

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**І. І. Антоненко, А. С. Солоха**

**Основи взаємозамінності, стандартизації  
та технічних вимірювань**

**(навчальний посібник)**



Кривий Ріг – 2016

УДК 006:621.81(075.8)  
ББК 30.10:34.4я73

## **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

**Кучма О.І.** – декан факультету ДТО Криворізького педагогічного інституту ДВНЗ «КНУ», кандидат технічних наук, старший науковий співробітник.

**Філатов С.В.** – заступник декана транспортного факультету ДВНЗ «КНУ», кандидат технічних наук, доцент.

**Антоненко І. І. Основи взаємозамінності, стандартизації та А72 технічних вимірювань : навчальний посібник / І. І. Антоненко, А. С. Солоха. – Кривий Ріг : КДПУ, 2016. – 40 с.**

Посібник підготовлено відповідно до завдань курсу «Основи взаємозамінності і стандартизації», що навчає студентів конструюванню та виготовленню деталей машин на основі застосування сучасної системи допусків і посадок й вимірювальної техніки.

У навчальному посібнику подані основні положення взаємозамінності міжнародної системи допусків і посадок ISO, системи стандартизації і технічних вимірювань, які необхідні для вдосконалення технологічних процесів і створення нових машин.

Посібник адресовано студентам інженерно-педагогічних спеціальностей вищих педагогічних навчальних закладів, напряму підготовки 6.010103 Технологічна освіта.

*Рекомендовано Вченою Радою факультету дошкільної та технологічної освіти, Пр. №6 від 25 лютого 2016 р.*

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1. ОСНОВИ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1 Основні поняття про взаємозамінність .....  | 4         |
| 1.2 Основні поняття про допуски.....  | 5         |
| 1.2.1 Номінальні, граничні й дійсні розміри .....   | 5         |
| 1.2.2. Система допусків.....  | 6         |
| 1.3 Основні поняття про посадки.....  | 7         |
| 1.3.1 Посадки із зазором, натягом і перехідні .....   | 8         |
| 1.3.2 Позначення граничних відхилень і посадок на кресленнях  | 11        |
| 1.4 Похибки виготовлення й виміру .....   | 12        |
| 1.4.1 Класифікація похибок.....   | 12        |
| 1.4.2 Статистичні методи оцінки похибок виготовлення й<br>вимірювання .....   | 13        |
| 1.5 Точність форми й шорсткість поверхні .....  | 15        |
| 1.5.1 Відхилення форми й розташування поверхонь .....   | 16        |
| 1.5.2. Позначення й контроль шорсткості поверхні.....   | 19        |
| 1.5.3. Вплив відхилення форми, взаємного розташування,<br>хвилястості й шорсткості поверхні на якість деталей машин ..... | 21        |
| 1.6. Допуски й посадки гладких з'єднань.....  | 22        |
| 1.6.1. Принципи побудови систем допусків і посадок.....   | 22        |
| 1.6.2. Вибір посадок .....  | 22        |
| 1.6.3. Система допусків і посадок для підшипників кочення .....   | 23        |
| 1.6.4. Допуски й посадки деталей із пластмас .....  | 24        |
| 1.6.5. Допуски й посадки шпонкових з'єднань.....  | 25        |
| 1.7. Допуски й посадки зубчастих і черв'ячних передач.....  | 25        |
| 1.8. Допуски й посадки різьбових з'єднань .....   | 25        |
| 1.9. Допуски розмірів, що входять у розмірні ланцюги .....  | 26        |
| 1.9.1. Основні поняття про розмірні ланцюги .....   | 26        |
| <b>2. СТАНДАРТИЗАЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ</b>   | <b>30</b> |
| 2.1. Основні поняття про стандартизацію.....  | 30        |
| 2.2. Якість машин і система управління якістю.....  | 31        |
| 2.3. Вимірювальні засоби.....   | 33        |
| 2.4. Контроль гладких з'єднань.....   | 34        |
| 2.5. Методи вимірювання різьб .....   | 35        |
| <b>КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ</b>   | <b>37</b> |
| <b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b>  | <b>39</b> |

## ВСТУП

Подальше вдосконалення технологічних процесів і створення нових машин вимагає обов'язкового застосування взаємозамінності, стандартизації сучасної вимірювальної техніки і управління якістю продукції.

