеса з однаковою точністю за всіма трьома нормами, вкрай рідкі. Найчастіше трапляється, коли один або два показники точності є основними, а інші менш важливі. Тому, коли в передачі вимоги по всіх показниках є однаковими, то для всіх трьох видів норм застосовується однаковий ступінь точності. Коли ж необхідно за якимось показником надати точніші норми, то дозволяється комбінувати, тобто призначати різні ступені точності по різних нормах.

Допуски на боковий зазор.

Боковий зазор — відстань між неробочими сторонами зубів зчеплених коліс передачі (рис. 14.6).

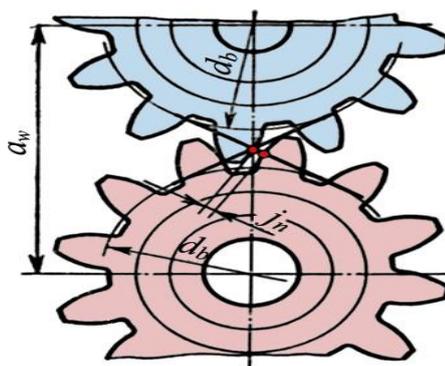
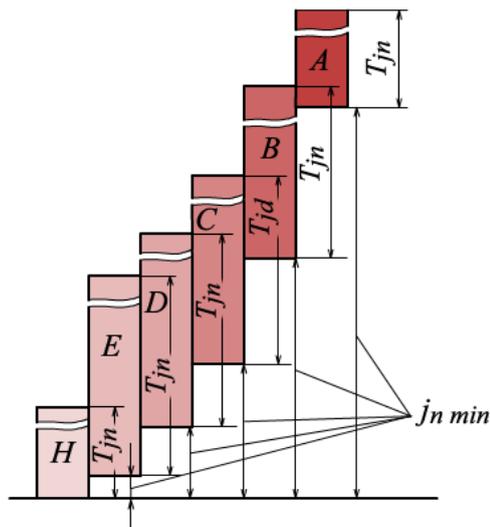


Рис. 14.6. Зображення бокового зазору в передачі

Величина бокового зазору досить значна, необхідна в передачах, які працюють в умовах, коли всередині них високі температури, а ззовні — низькі. Необхідні незначні величини бокового зазору і в передачах, які часто змінюють напрямок обертання (реверсивні передачі).

У ГОСТ 1643—81 встановлено низку величин гарантованого бокового зазору $J_n \min$ (рис. 14.7) і введено шість видів сполучень по боковому зазору, які позначені великими літерами H, E, D, C, B, A в порядку зростання величини зазору. Суттєвий вплив на величину гарантованого бокового зазору чинять відхилення міжосьової відстані a_w зубчастих коліс. Тому крім допусків на параметри зубчастого колеса, які впливають на величину



бокового зазору, ГОСТ встановлює окремі класи відхилень міжосьової відстані. Таких класів шість і позначаються вони римськими цифрами від I до VI у міру зменшення точності.

Рис. 14.7. Види сполучень бокового зазору

Усі названі залежності та норми — види сполучень H, E, D, C, B, A і класи відхилень міжосьової відстані від I до VI визначають величину гарантованого найменшого бокового зазору $J_n \min$ (рис. 9.7). Відхилення бокового зазору в плюс до величини $J_n \max$ допускається, й особливо установлені види допусків власне бокового зазору. Ці види допусків позначаються малими літерами латинського алфавіту h, d, c, b, a, z, y, x у міру збільшення допуску бокового зазору.

Можна вважати, що застосований у ГОСТі термін «вид сполучення» за змістом є близьким до терміна «посадка», що використовується в гладких з'єднаннях.

Умовне позначення зубчастого колеса

Застосовують як повні, так і стислі умовні позначення зубчастого колеса. У повному позначенні зубчастого колеса або передачі містяться такі

дані:

- ступінь кінематичної точності; ступінь точності плавності роботи;
- ступінь точності повноти контакту зубів;
- вид сполучення в боковому зазорі;
- вид допуску бокового зазору;
- клас відхилення міжосьової відстані зубчастої передачі;
- найменша гарантована величина бокового зазору.

Приклад. На кресленні є напис: 8-7-6-Va/V-128 ГОСТ 1643—81. Це читається так: зубчасте колесо повинно мати кінематичну точність 8-го ступеня точності, плавність роботи 7-го ступеня точності, повноту контакту 6-го ступеня точності, боковий зазор із видом сполучення V і видом допуску a, міжосьова відстань з допуском за V класом точності і найменшим гарантованим боковим зазором величиною 128 мкм.

У найбільш стислому позначенні на кресленні може бути зазначено: 8-С ГОСТ 1643—81. Можна на кресленні зустріти і таке позначення: 8-N-6-V ГОСТ 1643—81. Це означає, що для цієї передачі вимоги до плавності роботи функціонально не мають значення і конструктор їх не оговорює.

Показники і параметри кінематичної точності

Найбільша кінематична похибка зубчастого колеса F'_{ir} — різниця між номінальним повним кутом оберту і дійсним кутом повороту колеса, веденого вимірювальним колесом (рис. 14.8).

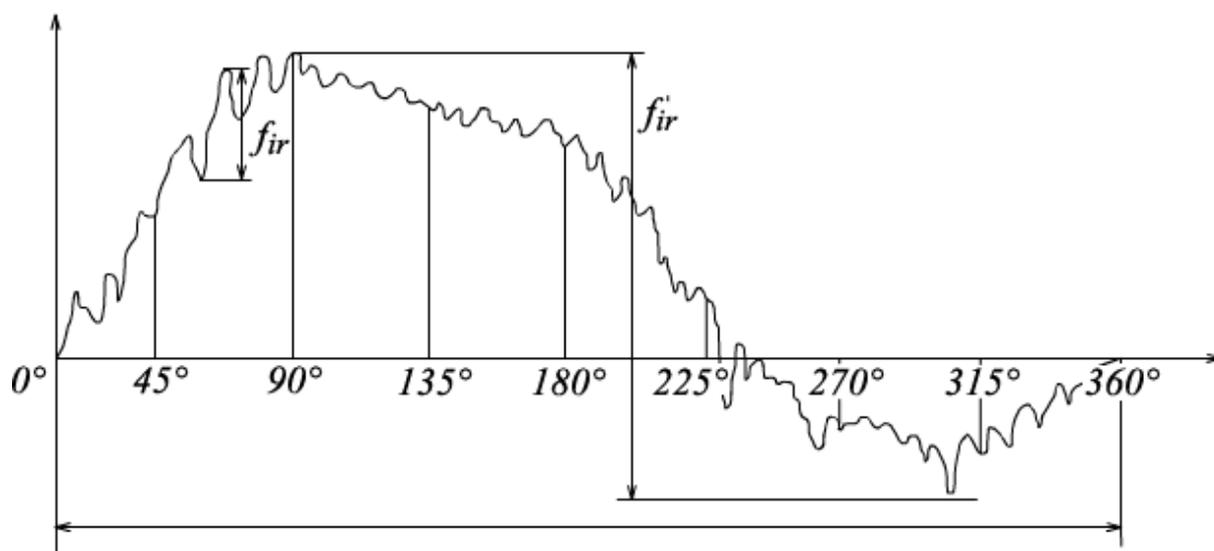


Рис. 14.8. Графік кінематичної похибки

Ця похибка вимірюється пристроями для комплексного однопрофільного вимірювання (рис. 14.9).

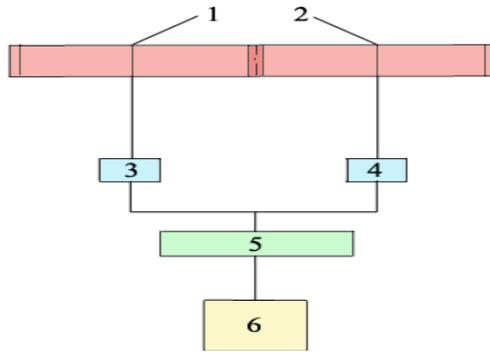


Рис. 14.9. Схема пристрою для комплексної однопрофільної перевірки кінематичної похибки:

1 — контрольоване колесо; 2 — вимірювальне колесо; 3, 4 — датчики кутів повороту; 5 — пристрій для порівняння величини кутів повороту; 6 — реєстратор

Контрольоване зубчасте колесо 1 зчеплене з вимірювальним колесом 2 (вимірювальним зубчастим колесом називають колесо, виготовлене на інструментальному заводі спеціально для вимірювальних цілей; воно служить зразком точності по всіх показниках і параметрах). На оправках обох коліс закріплені датчики 3 і 4 кутів повороту. Кожен із датчиків подає сигнал при визначеній величині кута повороту. Сигнали цих датчиків надходять у пристрій 5, який порівнює величини кутів поворотів обох оправок, тобто коліс. При відхиленні кутів порівнювальний пристрій 5 надсилає сигнал з обчисленою величиною розузгодження за повний оберт у реєстратор 6, який показує величину розузгодження числом у цифровому вікні або записує на стрічці самописця.

Накопичена похибка K кроків зубчастого колеса F_{prKr} — найбільша різниця окремих значень кінематичної похибки (рис. 14.10), що виявилася при номінальному повороті на K цілих кутових кроки.

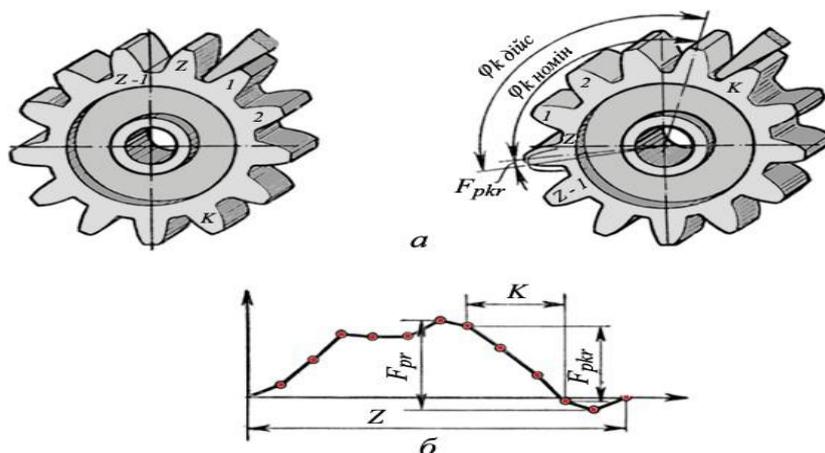


Рис. 14.10. Накопичена похибка K кроків: а — зображення; б — графік накопиченої похибки K кроків

Вимірювання виконують на тому самому пристрої, визначаючи кінематичну похибку для зуба К.

Коливання довжини загальної нормалі F_{vw} . Довжиною загальної нормалі W називається відстань між двома паралельними площинами, що дотикаються до двох різнойменних бокових поверхонь різних зубів колеса (рис. 14.11).

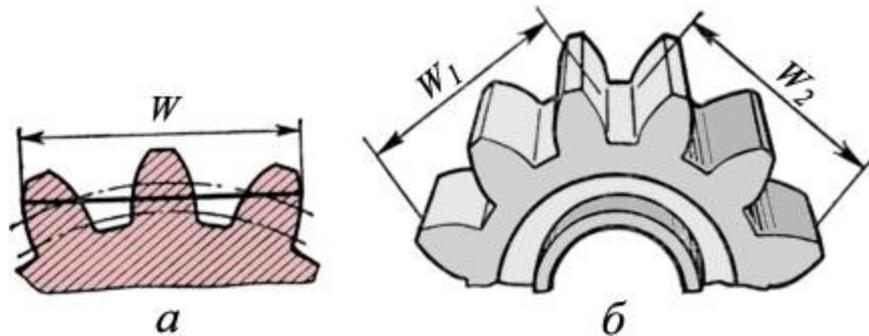


Рис. 14.11. Довжина загальної нормалі:
а — зображення довжини; б — коливання довжини

Коливання довжини загальної нормалі F_{vw} вимірюють на різних ділянках зубчастого вінця колеса за допомогою штангенциркуля ШЦ-П або зубомірного мікрометра (рис. 14.12) або нормалеміром.

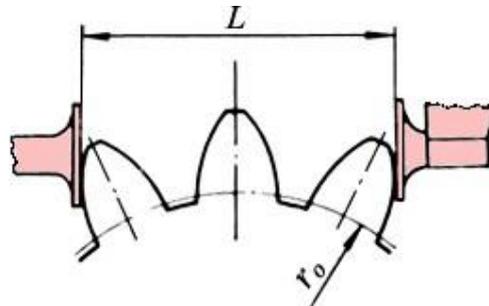


Рис. 14.12. Схема вимірювання довжини загальної нормалі зубомірним мікрометром
Коливання вимірювальної міжосьової відстані за оберт колеса F''_{ir} .

Вимірювальною міжосьовою відстанню називають таку відстань між осями двох зчеплених зубчастих коліс, яку отримують, коли одне із коліс щільно притиснуто до іншого так, щоб зуби зчеплених коліс стикалися обома сторонами профілю.

Таке зачеплення називається двопрофільним, а метод вимірювання — комплексним двопрофільним.

Для вимірювання коливання цієї відстані застосовують пристрій, який називають міжцентроміром (рис. 14.13). Основа міжцентроміра являє собою

станину 4, напрямними якої переставний супорт 9 переставляється рукояткою 12 з відліком положення по шкалі 11 і ноніусу 10. У супорті 9 закріплена оправка, на яку надівають вимірювальне зубчасте колесо 8. На протилежному кінці станини 4 на кульках катається рухомий супорт 1, який відтискається пружиною в бік супорта 9. На оправку, розташовану в супорті 1, надівається контрольоване зубчасте колесо 7. Ексцентрик 2 і гвинтом 3 рухомий супорт 1 із самописцем 5 ставлять у середнє положення в його діапазоні катання по станині, а по його торцю встановлюють на «0» вимірювальну головку 6.

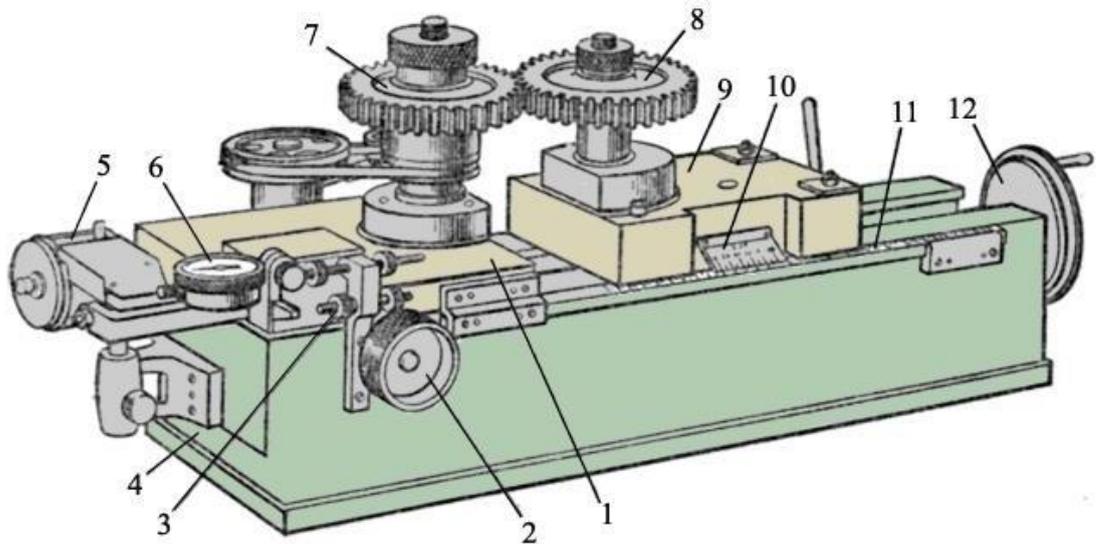


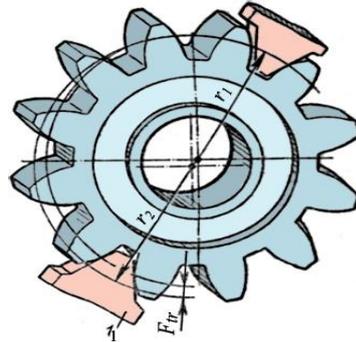
Рис. 14.13. Міжцентромір:

1 — рухомий супорт; 2 — ексцентрик; 3 — гвинт; 4 — станина; 5 — самописець; 6 — вимірювальна головка; 7 — контрольоване зубчасте колесо; 8 — вимірювальне зубчасте колесо; 9 — супорт переставний; 10 — ноніус; 11 — шкала; 12 — рукоятка

За максимальною величиною коливання стрілки в межах повороту контрольованого колеса на один зуб роблять висновок про коливання вимірювальної міжосьової відстані f'_{ig} на одному зубі, а за максимальною величиною коливання стрілки в межах повного повороту контрольованого колеса — про коливання вимірювальної відстані F'_{ig} у межах повного оберту колеса.

Параметр F''_{ig} є показником кінематичної точності контрольованого колеса, а параметр f''_{ig} — показником плавності роботи контрольованого колеса.

Радіальне биття зубчастого вінця F_{rr} — найбільша в межах зубчастого колеса різниця відстаней від робочої осі цього колеса до



елемента вихідного контуру, накладеного на профіль зубів цього колеса.

Рис. 14.14. Радіальне биття зубчастого вінця (коливання елемента вихідного контуру, накладеного на зубчастий вінець)

Для вимірювання радіального биття зубчастого вінця застосовують биттеміри, у яких між зубчастим колесом і відліковою головкою розташовують рухомий стрижень з виступом 5. На торці стрижня закріплений вимірювальний наконечник 2 з конусом 40° . Наконечник упирається в западину колеса, а виступ передає це положення вимірювальному наконечнику відлікової головки 4; потім стрижень 3 відводиться від западини зуба і від відлікової головки зубчасте колесо повертається на один зуб (або на задану кількість зубів вінця), рухомий стрижень надсилається вперед до упору наконечника в наступну западину тощо.

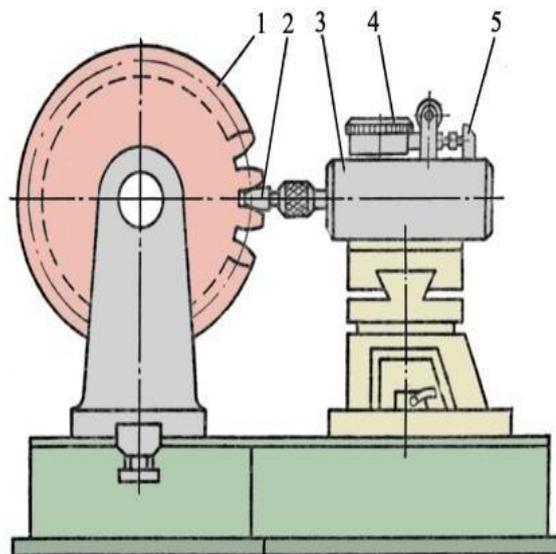
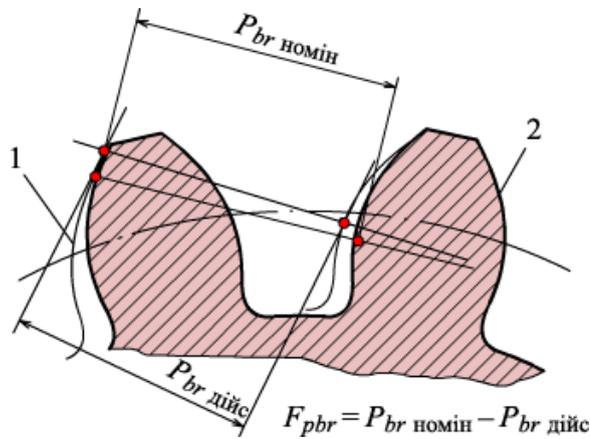


Рис. 14.15. Биттемір:

1 — зубчасте колесо; 2 — вимірювальний наконечник; 3 — стрижень; 4 — відлікова головка; 5 — виступ

Показники і параметри плавності роботи зубчастого колеса
 Відхилення кроку зачеплення f_{pbr} — це найкоротша відстань між



двома паралельними площинами, що дотикаються до двох однойменних бокових поверхонь сусідніх зубів колеса.

Рис. 14.16. Відхилення кроку зачеплення

Відхилення кроку зачеплення f_{pbr} — це різниця між дійсним і номінальним кроками зачеплення.

Крок зачеплення P_{br} вимірюють накладним крокоміром для кроку зачеплення (рис. 14.17).

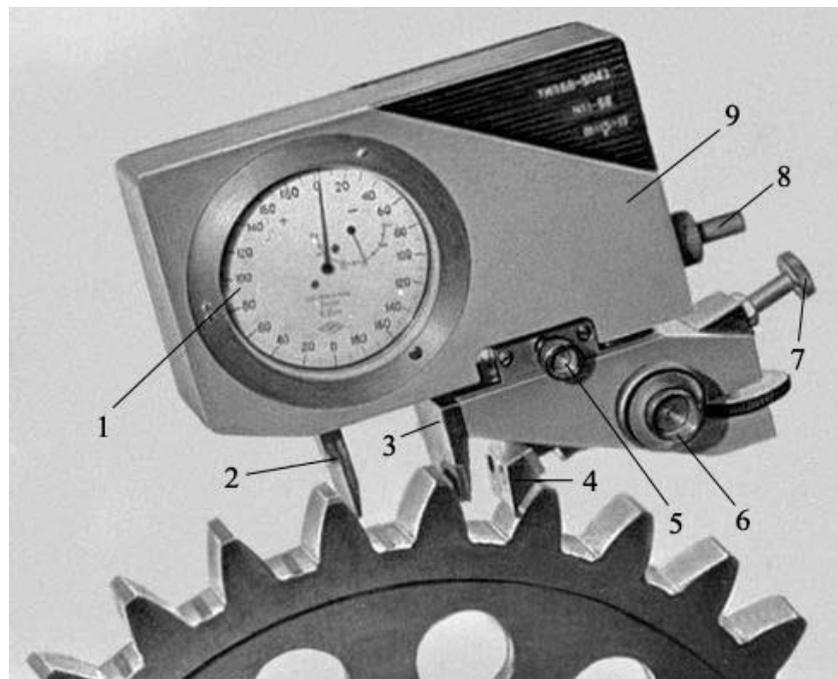


Рис. 14.17. Крокомір кроку зачеплення:

1 — відлікова головка; 2 — рухомий наконечник; 3 — переставний наконечник; 4 — опорний наконечник; 5, 6 — затискач; 7, 8 — гвинт; 9 — корпус

Основою цього крокоміра є корпус 9. Крокомір має три наконечники: рухомий наконечник 2, з'єднаний з вимірювальним наконечником відлікової головки 1 МИГ, вбудованої в корпус 9; переставний наконечник 3 з широкою вимірювальною поверхнею, що переставляється гвинтом 8 і закріплюється затискачем 5; опорний наконечник 4, що переставляється гвинтом 7 і закріплюється затискачем 6.

Крокоміри зачеплення виготовляють трьох типорозмірів із загальним діапазоном вимірювання зубчастих коліс з модулями від 1,75 до 28 мм.

Похибка профілю зуба f_{fr} .

Похибка профілю f_{fr} зуба — це відстань, виміряна по нормалі між найближчими номінальними профілями зуба, між якими розташовується дійсний профіль зуба; враховується ця похибка лише на ділянці активного профілю зуба (рис. 14.18).

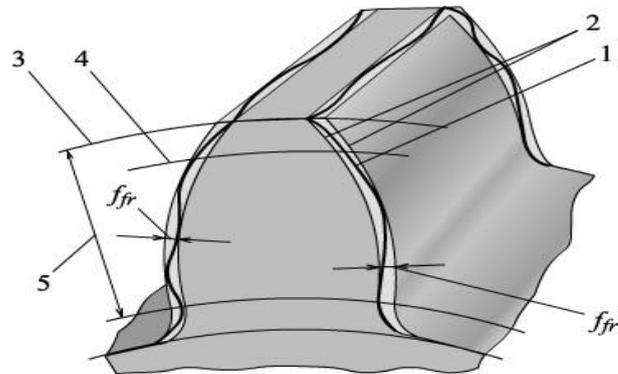


Рис. 14.18. Похибка профілю зуба

Для контролю профілю циліндричних прямозубих і косозубих коліс застосовують вимірювальні пристрої — евольвентоміри (рис. 14.19).

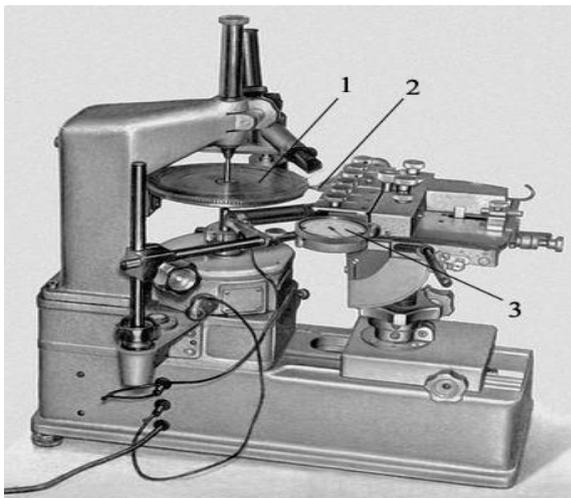


Рис. 14.19. Евольвентомір: 1 — вимірюване колесо; 2 — наконечник; 3 — індикатор

Принцип роботи пристрою заснований на застосуванні еталонного

евольвентного кулака, пов'язаного з віссю обертання перевірюваного зубчастого колеса. Вістря вимірювального наконечника 2 вводиться в западину вимірюваного колеса 1 таким чином, щоб відстань між дотиком наконечника і віссю колеса дорівнювала радіусу початкового кола колеса. При обертанні евольвентного кулака наконечник описує евольвентний профіль. У процесі вимірювання вістря наконечника передає через важільну систему всі похибки профілю на індикатор 3, за показаннями якого роблять висновок про величину відхилень.

Контакт зубів визначається розмірами ділянки прилягання їх бокових поверхонь під час роботи передачі. Погане прилягання призводить до нерівномірного розподілу переданого навантаження по перерізу зубів, місцевим підвищеним контактним напруженням, порушення шару мастильного матеріалу і, як наслідок, прискореного зношування, іноді відшарування поверхневих шарів матеріалу і навіть розкришування зубів. Неповнота контакту зубів є наслідком як похибок самих коліс, особливо за напрямком зуба і профілю, так і похибок монтажу, що виникають через відхилення від паралельності і перекосу робочих осей передачі. Отже, найоб'єктивнішою перевіркою ступеня контакту є контроль зібраної передачі.