У машинобудуванні стандартизовані правила оформлення креслень, ряди чисел на лінійні розміри, потужності, кутові швидкості, вантажопідйомність, термообробка машинобудівних матеріалів, шорсткість поверхні деталей, допуски й посадки кріпильних деталей, підшипники кочення, ремені, ланцюги, муфти, модулі зубчастих і черв'ячних коліс, діаметри й ширина шківів.

Взаємозамінністю виробів називається властивість рівноцінно замінити будь-який екземпляр продукції іншим однотипним екземпляром. Взаємозамінне виробництво має наступні переваги: спрощується процес зборки, забезпечується широка спеціалізація й кооперація підприємств, спрощується ремонт виробів і створюються умови для автоматизації виробництва.

У сучасних умовах ринкових відносин визначальними характеристиками стають вимоги до якості та систем управління якістю продукції.

Залежно від використання фізичних принципів вимірювання існують механічні, електричні, пневматичні, оптичні й фотоелектричні прилади. Крім поелементного (диференційованого) контролю параметрів виробу, придатність деталей у серійному виробництві оцінюють за допомогою граничних калібрів, що забезпечує комплексний контроль виробів.

Посібник підготовлено відповідно до завдань курсу «Основи взаємозамінності і стандартизації», що навчає студентів конструюванню та виготовленню деталей машин на основі застосування сучасної системи допусків і посадок й вимірювальної техніки.

У навчальному посібнику подані основні положення взаємозамінності міжнародної системи допусків і посадок ISO, системи стандартизації і технічних вимірювань, які необхідні для вдосконалення технологічних процесів і створення нових машин.

Посібник адресовано студентам інженерно-педагогічних спеціальностей вищих педагогічних навчальних закладів, напряму підготовки 6.010103 Технологічна освіта.

# 1. ОСНОВИ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ

## 1.1 Основні поняття про взаємозамінність

*Взаємозамінністю* називається властивість виробів рівноцінно замінювати будь-який екземпляр іншим однотипним екземпляром. Виконання вимог до точності деталей є найважливішою умовою забезпечення взаємозамінності. Крім цього, необхідно виконувати й інші умови: вимоги до матеріалу, до способів застосування технологій виготовлення й контролю.

Повна взаємозамінність має наступні переваги:

1. Спрощується процес збірки виробів.
2. Збірка точно нормується за часом і створюються умови для її автоматизації.
3. Можлива широка спеціалізація й кооперація заводів.
4. Спрощується ремонт виробів.

Взаємозамінність може бути також неповною. У цьому випадку роблять групову добірку деталей (селективна зборка), регулюють положення частин виробів і здійснюють інші додаткові технологічні заходи. Вона може здійснюватися тільки за окремими геометричними, електричними або іншими параметрам.

Застосування неповної або обмеженої взаємозамінності дозволяє одержувати точні сполучення при більш грубих допусках на виготовлення деталей. Але при цьому збільшується трудомісткість зборки і відсутня можливість поставки взаємозамінних запасних деталей.

Рівень взаємозамінності виробництва характеризується коефіцієнтом взаємозамінності  $K_v$ , що дорівнює відношенню трудомісткості виготовлення взаємозамінних деталей до загальної трудомісткості виготовлення виробу. Ступінь наближення  $K_v$  до одиниці є показником високого технічного рівня виробництва.

Необхідною умовою забезпечення взаємозамінності є наявність правильно розроблених креслень. Точні вимоги встановлюють у вигляді граничних відхилень розмірів і форм деталей, взаємного положення, шорсткостей поверхонь, що забезпечують взаємозамінність цих деталей.

Для забезпечення взаємозамінності необхідно також точне устаткування, якісні інструменти й засоби контролю, а також висока кваліфікація робітників.

Для підвищення ефективності роботи машинобудівних підприємств необхідно виконувати принципи функціональної взаємозамінності.

*Функціональною взаємозамінністю* називається – така форма взаємозамінності, при якій експлуатаційні показники роботи виробів (потужність, продуктивність, довговічність, точність, надійність) будуть економічно оптимальними.

Параметри, величина й відхилення яких впливає на експлуатаційні показники машини, називаються *функціональними*.

Установлюючи припустимі відхилення експлуатаційних показників машини можна визначити оптимально допуски на функціональні параметри. Залежно від принципу дії машини функціональні параметри можуть бути геометричними, кінематичними, електричними й оптичними.

## **1.2 Основні поняття про допуски**

### **1.2.1 Номінальні, граничні й дійсні розміри**

*Номінальний розмір деталі* – основний розмір, що фіксується в технічній документації (кресленні), визначений, виходячи із призначення деталі, і є початком відліку відхилень. Номінальні розміри одержують у результаті призначення і розрахунку деталі на міцність.

Для скорочення кількості типу розмірів заготовок і інструмента, а також можливості мінімізації технологічних процесів, величини номінальних розмірів округлюють у більший бік і вибирають за стандартом «Нормальні лінійні розміри».

Вихідними даними для регламентації розмірів є ряди чисел, стандартизованих відповідно до рекомендацій ISO і побудованих у геометричній прогресії зі знаменниками для рядів: R5 – 1.6; R10 – 1.25; R20 – 1.12. При виборі нормальних розмірів перевагу віддають числам із рядів із більшою градацією.

У виробництві неможливо виконати абсолютно точно необхідні розміри деталей. Деяка похибка вноситься також при вимірюванні, тому існує поняття – *дійсний розмір деталі*, тобто розмір, обумовлений вимірюванням із допустимою похибкою.

*Граничними розмірами називається* два допустимих граничних значення розміру, між якими повинен знаходитися розмір придатної деталі. Більше значення – найбільший граничний розмір, менше – найменший граничний розмір. У таблицях стандартів на допуски, граничні розміри задаються величинами верхнього й нижнього відхилення від номінального розміру.

*Верхнім граничним відхиленням ES* (отвір), *es* (вал) називається різниця

між найбільшим граничним розміром і номінальним.

Нижнім граничним відхиленням  $EI$  (отвір),  $ei$  (вал) називається різниця між найменшим граничним і номінальним розміром.

На кресленнях відхилення проставляються в міліметрах, а в таблицях дані – у мікронах.

Наприклад:

$$42^{+0.003}_{-0.013}; \quad 42^{-0.013}_{-0.025}; \quad 42^{+0.011}; \quad 42_{-0.025}.$$

При рівності величин відхилень їх указують зі знаком  $\pm$  поруч із номінальним розміром і однаковим з ним шрифтом, наприклад:  $60\pm 0.2$ . Відхилення рівне нулеві на кресленнях не ставлять.

### 1.2.2. Система допусків

Допуском розміру „ $T$ “ називається різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами.

Поле допуску називається частина простору, яка обмежена граничними розмірами. При схематичному зображенні полів допусків, відхилення розмірів відкладають від лінії номінального розміру, що носить назву нульової лінії (рис. 1.1).

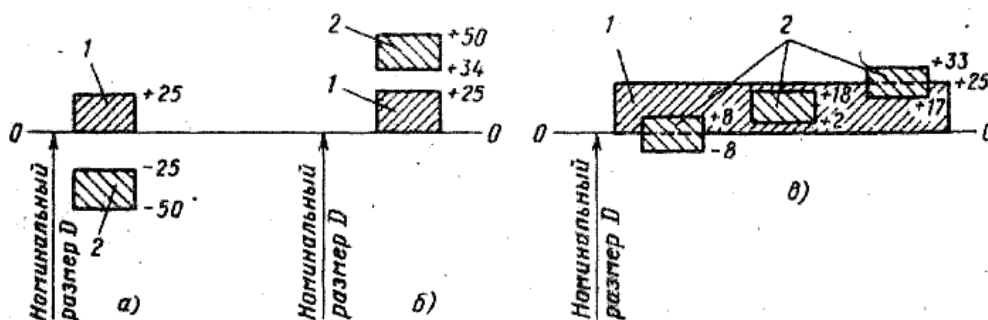


Рис. 1.1. Розташування полів допусків  
1-поле допуску отвору; 2-поле допуску вала.

Позитивне відхилення відкладається вгору від нульової лінії, а негативне – вниз. На схемах відхилення вказують у мікронах.