Зазначеній умові відповідає комплексний показник — сумарна пляма контакту.

Сумарна пляма контакту — це частина активної бокової поверхні зуба, на якій є сліди прилягання цього зуба до поверхонь зубів парного колеса після обертання цієї передачі під навантаженням.

Під «обертанням під навантаженням» прийнято розуміти припрацювання коліс передачі, яке виконують при виготовленні передач. Розміри сумарної плями контакту оцінюють за його розмірами у відсотках відносно ширини зуба b і висоти активної поверхні зуба h_r .

Миттєва пляма контакту — це частина активної бокової поверхні зуба більшого з пари зчеплених коліс, на якій є сліди прилягання його до зубів меншого колеса після повороту більшого зубчастого колеса на один оберт при легкому гальмуванні.

У практиці машинобудування частіше визначають миттєву пляму контакту і отримують його за допомогою фарби, колір якої добирають так, щоб її чітко було видно на поверхні металу зубчастого колеса.

Одночасно у корпусу передачі мають бути витримані допуски на відхилення від паралельності осей f_{α} і на перекіс осей f_{β} , які контролюють на довжині, що дорівнює робочій ширині вінця або напівшеврона.

У ГОСТ 1643—81 установлені крім названих також такі показники: сумарна похибка контактної лінії F_{α} і відхилення осьових кроків по нормалі

Грхпг. Практичне машинобудування поки не застосовує ці параметри, оскільки промисловістю не випускаються засоби для їх вимірювання.

Показники і параметри бокового зазору

Зуби коліс завжди нарізають з найменшим гарантованим зсувом вихідного контуру E_{Hs} (рис. 14.20). Цей зсув дає гарантований боковий зазор. На цей зсув встановлено допуск T_H , розташований у мінус.

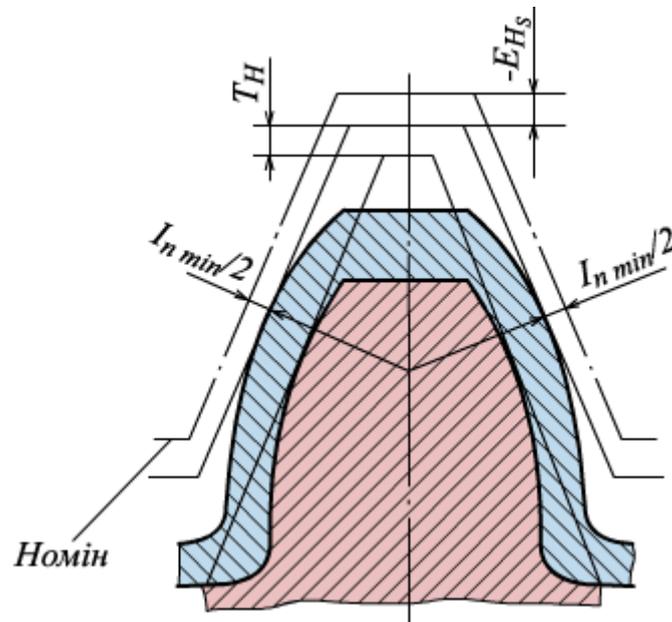


Рис. 14.20. Зсув вихідного контуру зуба

Розглянемо контрольовані параметри бокового зазору і засоби їх вимірювання.

Величина бокового зазору $I_n \min$ вимірюється в зібраній передачі за допомогою щупів або свинцевого дроту, обтиснутого між зубами в їх неробочому просторі при прокручуванні зачепленої пари. Вимірювання товщини, отриманої при обтисненні, виконують гладким мікрометром.

Величина найменшого зсуву вихідного контуру E_H вимірюється зубоміром зсуву (тангенціальним зубоміром) (рис. 14.21). Цей зубомір є широко застосовуваним засобом вимірювання.

Основою зубоміра зсуву є корпус 2, у пазу якого встановлені за допомогою гвинтів 3 і пересуваються вимірювальні губки 1. Ці губки мають вимірювальні площини, розташовані під спільним кутом 40° . Губки переставляються спільним гвинтом 5, що має дві окремі ділянки різі з однаковим кроком, проте різним напрямком гвинтової поверхні (права і ліва різі). Завдяки цьому губки пересуваються одним гвинтом, зберігаючи симетричність відносно осі вимірювального стрижня відлікової головки 4, обладнаної подовженим наконечником.

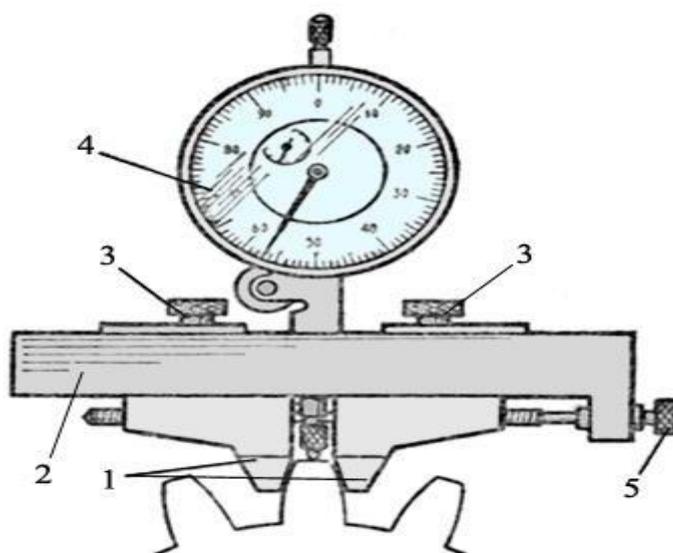


Рис. 14.21. Тангенціальний зубомір:

1 — вимірювальні губки; 2 — корпус; 3 — гвинти; 4 — відлікова головка; 5 — спільний гвинт

Відхилення товщини зуба E_c і допуск на його товщину T_c . Ці показники вимірюються штангензубоміром і індикаторно-мікрометричним зубоміром ЗИМ. Штангензубомір (рис. 9.22) ніби скомпонований з двох штангенінструментів — штангенциркуля і штангенглибиноміра. Він має штангу установки висоти 1 зі шкалою і нерухою губкою 3, на ній рамку з ноніусом 2. На рамці знизу укріплено висотну лінійку 4.

До штанги 1 установки висоти, перпендикулярно їй, укріплено штангу 6 вимірювання товщини зуба, що має шкалу, рамку, ноніус 0,02 мм і рухому губку 5.

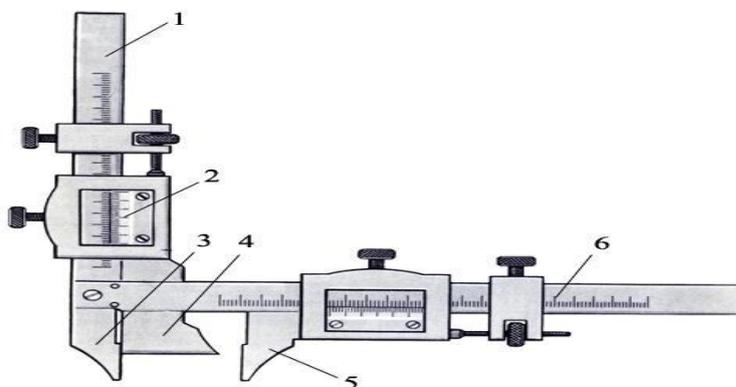


Рис. 14.22. Штангензубомір:

1 — штанга установки висоти; 2 — рамка з ноніусом; 3 — нерухома губка; 4 — висотна лінійка; 5 — рухома губка; 6 — штанга вимірювання товщини зуба

За допомогою універсальних вимірювальних інструментів можна виконувати вимірювання деяких параметрів зубчастих коліс в одиничному і дрібносерійному виробництві.

Контрольні запитання та завдання

1. Які ви знаєте показники і параметри кінематичної точності?
2. Опишіть нормалемір, міжцентромір і биттємір.
3. Які ви знаєте показники і параметри плавності роботи зубчастого колеса?
4. Опишіть крокомір кроку зачеплення і крокомір кроку.
5. Які ви знаєте показники і параметри повноти контакту, плями контакту?
6. Які ви знаєте показники і параметри бокового зазору?

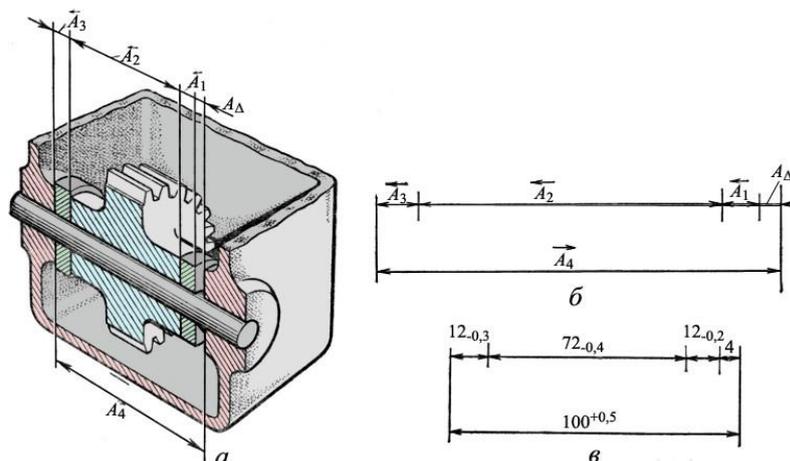
Лекція №15 Основні поняття про розмірні кола

1. Склад розмірного кола
2. Види розмірних кіл
3. Поняття про розрахунок розмірних кіл

Склад розмірного кола

Складання без припасування не може бути забезпечене лише за рахунок взаємозамінності деталей в окремих сполученнях (циліндричних, конічних, нарізних, шліцьових та ін.). Воно буде досягнуте лише при одночасному виконанні заданих на складальні одиниці або виріб технічних вимог. Ними можуть бути, наприклад, строго обмежені осьові зазори між групою змонтованих на валу деталей, радіальний зазор між рейковою шестірнею і рейкою в супорті токарного верстата, незбіг вершин ділильних конусів у зубчастих конічних передачах, обмежене биття центрувальної шийки верстатного шпинделя, допустиме відхилення від паралельності його осі робочої поверхні стола тощо.

Розмірним колом називається сукупність взаємопов'язаних розмірів, які створюють замкнутий контур і визначають взаємне положення поверхонь однієї або декількох деталей.



Розглянемо частину редуктора (рис. 15.1).

Рис. 15.1. Частина розмірного кола в редукторі:

а — розмірне коло в редукторі; б — схема розмірного кола редуктора; в — розміри кілець кола

У корпусі редуктора на валу розташоване зубчасте колесо з шайбами по боках і позначені осьові розміри цих деталей. Тут є група розмірів: товщина шайб A_1 і A_3 , ширина втулки A_2 , відстань A_4 між торцями втулок корпуса. Замикає контур розмір зазору Δ . У цьому випадку маємо замкнутий контур, складений із низки взаємопов'язаних, послідовно межуючих один з одним розмірів, які створюють розмірне коло.

Розміри, які створюють коло, називають кільцями.

Будь-яке розмірне коло складається із складових кілець і одного замикального. Усі кільця функціонально пов'язані з замикальним кільцем.

Замикальне кільце — це кільце, яке отримують останнім при складанні або привиготовленні.

Коли здійснюється розрахунок розмірного кола, то до цього кільця висуваються основні вимоги стосовно точності даного складання або даної деталі. При виявленні розмірних кіл необхідно намагатися скласти їх із мінімально необхідної кількості кілець.

Складові кільця (A_j , B_j тощо) поділяються на збільшувальні та зменшувальні.

Збільшувальними кільцями називають ті, зі збільшенням яких замикальне кільце збільшується, а зменшувальними — ті, зі збільшенням яких замикальне кільце зменшується.

Для безпомилкового визначення збільшувальних і зменшувальних кілець над буквеним позначенням замикальної ланки рекомендується ставити штрихову стрілку вістрям уліво, а потім над усіма складовими ланками стрілки проставляють так, як якщо б вони показували прийнятий напрямок руху в замкнутому контурі кола потоку якогось середовища. Кільця, напрямок стрілок яких збігається з напрямком стрілки замикального кільця (вліво), є зменшувальними; кільця зі стрілками, спрямованими в протилежний бік (вправо), є збільшувальними.

Наприклад, на рис. 15.1 кільця A_1 , A_2 і A_3 є зменшувальними, оскільки при їх збільшенні замикальний коло зазор Δ стане меншим, а от кільце A_4 є збільшувальним, оскільки якщо це кільце збільшиться, то збільшиться і замикальне кільце Δ .

Види розмірних кіл

У машинобудуванні найбільш застосовуваними є дві групи розмірних кіл: — які різняться за місцем у машині — детальні та складальні;

— які різняться за розташуванням кілець у колі — лінійні, кутові, плоскі, просторові. Детальне розмірне коло — це коло, кільцями якого є розміри однієї деталі.

На рис. 15.2 показано два варіанти про ставлення розмірів на кресленні, які відрізняються червоними і синіми розмірними лініями.

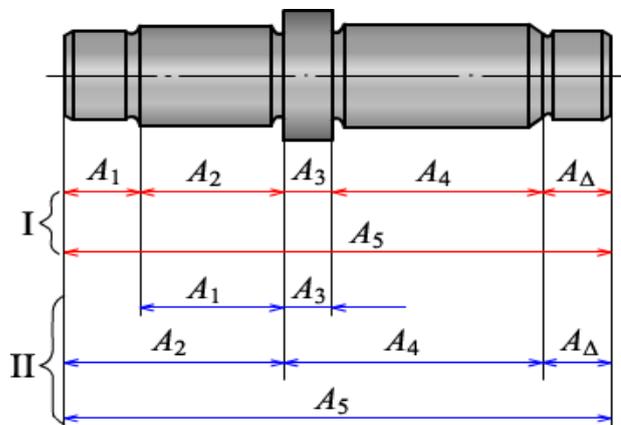


Рис. 15.2. Детальне розмірне коло з більшою і меншою кількістю кілець
Складальне розмірне коло — це коло, кільцями якого є розміри окремих деталей.

Таке коло визначає точність розташування заданих поверхонь даної складальної одиниці або всієї машини. Розмірну схему цього кола подано на рис. 15.3.

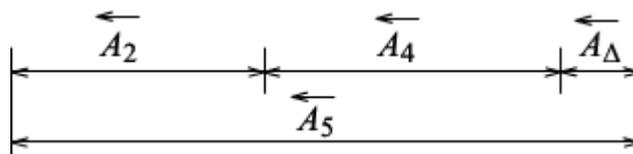


Рис. 15.3. Складальне розмірне коло

Лінійне розмірне коло — це коло, кільцями якого є лінійні розміри, розташовані на паралельних прямих лініях.

Прикладами таких кіл є кола, показані на рис. 15.1 і 15.2, їх розмірні схеми — відповідно нарис. 15.1 б і рис. 15.3.

Кутове розмірне коло — це коло, кільцями якого є кутові розміри, що розташовані в одній площині і мають спільну вершину.

Плоске розмірне коло — це коло, кільцями якого є лінійні і кутові розміри, розташовані в одній або декількох паралельних площинах.

Просторове розмірне коло — це коло, кільцями якого є лінійні і кутові розміри, розташовані в просторі довільно.

Завдання забезпечення точності при конструюванні виробів розв'язується за допомогою конструкторських розмірних кіл, а при виготовленні деталей — за допомогою технологічних розмірних кіл, які виражають зв'язок розмірів оброблюваної деталі у міру виконання

технологічного процесу або розмірів системи ВПД (верстат — пристрій — інструмент — деталь). Коли розв'язується завдання вимірювання величин, які характеризують точність виробу, використовують вимірювальні розмірні кола, кільцями яких є розміри системи вимірювальний засіб — вимірювана деталь.

Поняття про розрахунок розмірних кіл

Основною особливістю розмірних кіл є те, що відхилення від номінальних розмірів кілець, які неминуче отримують при їх виготовленні (хоча ці відхилення і перебувають у межах допусків на розміри кілець), складаються в сумарну помилку, так звану накопичену похибку в колі. Чим більше кілець у розмірного кола, тим більше величина цієї накопиченої похибки, незважаючи на те, що величини допусків на окремі кільця залишаються колишніми.

Для того щоб зменшити величину накопиченої похибки, конструктори, проставляючи розмірів кілець, які входять до розмірного кола (РК), намагаються насамперед зменшити кількість самих кілець.

Для того щоб уникнути неприйнятної величини накопиченої похибки і її шкідливого впливу на точність замикального кільця механізму, виконують розрахунок розмірних кіл.

При розрахунку виконують такі дії: Складають розмірну схему розраховуваного РК.

Перевіряють замкнутість РК. Для цього, обходячи по її контуру, складають рівняння РК за формулою $K_1A_1 + K_2A_2 + \dots + K_nA_n = 0$,

$$(15.1)$$

де $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$ — номінальні розміри кілець РК;

$K_1, K_2, K_3 \dots K_n$ — коефіцієнти, які характеризують розташування кілець кола за їх напрямком і величиною, називані передавальними відношеннями.

У лінійних РК приймають $K = 1$; для зменшувальних кілець K зі знаком мінус, а для збільшувальних кілець — K зі знаком плюс.

Розглянемо рис. 1.1, б (тема 15.1). Для розмірного кола редуктора, виходячи з її лінійного характеру, отримаємо рівняння:

$$A_1 - A_2 - A_3 + A_4 - A = 0.$$

Із рівняння визначаємо Δ :

$\Delta = A_4 - (A_1 + A_2 + A_3)$. Визначають тип задачі розрахунку — пряма або зворотна.

Пряма задача: за заданими номінальними розмірами і допусками

замикального кільця визначити номінальні розміри, допуски і граничні відхилення всіх складових кілець даної РК. Цю задачу розв'язують при конструюванні машини.

Зворотна задача: за заданими номінальними розмірами, допусками і граничними відхиленнями складальних кілець визначити номінальний розмір, допуск і граничні відхилення замикального кільця даного кола. Цю задачу розв'язують під час виготовлення машини і при перевірці правильності виконаного розрахунку РК. Необхідність у розв'язанні зворотної задачі найчастіше виникає в цеху при складанні машини, якщо умови складання не отримують.

Визначають тип задачі розрахунку — пряма або зворотна.

Розмірні кола можна розв'язувати декількома методами (ГОСТ 16320—80):

- метод повної взаємозамінності;
- метод неповної взаємозамінності (розрахунок із застосуванням теорії ймовірності);
- метод групової взаємозамінності;
- метод припасування;
- метод регулювання.

При розв'язанні розмірного кола методом повної взаємозамінності (метод максимуму — мінімуму) потрібна точність замикального кільця РК досягається у всіх без винятку об'єктів при включенні в неї складових кілець без вибору, добору або будь-якої підгонки.

Метод виходить із припущення, що в одному розмірному колі одночасно можуть опинитися всі кільця з граничними значеннями, причому в будь-якому з двох найбільш несприятливих сполучень (всі збільшувальні кільця з верхніми граничними розмірами, а зменшувальні — з нижніми, або навпаки).

При розв'язанні РК методом неповної взаємозамінності потрібна точність замикального кільця РК в умовах безприпасувального складання досягається не у всіх об'єктів, а лише в досить значної заздалегідь обумовленої їх частини.

Цей метод застосовують, коли економічно доцільно призначати ширші допуски на складальні кільця у припущенні, що їх дійсні розміри групуватимуться у більш вузьких границях по одному з імовірнісних законів, і відсоток ризику виходу відхилень замикального кільця за границі поля допуску не перевищить заздалегідь прийнятого значення.

Розв'язання високоточних конструкторських кіл можливе шляхом введення до їх складу кільця-компенсатора. Якщо для досягнення потрібної точності замикального кільця з компенсатора кожного об'єкта видаляють зайвий у

даному випадку шар матеріалу, то це метод припасування. Якщо передбачена можливість змінювати дійсний розмір компенсатора без зняття матеріалу (підбором із ряду заздалегідь виготовлених або пересуванням з подальшою фіксацією), то це метод регулювання

Можливе також застосування методу групової взаємозамінності, при якому точність замикального кільця досягається за рахунок включення в розмірне коло окремих складових кілець, заздалегідь розсортованих за дійсними розмірами на групи.

Приклад розрахунку розмірного кола за методом повної взаємозамінності Розрахувати розмірне коло механізму (рис. 15.1, б).

Розміри кілець РК задані з граничними відхиленнями (рис. 10.1, в) $A_1 = 12-0,3$; $A_2 = 72-0,4$; $A_3 = 12-0,2$; $A_4 = 100+0,5$; $A_{\Delta} = 4,0$.

Перевіряємо замкнутість кола і номінальні розміри кілець, які складають коло, за розмірною схемою і визначаємо величину замикального розміру. $A_{\Delta} = A_4 - (A_1 + A_2 + A_3)$; (10.3)

$$A_{\Delta} = 100 - (12 + 72 + 12) = 4. \quad (10.4)$$

Висновок: коло замкнуте.

Визначаємо тип задачі — задачу задано зворотну, оскільки номінальні розміри, граничні відхилення і допуски розмірів кілець задано за умовою розглянутого прикладу.

Вибираємо метод досягнення потрібної точності замикального кільця. За умовами роботи даного розмірного кола немає потреби у високій точності замикального кільця, а тому застосовуємо метод повної взаємозамінності.

Перевіряємо вибір розрахунком величини допуску замикального кільця.

Для цього визначаємо найбільший граничний розмір замикального кільця A_{Δ}

$$A_{\Delta \max} = \sum_{\text{зб}} A_{\text{зб} \max} - \sum_{\text{зм}} A_{\text{зм} \max},$$

max:

де $A_{\text{зб} \max}$ — найбільші граничні розміри

збільшувальних кілець; $A_{\text{зм} \min}$ — найменші

граничні розміри зменшувальних кілець;

$$A_{\Delta \max} = 100,5 - (11,7 + 71,6 + 11,8) = 5,4.$$

Обчислюємо найменший граничний розмір замикального кільця $A_{\Delta \min}$:

$$A_{\Delta \min} = \sum_{\text{зб}} A_{\text{зб} \min} - \sum_{\text{зм}} A_{\text{зм} \max},$$

де $A_{\text{зб} \min}$ — найменші граничні розміри

збільшувальних кілець; $A_{\text{зм} \max}$ — найбільші

граничні розміри зменшувальних кілець;

$$A_{\Delta \min} = 100 - (12,0 + 72,0 + 12,0) = 4,0.$$

Визначаємо допуск замикального кільця T_{Δ} :

$$T_{\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = (\sum A_{\Sigma \max} - \sum A_{\Sigma \min}) + (\sum A_{\Delta \max} - \sum A_{\Delta \min})$$

$$T_{\Delta} = 5,4 - 4,0 = (100,5 - 100) + [(12,0 + 72,0 + 12,0) - (11,7 + 71,6 + 11,8)]$$

$$T_{\Delta} = 0,5 + 0,9 = 1,4 \text{ мм}$$

Як показало обчислення, замикальне кільце Δ матиме допуск $T_{\Delta} = 1,4$ мм.

Метод припасування

При цьому методі запропонована точність вихідного розміру досягається додатковою обробкою при складанні деталі по одному із задалегідь намічених складових розмірів кола. Тут деталі за всіма розмірами, які входять до кола, виготовляють з допусками, економічно прийнятними для даних умов виробництва. Для того щоб припасування завжди здійснювалося за рахунок задалегідь вибраного розміру, названого технологічним компенсатором, необхідно за цим розміром залишати припуск на припасування, достатній для компенсації величини перевищення вихідного розміру і разом з тим найменший для скорочення обсягу припасувальних робіт.

Спосіб припасування можна застосовувати лише в одиничному і дрібносерійному виробництвах, коли не можна використовувати інші способи забезпечення потрібної точності.

При цьому методі (рис. 15.4) механізм збирають за принципом повної взаємозамінності деталей, які є складовими кільцями, і вимірюють отриманий дійсний розмір A_{Δ} замикального кільця. Потім припасовують (підрізають) розмір A_k останньої деталі (найближчої до A) до такої величини, щоб у складанні отримати розмір A з допуском, який потрібний за кресленням. Очевидно, що попередній розмір A_k виготовляється з відповідним припуском під підрізку.

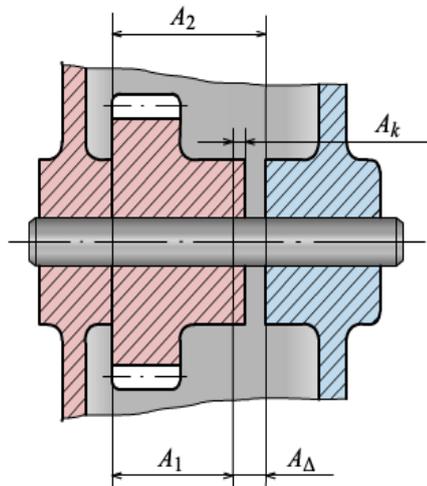


Рис. 15.4. Метод припасування кільця A_k

Метод регулювання

Під методом регулювання розуміють такий розрахунок розмірних кіл, при якому припущена точність вихідного (замикального) розміру досягається навмисною зміною (регулюванням) величини одного із заздалегідь вибраних складальних розмірів, називаного компенсувальним. Роль компенсатора зазвичай виконує спеціальне кільце у вигляді прокладки, регулювального упору, клина тощо, при цьому за всіма іншими розмірами кола деталі обробляють за розкріпленими допусками, економічно прийнятними для даних виробничих умов.

Розглянемо метод регулювання пересувним компенсатором з фіксацією потрібного положення (рис. 15.5).

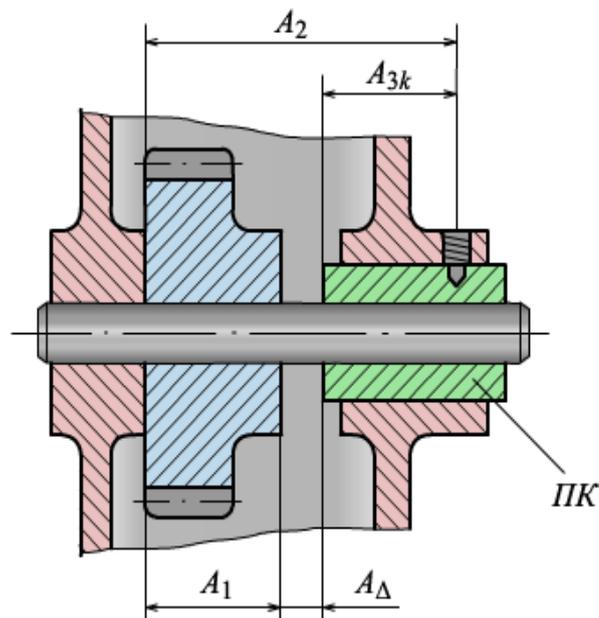


Рис. 15.5. Метод регулювання пересувним компенсатором

При цьому методі в конструкції механізму передбачають пересувний компенсатор. На рис.