На допуски й посадки гладких елементів деталей розроблений стандарт ДСТУ 2500-94. Для нормування необхідних рівнів точності встановлені квалітети (ступеня точності) виготовлення деталей. Стандартом установлюється 19 квалітетів (01,0,1,2...17).

Сукупність допусків, що відповідають однаковому ступеню точності для всіх номінальних розмірів, називаються *квалітетом*. Квалітети (класи точності) позначають: IT01,...IT17. IT1 – допуск за першим квалітетом ISO. Самий точний квалітет – 01.

Для побудови системи допусків установили одиницю допуску “*i*”, що виражає залежність допуску від номінального розміру.

Діапазон до 500 мм розбитий на 13 інтервалів.

Допуск для будь-якого квалітету визначається за формулою:

$$IT=a \cdot i,$$

де *a* – табличний коефіцієнт, що залежить від квалітету й незалежний від номінального розміру.

Під квалітетом розуміють сукупність допусків, що характеризуються постійною відносною точністю (обумовленою коефіцієнтом „*a*“) для всіх номінальних розмірів даного діапазону.

Точність у межах одного квалітету змінюється тільки залежно від номінального розміру.

Для кожного квалітету побудовані ряди допусків. Для побудови рядів допусків кожний із діапазонів розмірів розділений на інтервали. Величина допуску однакова для всіх розмірів інтервалу (наприклад, понад 6 до 10 мм). Це зроблено для зручності роботи з таблицями допусків, які стали, врешті-решт, менш громіздкими.

### 1.3 Основні поняття про посадки

У з’єднанні деталей, що входять одна в іншу, розрізняють *охоплюючу і охоплювану поверхні*.

*Вал* – термін, застосовуваний для позначення охоплюваних поверхонь деталей.

*Отвір* – термін, застосовуваний для позначення охоплюючих поверхонь деталей.

*Основний вал* – вал, верхнє відхилення якого дорівнює нулеві ( $es=0$ ).

*Основний отвір* – отвір, нижнє відхилення якого дорівнює нулеві ( $Ei=0$ ).

Допуски розмірів скорочено називають допуском отвору TD і допуском вала Td.

З’єднання деталей класифікують за формою поверхонь (гладкі, різьбові, зубчасті, плоскі, сферичні) і ступеня свободи взаємного переміщення (рухомі, нерухомі, нероз’ємні й нерухомі роз’ємні).



### 1.3.1 Посадки із зазором, натягом і перехідні

*Посадкою* називається характер з'єднання деталей, обумовлений величиною зазорів, або натягів. Залежно від взаємного розташування полів допусків отвору й вала, посадка може бути із зазором, натягом або перехідною.

Посадки в системі отвору – це посадки, у яких зазори й натяги одержують з'єднанням різних валів з основним отвором (рис. 1.1).

Посадки в системі вала – це посадки, у яких зазори й натяги одержують з'єднанням різних отворів з основним валом. Основний отвір позначається – „H“, основний вал – „h“.

*Зазор S* – це різниця розмірів отвору й вала. Найбільший, найменший і середній зазори визначаються за формулами:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}; \quad S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}; \quad S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}.$$

*Натяг N* буває в з'єднаннях у випадку, якщо розмір вала до зборки більше розміру отвору.

Аналогічно:

$$N_{\max} = D_{\max} - d_{\min}; \quad N_{\min} = D_{\min} - d_{\max}; \quad N_m = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2}.$$

*Посадка із зазором* – посадка з гарантованим зазором, при якому поле допуску отвору розташовано над полем допуску вала. До посадок із зазором належать також посадки, у яких нижня границя поля допуску отвору збігається з верхньою границею поля допуску вала,  $S_{\min} = 0$ .

*Посадка з натягом* забезпечує гарантований натяг, що перешкоджає відносному переміщенню деталей після їхньої зборки. У посадок із натягом поле допуску вала розташовано над полем допуску отвору.

*Перехідна посадка* – це посадка, при якій можливе одержання, як зазору, так і натягу (поля допусків отвору й вала перекриваються частково або повністю). У перехідних посадках при найбільшому граничному розмірі вала й найменшому граничному розмірі отвору виходить найбільший натяг, а при найбільшому граничному розмірі отвору й при найменшому граничному розмірі вала – найбільший зазор. Через неточність виконання розмірів отвору й вала необхідні зазори й натяги в таких з'єднаннях не можуть бути витримані точно.

*Допуском посадки* називається різниця між найбільшим і найменшим зазором у посадках із зазором –TS або найбільшими й найменшими натягами у посадках із натягом TN:

$$TS = S_{\max} - S_{\min}; \quad TN = N_{\max} - N_{\min}.$$

У перехідних посадках допуск посадки визначається сумою найбільшого натягу й найбільшого зазору, узятих за абсолютною величиною.

Для всіх типів допуск посадки чисельно дорівнює сумі допусків отвору й вала, тобто:

$$TS(TN) = TD + Td$$

Для посадок „Н“ нижнє відхилення отвору  $EI=0$ , тобто збігається з нульовою лінією.

Для посадок „h“ верхнє відхилення вала  $es=0$ , тобто збігається з нульовою лінією.

Поле допуску „Н“ відкладають нагору, а поле допуску „h“ – униз від нульової лінії.

Переважне значення з економічних міркувань одержала система отвору. Система вала застосовується в окремих випадках, коли потрібно чергувати з'єднання декількох отворів однакового номінального діаметра, але з різними посадками на одному валу.

Для утворення посадок із різними зазорами й натягами передбачено по 27 варіантів основних відхилень. Основним відхиленням є верхнє або нижнє відхилення найближче до нульової лінії (рис. 1.2).

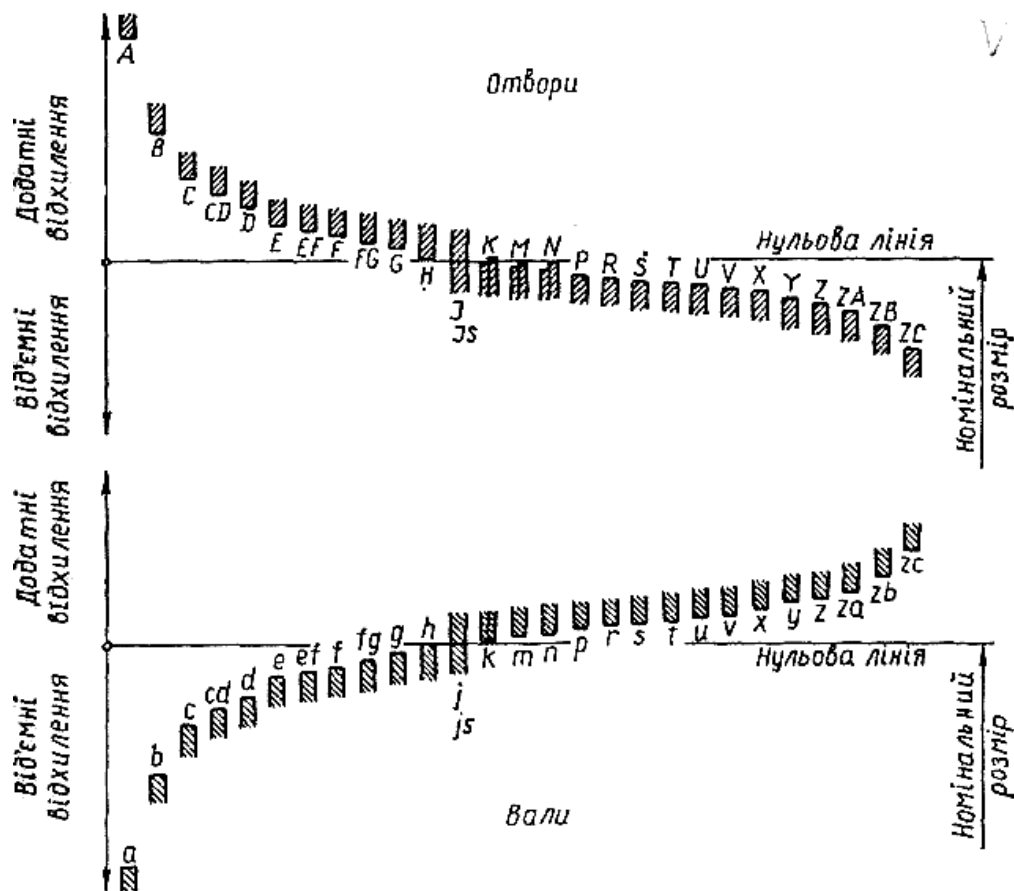


Рис. 1.2. Схема-розміщення полів допусків

Відхилення А-Н (a-h) призначені для утворення полів допусків у посадках із зазорами; відхилення І-N(i-n) – у перехідних посадках, відхилення Р-Zc(p-zc) – у посадках із натягом.