10.5 цю задачу виконує втулка (рухомий компенсатор). Складання здійснюється з повною взаємозамінністю деталей, які входять до РК, після чого компенсатор зсувається в положення, при якому замикальний розмір A_{Δ} отримують у межах заданого допуску T_{Δ} . У цьому положенні у втулці просвердлюється отвір під фіксаторний штифт, яким закріплюється виконаний розмір замикального кільця A_{Δ} .

При методі регулювання підбором компенсатора (рис. 15.6) у конструкції механізму передбачається спеціальна шайба-компенсатор A_{5k} .

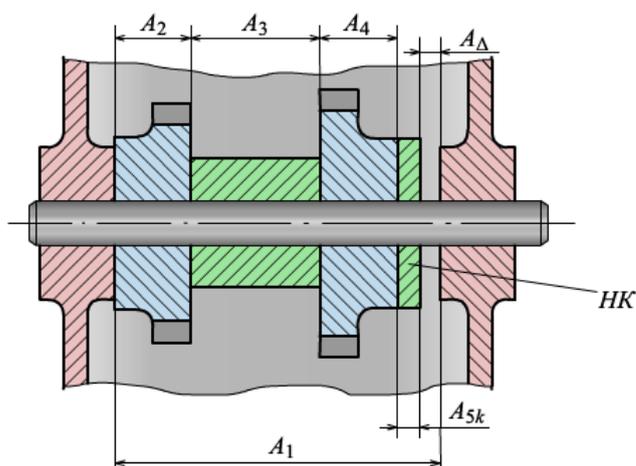


Рис. 15.6. Метод регулювання підбором величини нерухомого компенсатора

У складальному цеху заготовлюються ці шайби різної товщини. Різниця в розмірах A_{5k} шайб-компенсаторів передбачається з таким розрахунком, щоб після складання інших деталей РК з повною взаємозамінністю з цих шайб-компенсаторів можна було вибрати за товщиною таку, яка б компенсувала накопичену в даному випадку похибку і при установці в механізм створила б розмір A_{Δ} у межах допуску T_{Δ} .

Метод регулювання, який широко застосовують, дозволяє досягти високої точності механізму і підтримувати її під час експлуатації при розширених допусках усіх розмірів кола. Особливе значення цей метод має при розв'язанні розмірних кіл, у яких є розміри, що змінюються за величиною під час експлуатації. До недоліків методу належить збільшення кількості деталей у машині, що ускладнює конструкцію, складання й експлуатацію.

Контрольні запитання та завдання

1. Що називається розмірним колом?
2. Що таке замикальні і складові кільця?
3. Ознаки збільшувальних і зменшувальних кілець. Спосіб їх визначення на схемі розмірного кола.
4. Які групи розмірних кіл застосовують у машинобудуванні?
5. Наведіть класифікацію розмірних кіл залежно від видів кілець.
6. За допомогою яких розмірних кіл розв'язується завдання забезпечення точності при конструюванні, виготовленні і вимірюванні деталей?

Лекція №16 Контроль нерознімних з'єднань

1. З'єднання заклепками
2. Види і причини браку при клепанні
3. Зварні з'єднання
4. Основні дефекти зварних з'єднань
5. З'єднання паянням

Нерознімні з'єднання характеризуються тим, що їх не можна розібрати без ушкодження з'єднувальних елементів. До таких з'єднань належать заклепні, зварні з'єднання, а також з'єднання склеюванням, паянням.

З'єднання заклепками

Перевагами заклепних з'єднань є значна стабільність і можливість простого і надійного контролю якості з'єднань.

Заклепні з'єднання застосовують: в особливо відповідальних з'єднаннях (зі значними навантаженнями) і в з'єднаннях, які безпосередньо сприймають великі вібраційні навантаження; у з'єднаннях, де недопустиме зварювання (нагрів) через небезпеку відпуску термообробних деталей; для з'єднання незварюваних матеріалів (рис. 16.1).



Рис. 16.1. Застосування заклепного з'єднання при виготовленні металоконструкцій мостів. Заклепка являє собою стрижень круглого перерізу, що має з одного кінця головку, форма головки може бути різною (рис. 16.2).

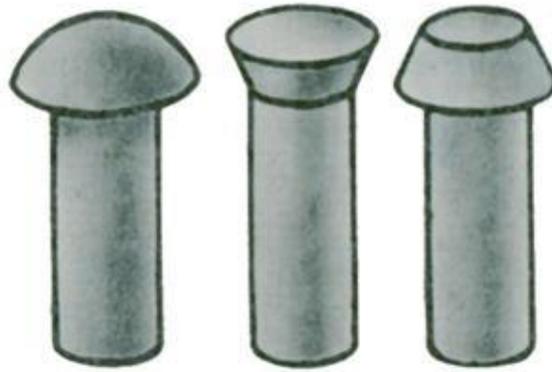


Рис. 16.2. Форми головок заклепок

На рис. 16.3 показано з'єднання двох деталей за допомогою заклепок з напівкруглою (сферичною) головою.

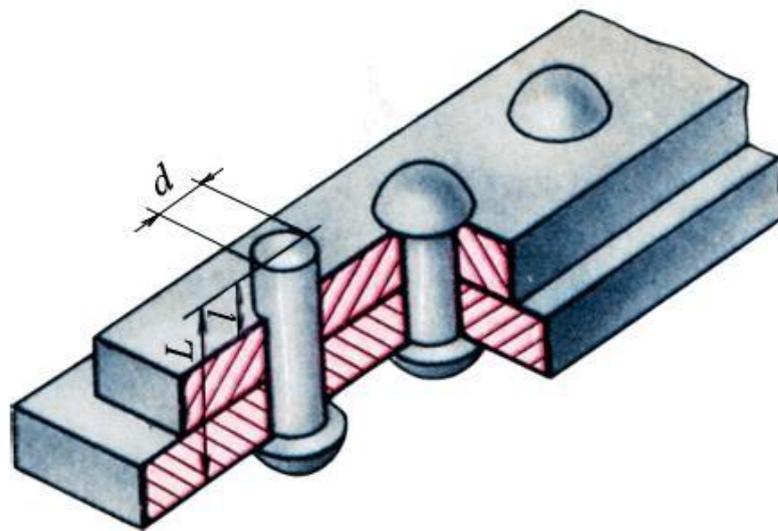


Рис. 16.3. Заклепочні з'єднання

У з'єднуваних деталях виконуються отвори, діаметр яких дещо більше діаметра непоставленої заклепки. Заклепка вставляється в отвори в деталях, і її вільний кінець розклепується обтискачами клепального молотка або машини. Довжина стрижня заклепки вибирається так, щоб виступаюча з деталі частина була достатньою для придання їй у процесі розклепування необхідної форми. Під час розклепування відбувається осаджування стрижня, який заповнює отвори, виконані в з'єднуваних деталях. Залежно від діаметра заклепка розклепується в холодному або заздалегідь нагрітому стані (рис. 16.4).

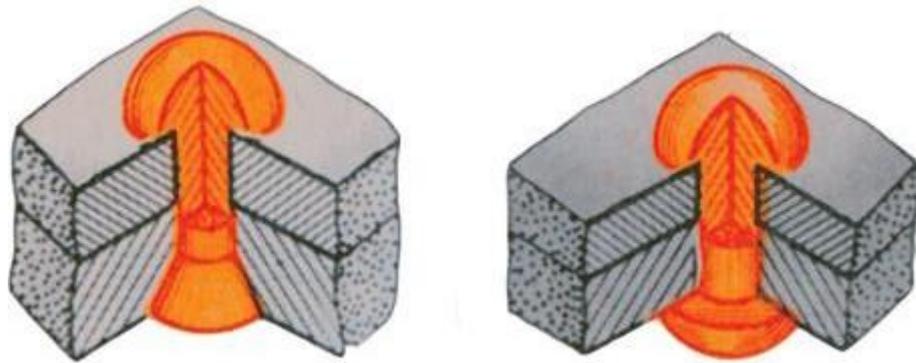


Рис. 16.4. Створення головок заклепок

Заклепки, установлені в гарячому стані, дають щільніше з'єднання, оскільки після kleпання вони холонуть, лінійні розміри зменшуються і сильніше стягують з'єднані елементи. Для отримання більшої герметичності щільні шви піддають карбуванню — осаджуванню металу вздовж шва і по колу головок заклепок спеціальним інструментом — карбівкою.

За призначенням заклепочні шви поділяються на три групи:

- міцні, які забезпечують необхідну міцність конструкції. До них належать заклепочні з'єднання листів, сталевих конструкцій різних споруд, підйомно-транспортних пристроїв, різних рам, кронштейнів;
- щільні, які забезпечують необхідну щільність і герметичність. Такі шви використовують для kleпання різних резервуарів, баків, ємкостей для рідин і газів під нормальним атмосферним тиском. На сьогодні щільні заклепочні шви часто замінюють зварними з'єднаннями;
- міцнощільні, які забезпечують не лише необхідну міцність, але й герметичність. Застосовують такі шви для kleпання різних газозбірників, парових котлів та інших апаратів, які працюють при внутрішньому тиску більше атмосферного.

За конструктивними ознаками шви розрізняють за розташуванням з'єднаних листів і заклепок у шві. З'єднання листів може бути напускним (рис. 16.5, а), стиковим із накладкою (рис. 16.5, б).

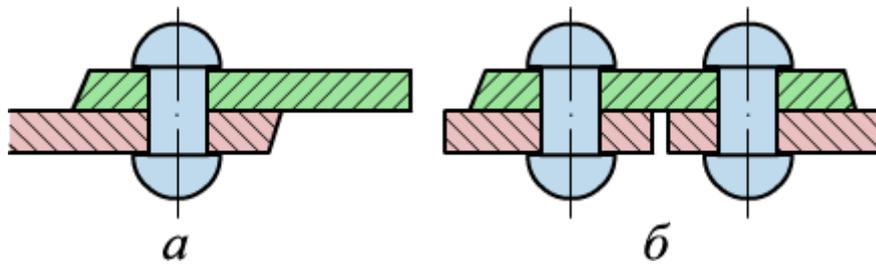


Рис. 16.5. Заклепочне з'єднання: а — напускне; б — стиков

За розташуванням заклепок у з'єднаннях розрізняють однорядні (рис. 16.6, а) і багаторядні (рис. 16.6, б) заклепочні шви. Розташування заклепок у рядах може бути шаховим і паралельним.

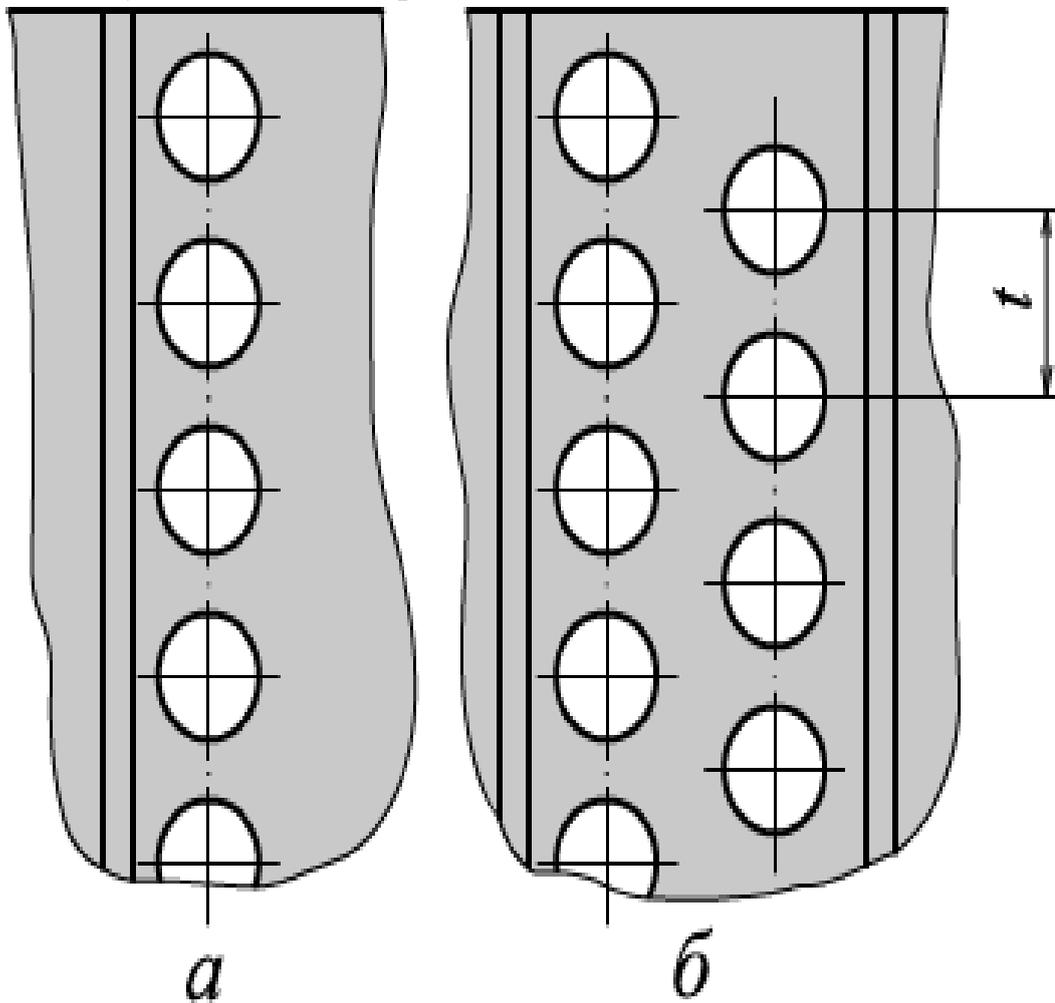


Рис. 16.6. Розташування заклепок у з'єднанні: а — однорядне; б — багаторядне

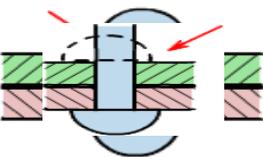
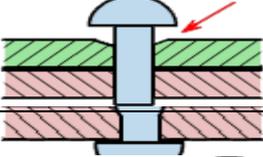
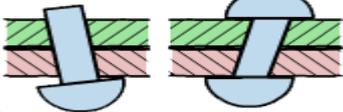
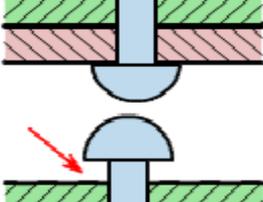
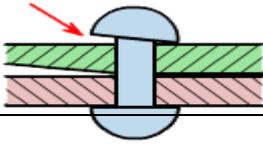
Види заклепок

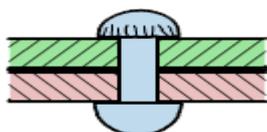
Види і причини браку клепаання. Найпоширеніші види браку при клепанні наведено в табл. 16.1. У погано поставленій заклепці зрубають головку, а потім бородком вибивають стрижень.

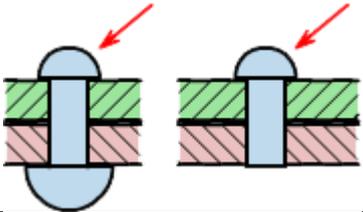
Заклепку можна також висвердлити. Для цього закладну головку кернують і свердлять на глибину, що дорівнює висоті головки. Діаметр свердла беруть дещо меншим діаметра заклепки.

Недосвердлену головку надломлюють бородком, потім вибивають заклепку. Таблица 16.1

Види і причини браку при клепанні

| Ескіз | Характеристика браку | Причина браку |
|---|-----------------------------------|--|
|  | Зсув замикальної головки | Скошений або нерівно обрізаний торець стрижня заклепки |
|  | Прогин матеріалу | Діаметр отвору малий |
|  | Зсув обох головок | Отвір просвердлений косо |
|  | Згин замикальної головки | Довгий стрижень заклепки; підтримку встановлено не по осі заклепки |
|  | Розклепування стрижня між листами | Клепаання виконане при непритиснутих листах |
|  | Підсікання (зарублення) головки | Обтискач під час обробки головки був поставлений косо |



| | | |
|---|--|--|
| | Недотягнута головка | Нещільна посадка закладної головки при клепанні |
|  | Мала замикальна головка | Недостатня довжина виступаючої частини стрижня заклепки |
| | Нещільне прилягання замикальної головки | Перекіс обтискача |
| | Рвані краї головки | Погана якість металу заклепки |

Способи перевірки якості з'єднання. Після складання заклепочні з'єднання піддають ретельному зовнішньому огляду: перевіряють стан головок заклепок і склепаних деталей. Щільність прилягання з'єднаних деталей визначають щупом. Головки заклепок і відстань між ними перевіряють шаблонами.

Заклепочні з'єднання, які потребують герметичності, піддають гідравлічним випробуванням шляхом нагнітання насосом рідини під тиском, що перевищує нормальний на 5—20%. Місця з'єднання, які дають течу, підкарбовують.

Закарбовування виконують двома основними способами: однією гострокромковою карбівкою і двома тупокромковими карбівками (рис. 16.7).

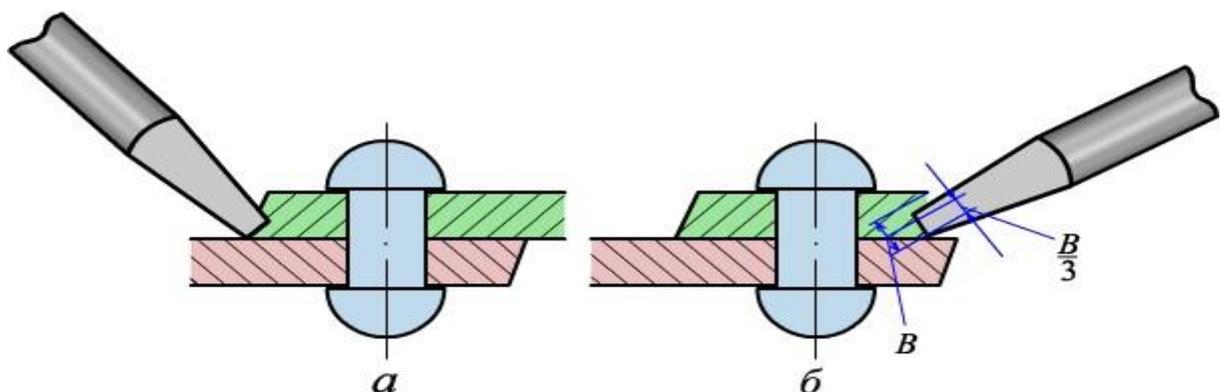


Рис. 16.7. Способи карбування:

а — однією карбівкою; б — двома карбівками

Слід мати на увазі, що карбування забезпечує ущільнення

заклепочного шва лише при товщині листа понад 5 мм. При товщині листа 4 мм і менше карбування не виконують, і шов ущільнюють парусиновою прокладкою, просоченою свинцевим суриком на натуральній оліфі. Поверхню листіву місцях шва ретельно очищують від бруду й іржі.

Зварні з'єднання

У сучасній техніці широко застосовуються з'єднання деталей, виконані за допомогою зварювання. Зварювання успішно заміняє поковки, відливки, клепані з'єднання, спрощуючи технологічний процес, знижуючи трудомісткість і зменшуючи масу виробу (рис. 16.8).

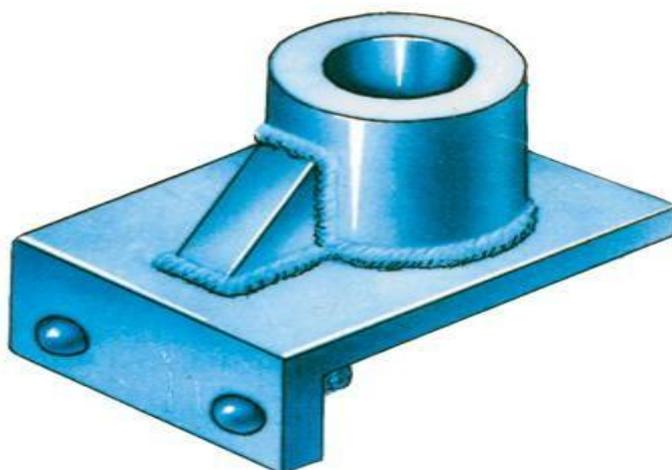


Рис. 16.8. Зварні з'єднання

Під терміном «зварювання» розуміють процес з'єднання металевих елементів шляхом розплавлення електричною дугою або полум'ям газового пальника місця з'єднання до температури зварювання або шляхом наплавлення металу (електрода або особливого прутка) між кромками стикування елементів, у результаті чого в місцях з'єднання отримують зварні шви (рис. 16.9).



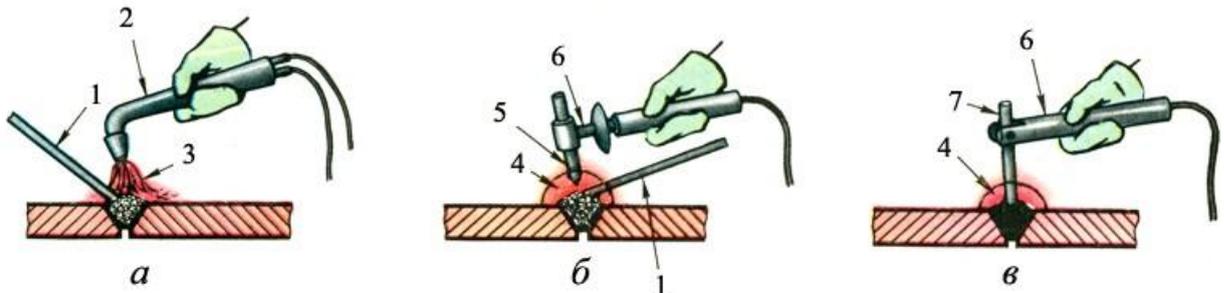
Рис. 16.9. Зварний шов

Залежно від процесів, які відбуваються при зварюванні, розрізняють зварювання плавленням і зварювання тиском.

Зварювання плавленням характерне тим, що поверхні кромки зварюваних деталей плавляться і після вистигання створюють міцний зварний шов. До такого зварювання належать *газове та дугове зварювання*.

При газовому зварюванні горючий газ (наприклад, ацетилен), згораючи в атмосфері кисню, створює полум'я, яке використовується для плавлення. У зону плавлення вводиться прутковий присадний матеріал, у результаті плавлення якого створюється зварний шов (рис. 16.10, а). Газове зварювання застосовується для зварювання як металів, так і пластмас (полімерів).

При дуговому зварюванні джерелом тепла є електрична дуга, яка створюється між кромками зварюваних деталей («основний метал») і електродом. Дугове зварювання може здійснюватися неплавкими (вугільний і вольфрамовий) електродами (рис. 16.10, б). У цьому випадку в зону створеної дуги вводиться присадний матеріал, який плавиться і створює шов. Дугове зварювання може виконуватися також і плавким електродом (рис.



16.10, в): зварний шов створюється в результаті плавлення самого електрода. Дугове зварювання застосовується лише для зварювання металів і їх сплавів.

Рис. 16.10. Види зварювання:

а — газове зварювання; б — дугове неплавким електродом; в — дугове плавким електродом; 1 — присадний матеріал; 2 — зварний паяльник; 3 — полум'я; 4 — електрична дуга; 5 — неплавкий електрод; 6 — електродотримач; 7 — плавкий електрод

Розрізняють такі види зварних з'єднань:



Стикове з'єднання (С) — зварювані деталі з'єднуються своїми торцевими поверхнями (рис. 16.11).

Рис. 16.11. Стикове з'єднання

Кутове з'єднання (У) — зварювані деталі розташовані під кутом і з'єднуються по кромках (рис.

16.12).

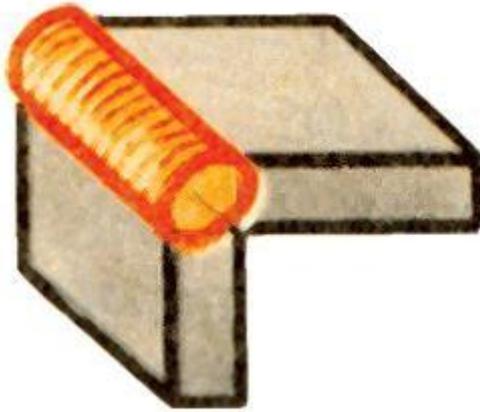


Рис. 16.12. Кутове з'єднання
Таврове з'єднання (Т) — торець однієї деталі з'єднується з боковою поверхнею іншої деталі (рис.



16.13).

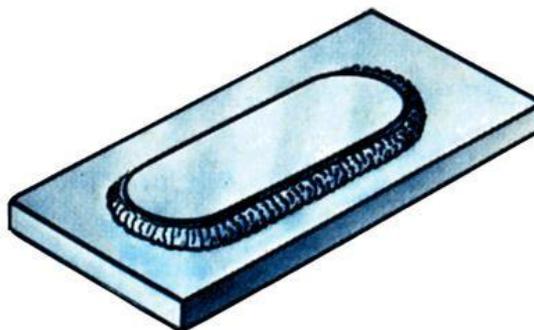
Рис. 16.13. Таврове з'єднання
З'єднання нахлестом (Н) — поверхні з'єднаних деталей частково перекривають одна одну (рис.



11.14).

Рис. 16.14. З'єднання нахлестом

Зварні шви можуть бути суцільними (рис. 16.15) або переривчастими (рис.



16.16).