Буквою позначають ряд основних відхилень, величина яких змінюється залежно від номінального розміру.

Основні відхилення отворів побудовані таким чином, щоб забезпечити утворення посадок у системі вала, що аналогічні посадкам у системі отвору. Вони рівні за величиною й протилежні за знаком основним відхиленням валів, які позначені тією же буквою, тобто:

$EI = -es$  – для отворів від А до Н;

$ES = -ei$  – для отворів від І до ZC.

Числові значення допусків і основних відхилень, наводяться в таблицях стандарту.

Поле допуску позначають буквою основного відхилення й номером квалітету, наприклад, для вала – h6, для отвору – H6.

Поле допуску починається від горизонтальної лінії, обумовленої основним відхиленням. Друге граничне відхилення можна визначити за основним відхиленням і допуску прийнятого квалітету.

Якщо основне відхилення верхнє, то нижнє відхилення:

Для вала  $ei = es - IT$ ;

Для отвору  $EI = ES - IT$ .

Якщо основне відхилення нижнє, то верхнє відхилення:

Для вала  $es = ei + IT$ ;

Для отвору  $ES = EI + IT$ .

Величини  $ei$ ,  $es$ ,  $EI$ ,  $ES$  беруть із урахуванням знака. Верхні відхилення полів допусків валів від „а“ до „g“ і нижні відхилення відповідних отворів від „А“ до „G“ для посадок із зазором, прийняті однаковими за абсолютною величиною. Отже, зазори в однойменних посадках у системах отвору й вала є однаковими. Точність вала, як правило, на один квалітет вище точності отвору.

Поля допусків для посадок із натягом у системі допусків і посадок побудовані таким чином, щоб верхні відхилення валів у системі отвору й нижні відхилення отворів у системі вала, які відповідають тим же буквам алфавіту, були однакові за абсолютною величиною. Отже, найбільші натяги в системах отвору й вала однакові, оскільки допуски при тому самому квалітеті в обох системах однакові. Посадки з натягом призначені для одержання нерухомих нероз’ємних з’єднань.

Поля допусків для перехідних посадок Is-N(is-n) використовують у нерухомих рознімних з'єднаннях. Ці посадки характеризуються малими зазорами й натягами. *Перехідні посадки в системі отвору H/is, H/k, H/m, H/n* – це посадки, в яких зазори й натяги одержуються внаслідок з'єднання різних валів з основним отвором – H.

Верхні відхилення полів допусків валів від „i“ до „n“ і нижні відхилення відповідних отворів від „I“ до „N“ прийняті однаковими за абсолютною величиною. У перехідних посадках точність вала на один квалітет вище точності отвору. Перехідні посадки призначають в 4-8 квалітетах.

Привілеєм нової системи допусків і посадок є встановлення посадок переважного застосування. В системі отвору зазначено 16 переважних посадок, а в системі вала – 10. Переважні посадки представлені в стандарті в прямокутних рамках, наприклад

$\boxed{H7/f7}$ ,  $\boxed{H7/n6}$ ,  $\boxed{H7/p6}$

Уніфікація посадок дозволяє забезпечити однорідність конструктивних вимог до з'єднань і полегшити роботу конструкторів. Комбінуючи в різних варіантах кращі поля допусків валів і отворів, можна значно розширити можливості системи зі створення різних посадок без збільшення набору інструмента й технологічного оснащення.

### 1.3.2 Позначення граничних відхилень і посадок на кресленнях

Відповідно до стандарту, граничні відхилення лінійних розмірів указують на кресленнях, як правило, умовними (буквеними) позначеннями полів допусків або числових значень, а також буквеними позначеннями полів допусків з одночасною вказівкою праворуч у дужках їхніх числових значень (рис. 1.3).