Рис. 16.15. Суцільний шов

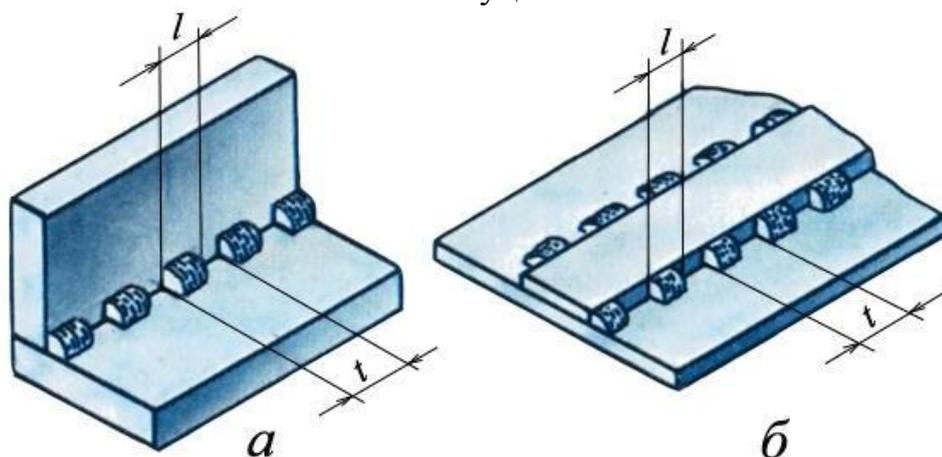


Рис. 16.16. Переривчастий шов:

а — точковий шов; б — у шаховому розташуванні; l — довжина проварюваних ділянок; t — крок

Основні дефекти зварних з'єднань

У процесі створення зварного з'єднання в металі шва і зоні термічного впливу можуть виникати дефекти, тобто відхилення від установлених норм і вимог, які призводять до зниження міцності, експлуатаційної надійності, точності, а також погіршення зовнішнього вигляду виробу. Дефекти зварних з'єднань розрізняють за причинами виникнення і місцем їх розташування (зовнішні і внутрішні).

Залежно від причин виникнення їх можна поділити на дві групи. До першої групи належать дефекти, пов'язані з металургійними і тепловими явищами, які відбуваються у процесі створення, формування і кристалізації зварної ванни і остигання зварного з'єднання, це — гарячі і холодні тріщини в металі шва і пришовній зоні, пори, шлакові включення, несприятливі зміни властивостей металу шва і зони термічного впливу.

До другої групи дефектів, які називають дефектами формування швів, належать дефекти, походження яких пов'язано з порушенням режиму зварювання, неправильною підготовкою і складанням елементів конструкції

під зварювання, несправністю обладнання, недбалістю і низькою кваліфікацією зварника й іншими порушеннями технологічного процесу. До дефектів цієї групи належать невідповідність швів розрахунковим розмірам, непровари, підрізи, пропали, напливи, незаварені кратери й ін. (рис. 16.17).

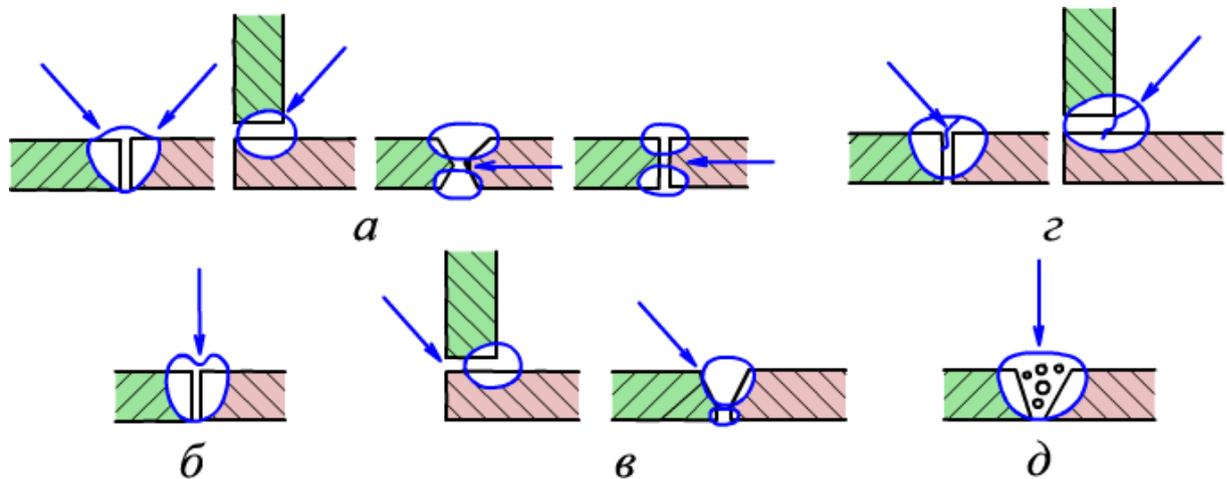


Рис. 16.17. Види дефектів у зварних з'єднаннях:

а — підрізи; б — пропал; в — непровари; г — тріщини; д — газові пори

Дефекти можуть бути зовнішні і внутрішні. До зовнішніх належать дефекти, які можуть бути виявлені зовнішнім оглядом (дефекти формування шва, тріщини і пори, які виходять на поверхню, тощо). Для виявлення внутрішніх дефектів потрібні спеціальні методи неруйнівного й руйнівного контролю.

Дефекти чинять значний вплив на міцність зварних з'єднань і нерідко є причиною передчасного руйнування зварних конструкцій. Особливо небезпечні тріщиноподібні дефекти (тріщини, непровари), які різко знижують міцність, особливо при циклічних навантаженнях.

Дефекти форми шва. Відхилення розмірів і форми зварного шва від проектних найчастіше спостерігаються в кутових швах і пов'язані з порушенням режимів зварювання, неправильною підготовкою кромek під зварювання, нерівномірною швидкістю зварювання, а також із несвоєчасним контрольним обміром шва.

Непроваром називають місцеву відсутність сплавлення між зварюваними елементами, між металом шва й основним металом або окремими шарами шва при багатшаровому зварюванні.

Непровар зменшує переріз шва і викликає концентрацію напружень, тому може значно знизити міцність конструкції. Ділянки шва, де виявлені

непровари, величина яких перевищує допустиму, підлягають видаленню і подальшому заварюванню. Непровар у корені шва переважно викликається недостатньою силою струму або підвищеною швидкістю зварювання, непровар кромки (несплавлення з кромками) — зсувом електрода з осі стику, а також руханням дуги, непровар між шарами — поганим очищенням попередніх шарів, великим об'ємом нагрітого металу, натіканням розплавленого металу перед дугою (рис. 16.17, в, 16.18).



Рис. 16.18. Дефект зварного шва (непровар)

Підрізом називають місцеве зменшення товщини основного металу у границі шва.

Підріз призводить до зменшення перерізу металу і різкій концентрації напружень у тих випадках, коли він розташований перпендикулярно діючим робочим напруженням (рис. 16.17, а, 16.19).



Рис. 16.19. Дефект зварного шва (підріз)

Напливом називають натікання металу шва на поверхню основного металу без сплавлення з ним (рис. 16.20).



Рис. 16.20. Дефект зварного шва (наплив)

Пропалом називають порожнину у шві, яка створилася в результаті витікання зварної ванни. Пропал є недопустимим дефектом зварного з'єднання (рис. 16.17, б).

Кратером називають незаварене заглиблення, яке створюється після обриву дуги в кінці шва.

У кратері, як правило, створюються усадні пухлості, що часто переходять у тріщини (рис. 16.17, г, 16.21).



Рис. 16.21. Дефект зварного шва (кратер)

Газові пори створюються у шві внаслідок перенасичення розплавленого металу зварної ванни газами. Пори можуть бути внутрішніми,

які не виходять на поверхню зварного шва, і зовнішніми, які виходять на поверхню шва. Вони можуть бути одиночними, груповими або розташовуватися ланцюжком (рис. 16.17, д).

Підрізи, натікання, напливи, пропали, незаварені кратери, які залишилися після зварювання шлак і бризки, оплавлення кромки (у кутових швах) викликаються переважно надмірною силою струму і напруги на дузі, великим діаметром електрода, неправильними маніпуляціями електродом, поганим складанням під зварювання, низькою кваліфікацією або недбалістю зварника.

Класифікація видів контролю зварних з'єднань. Зварні з'єднання вважають якісними, якщо вони не мають недопустимих дефектів і їх властивості задовольняють вимогам, які висуваються до них відповідно до умов експлуатації зварного вузла або конструкції.

Якість зварних з'єднань перевіряють такими видами контролю:

- попереднім, у процесі якого виконують перевірку якості вихідних матеріалів (зварюваного металу і зварних матеріалів), контроль підготовки деталей під зварювання і складання вузлів, а також стану оснащення, зварного обладнання і пристроїв, кваліфікації складальників і зварників;
- поточним у процесі виконання зварних робіт, що передбачає перевірку дотримання технології зварювання — режимів, зачищення проміжних швів, заварювання кратерів тощо;
- остаточним контролем готових зварних конструкцій, який проводиться відповідно до вимог, що висуваються до виробів.

На стадії попереднього контролю виконують випробування на зварюваність, у тому числі механічні випробування, металографічні дослідження зварних з'єднань і випробування на опір створенню гарячих і холодних тріщин.

Під час виконання зварних робіт застосовують різні способи контролю зварних матеріалів і зварних з'єднань. Ці способи поділяються на дві групи:

- руйнівні (коли зварне з'єднання доводиться руйнувати);
- неруйнівні (коли зварне з'єднання не виходить з ладу).

На практиці переважно намагаються застосувати неруйнівні способи контролю, однак деяку частину зварних з'єднань доцільно піддавати руйнуванню для отримання надійнішої й достовірної інформації про властивості виконаних з'єднань.

Зовнішній огляд і замір розмірів швів. Цей вид контролю є необхідним і найпоширенішим при зварюванні. Зовнішній огляд може бути виконаний неозброєним оком і за допомогою збільшувального скла. Перед зовнішнім оглядом зварні шви мають бути ретельно очищені від шлаку, а якщо необхідно, то і протравлені. Оглядати деталі слід як після прихоплень, так і

після накладання кожного валика. Розміри швів заміряють спеціальними шаблонами і вимірювальними пристроями безпосередньо після зварювання.



Рис. 16.22. Зварний шов з дефектами (лускатість)

Оглядати необхідно всі без винятку зварні з'єднання. Зовнішній огляд і вимірювання зварних з'єднань здійснюють за умов достатнього освітлення об'єкта контролю.

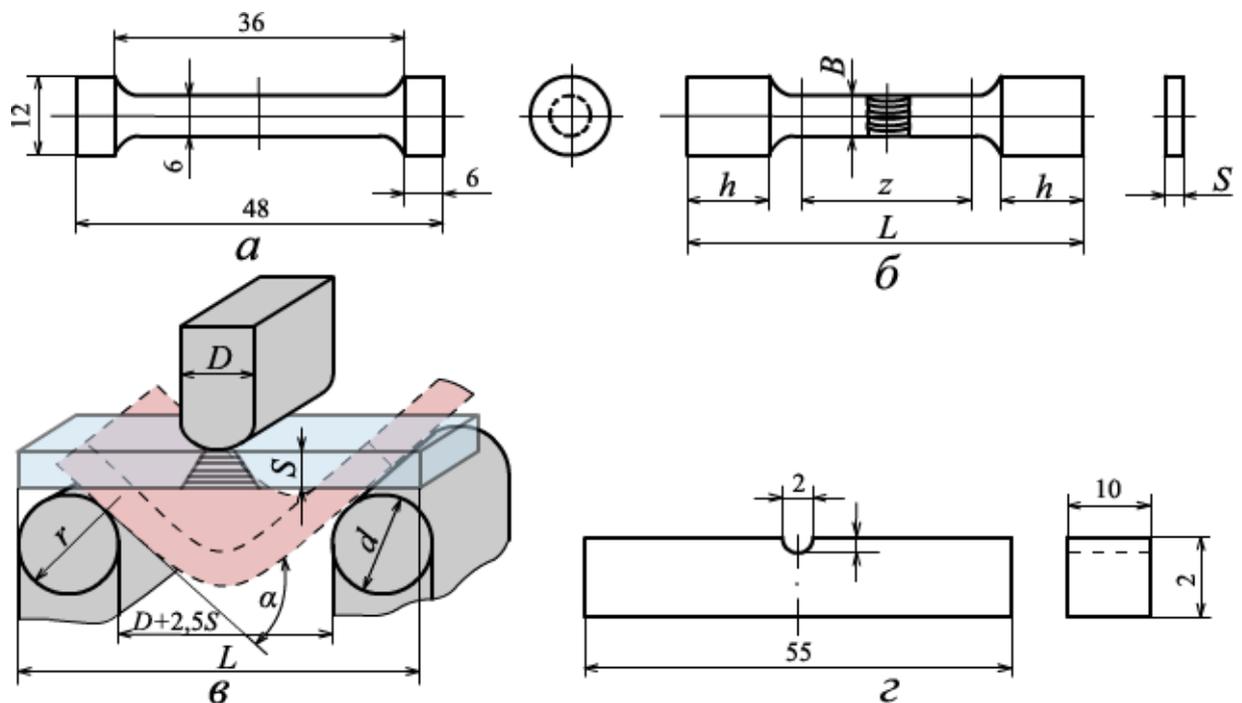


Рис. 16.23. Зразки для визначення механічних властивостей:

а, б — на розтяг наплавленого металу (а) і зварного з'єднання (б); в — на згин; г — на ударну в'язкість

Для перевірки механічних властивостей із наплавленого або основного металу виготовляють круглий зразок (рис. 16.23, а), який випробовують на статичний (короткочасний) розтяг на розривній машині. Одночасно визначають відносне подовження (у відсотках від початкової довжини зразка).

Аналогічно проводять механічні випробування властивостей зварного з'єднання з пробної пластини або труби на плоскому зразку (рис. 16.23, б).

Пластичність металу шва визначається випробуванням зварного з'єднання на статичний згин (загин) на розривних машинах або під спеціальним пресом (рис. 16.23, в). Чим більший кут загину, тим вища пластичність. Максимальний кут загину, що дорівнює 180° , характеризує добру пластичність металу. Зразок загинається до створення тріщини.

Випробування зварного з'єднання на ударний розрив (ударну в'язкість) проводять на спеціальних машинах (маятникових копрах). Для цього виготовляються спеціальні квадратні зразки з надрізом з боку розкриття шва (рис. 16.23, г).

Зварне з'єднання випробовують на твердість зазвичай на загартовуваних сталях.

Корозійні випробування зварних з'єднань.

Корозією називається руйнування металів, сплавів і їх зварних з'єднань унаслідок впливу на них оточуючого середовища. Існує два види корозії: хімічна й електрохімічна.

Хімічна корозія являє собою процес безпосередньої взаємодії між металом і середовищем (сухі гази, рідкі неелектроліти — бензин, мастило, смола тощо). Електрохімічна корозія відбувається під впливом на метали рідких електролітів (водних розчинів солей, кислот, лугів), а також вологого повітря, тобто провідників електрики — розчинів, які містять іони.

Фізичні методи контролю зварних швів

Радіаційна дефектоскопія — рентгено- і гаммаграфічний метод контролю.

Рентгено- і гаммаграфія — це метод отримання на рентгенівській плівці або екрані зображення предмета (виробу), просвічуваного рентгенівським або гамма-випромінюванням.

Він заснований на здатності рентгенівського і гамма-випромінювання проходити крізь непрозорі предмети, в тому числі крізь метали, і діяти на рентгенівську плівку і деякі хімічні елементи, завдяки чому останні

флуоресціюють (світяться). При цьому дефекти, які зустрічаються при зварюванні в тілі виробу і найчастіше мають характер порожнин (непроварів, тріщин, раковин, пор тощо), на рентгенівській плівці (на рентгенограмах) мають вигляд плям (раковини, пори) або смуг (непроварів). Як правило, просвічують 3—15 % загальної довжини зварного шва. В особливо відповідальних конструкцій просвічують усі шви. Схему просвічування рентгенівським випромінюванням виробу показано на рис. 16.24. Залежно від режиму просвічування (при товщині металу до 50 мм), якості плівки і правильності подальшої її обробки вдається виявити дефекти розміром 1—3 % від товщини контрольованих деталей.

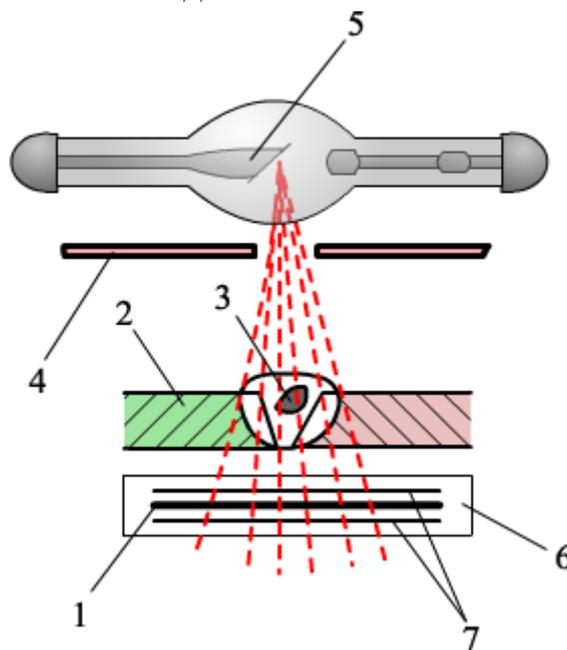
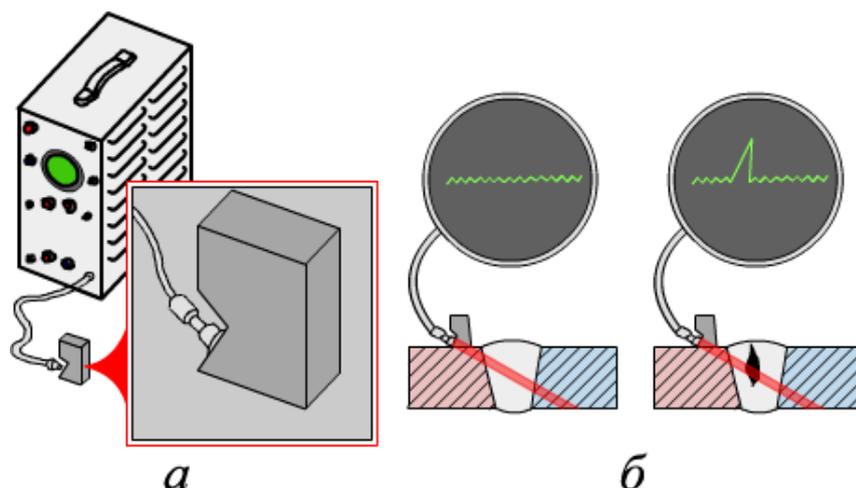


Рис. 16.24. Схема просвічування рентгенівським випромінюванням виробу:

1 — рентгеноплівка; 2 — просвічуваний виріб; 3 — дефект; 4 — футляр зі свинцевим екраном; 5 — рентгенівська трубка; 6 — касета; 7 — екран

Ультразвуковий метод контролю. Цей метод заснований на здатності високочастотних коливань частотою близько 20 000 Гц проникати в метал і відбиватися від поверхні дефектів (від перепон, що зустрічаються). Схему



ультразвукового методу контролю зварних з'єднань показано на рис. 16.25.

Рис. 16.25. Ультразвуковий метод контролю зварних виробів:

а — загальний вигляд дефектоскопа; б — сигнали на екрані осцилографа:
ліворуч — шов бездефекту, праворуч — з тріщиною та непроваром

Магнітографічний метод контролю. При цьому методі результати записуються на магнітну стрічку. Сутність цього методу контролю полягає в намагнічуванні зварного з'єднання і фіксації магнітного потоку на феромагнітну стрічку. Стрічка накладається на контрольований виріб, який намагнічується імпульсним полем. Магнітне поле, за наявності дефектів, розподіляється поверхнею деталі по-різному, і відповідно феромагнітні частинки на лікті намагнітяться різною мірою. Потім феромагнітна стрічка знімається з контрольованого виробу, і її «протягують» крізь відтворювач (рис. 16.26), що складається з механізму протягування й осцилографа з підсилювачем електричних імпульсів.

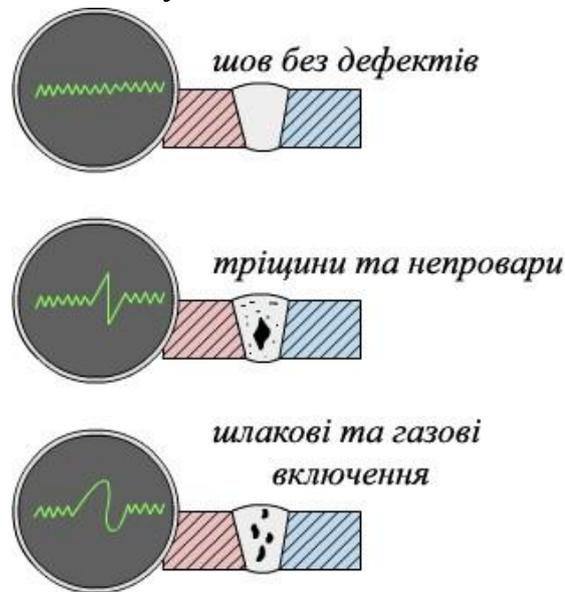
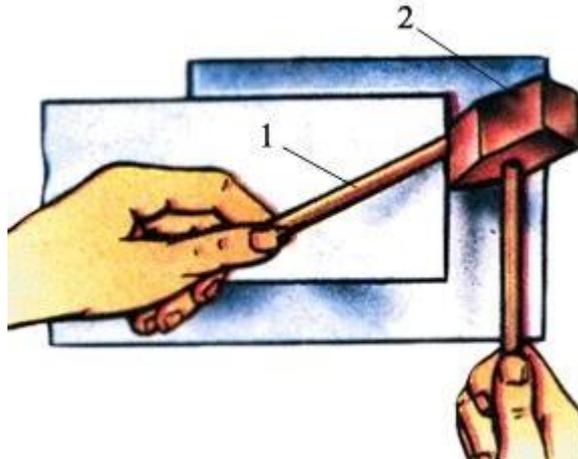


Рис. 16.26. Магнітографічний метод контролю зварних з'єднань (характер імпульсів на екрані осцилографа)

Магнітографічний метод застосовується для контролю зварних з'єднань товщиною не більше 12 мм. Цим методом можна виявлять макротріщини, непровари глибиною 4—5 % від товщини контрольованого металу, шлакові включення і газові пори.

З'єднання паянням

Паянням називається з'єднання металевих деталей за допомогою інших металів або сплавів, названих припоями; при цьому розплавляється лише припій, а основний метал залишається нерозплавленим. Температура плавлення припою має бути нижчою від температури плавлення основного металу. Розплавлений припій, введений між з'єднуваними деталями, заливає зазор і прилипає до їх поверхні. Припій проникає (дифундує) в основний метал



на незначну глибину. При остиганні припою в місці з'єднання деталей створюється міцне і щільне з'єднання. Як основні матеріали при паянні застосовуються припої та флюси.

Рис. 16.27. З'єднання деталей паянням: 1 — припій; 2 — паяльник

Основним інструментом, застосовуваним для нагрівання місця паяння, є паяльники (рис. 16.28) і паяльні лампи (рис. 16.29).



Рис. 16.28. Паяльники



Рис. 16.29. Паяльна лампа

Для паяння важливі значення мають підготовчі роботи, які часто визначають якість з'єднання. Широко застосовуються три основні форми паяних з'єднань: напускне, стикове і з'єднання «у вус» (рис. 16.30). Найпоширенішим є напускне з'єднання, зручне для виконання і досить міцне. Збільшуючи перекриття напускного з'єднання, можна підвищувати його міцність і в більшості випадків досягти рівномірності з основним металом. Стиконе з'єднання має кращий зовнішній вигляд і при добрих припоях і правильному виконанні часто може забезпечити достатню міцність (межа міцності може сягати 40—45 кГ/мм²). Стиконе з'єднання застосовується в тих випадках, коли подвоєння товщини металу небажане. З'єднання «у вус», яке потребує ускладненої підготовки кромки, суміщає переваги стикового і напускного з'єднань і забезпечує добрий зовнішній вигляд і відсутність виступаючих кромки. З'єднання «у вус» дозволяє досягти рівномірності з цілим перерізом за рахунок збільшення робочої площі з'єднання.

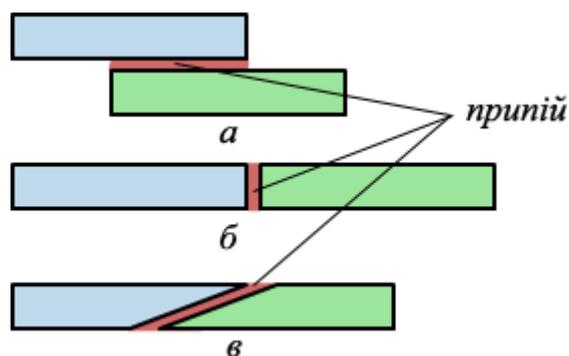


Рис. 16.30. Форми паяних з'єднань:

а — напускне; б — стикове; в — «у вус»

Контроль якості готових паяльних з'єднань зазвичай проводять одним з фізичних способів без руйнування виробу (зовнішній огляд, рентгеноскопія) або з руйнуванням виробів (на відрив, на зріз, на розрив).

Контрольні запитання та завдання

1. Чим характеризуються нерознімні з'єднання? Які з'єднання до них належать?
2. Наведіть класифікацію заклепочних з'єднань.
3. Які види зварювання ви знаєте?
4. Які існують види зварних з'єднань?
5. Назвіть методи контролю зварних швів.
6. Які інструменти застосовуються при паянні?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базієвський, С. Д. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання. Видавничий дім «Слово», 2004.— 504 с.
2. Данчевський, В. І. Допуски і технічні вимірювання. Програмований метод контролю знань учнів [Текст] / В. І. Данчевський. — К. : Вища школа, 1994.— 169 с.
3. Сидоренко, В. К. Технічне креслення [Текст] / В. К. Сидоренко. — Львів : Оріяна-Нова, 2000.— 497 с.
4. Richard, R. Kible. Machine tool practices.— Canadian ed, 2004.— 775 p.
5. Гаврилюк В.І. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Навчальний посібник. Київ.: Вища школа – 1990.
6. Петрина Ю.Д., Форович Л.Л., Вуйцік С.Д. Основи взаємозамінності в машинобудуванні. Конспект лекцій. Івано-Франківськ, 1995.

Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: конспект лекцій для здобувачів освіти освітньо-професійного ступеня фаховий молодший бакалавр галузь знань 27 Транспорт, спеціальність 274 Автомобільний транспорт денної форми навчання. / уклад. І.В. Свищук – Любешів: ВСП «Любешівський технічний коледж Луцького НТУ», 2023. – 206 с

Ком'ютерний набір
Редактор

І.В. Свищук
І.В. Свищук

Підп. до друку _____ 2023 р.
Формат А4.Папір офіс. Гарн. Таймс.
Умов. друк. арк. 3,5 Обл. вид. арк. 3,4.
Тираж 15 прим.