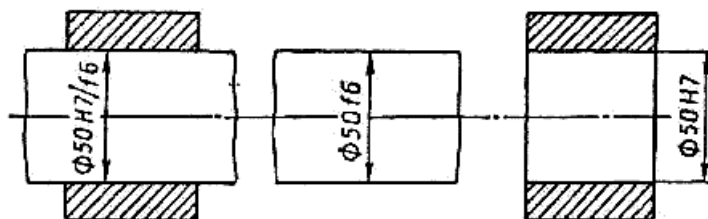


Рис.1.3. Позначення посадки й поля допуску в технічній документації

Посадки й граничні відхилення розмірів деталей у зібраному вигляді

вказують дробом. У чисельнику дробу ставлять позначення отвору, а в знаменнику – позначення поля допуску вала. Поруч із буквеним позначенням можна ставити числове значення або тільки числове значення граничного відхилення. Можна вказати граничне відхилення тільки однієї з деталей.

Для всіх розмірів, нанесених на робоче креслення, вказують граничні відхилення. Можна не вказувати граничне відхилення на розмірах ділянки різної шорсткості однієї й тієї ж поверхні, ділянки термообробки, покриття, накатки. Граничні відхилення розмірів відносно низкої точності (від 12 квалітету й грубіше) на зображенні деталі не наносять, а в технічних вимогах роблять запис: «невказані граничні відхилення розмірів отворів H14, валів h14, інших  $\pm \frac{AT16}{2}$ ».

Невказані граничні відхилення радіусів закруглень і фасок визначають також симетричними по 12-17 квалітетам.

## **1.4 Похибки виготовлення й вимірювання**

### **1.4.1 Класифікація похибок**

При виготовленні й вимірюванні виникає дві категорії похибок: систематичні й випадкові.

*Систематичними* називаються похибки, постійні за величиною і знаком, або які змінюються за певним законом. Ці похибки можуть з'являтися внаслідок неправильного налаштування верстата, інструмента й пристосувань, а також температурних деформацій верстата, пристосування, деталі, інструмента.

Прикладом систематичної похибки є похибка від розмірного зношення різального інструменту. У більшості випадків причини систематичних похибок можна виявити й усунути.

Систематичні похибки, які неможливо усунути (зношення інструмента, неточність верстата й пристосувань) потрібно враховувати допуском на розмір і форму деталі. Систематичні похибки окремих етапів виготовлення і вимірювання складають алгебраїчно, тобто з урахуванням знака.

*Випадковими* називаються похибки, непостійні за величиною і знаком, поява яких не підкоряється закономірностям. Причинами випадкових похибок є: мінливість механічних властивостей матеріалу, а також зусиль і зазорів у рухливих з'єднаннях верстата. Випадкові похибки не можуть бути визначені заздалегідь. Наявність випадкових похибок виявляють при

повторному вимірюванні однієї й тієї ж величини, коли одержуються різні числові значення.

Випадкові похибки спричиняють розсіювання розмірів деталей. Ці похибки неможливо усунути і тому їхній вплив враховують тільки допуском на розмір і форму деталей.

Випадкові величини розділяють на дискретні й безперервні. Дискретною називається така величина, що може приймати лише ряд цілком певних значень. Безперервною називається величина, що приймає будь-яке значення.

#### 1.4.2 Статистичні методи оцінки похибок виготовлення й вимірювання

Відхилення числа „n“ випадків появи події „A“ до числа „N“ всіх проведених випробувань, при яких ця подія могла з'явитися, називається *відносною частотою*:

$$W(A) = \frac{n}{N}.$$

При великій кількості випробувань, частота події „A“ стає стійкою і значення  $W(A)$  буде коливатися біля деякого постійного числа. Це число, що менше одиниці, називається *ймовірністю  $P(A)$  появи події „A“*.

За наближене значення ймовірності  $P(A)$  при досить великій кількості випробувань можна приймати частоту:

$$P(A) \approx W(A) = \frac{n}{N}.$$

Характеристики випадкових похибок можуть бути визначені статистичною обробкою результатів вимірювання.

*Діапазон розсіювання вимірюваної величини „d“ дорівнює:*

$$R = d \text{ (найбільше)} - d \text{ (найменше)}.$$

При великій кількості вимірювань діапазон розсіювання ділять на інтервали.

*Середнє арифметичне значення вимірюваної величини „d“ дорівнює:*

$$\bar{X} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i,$$

де  $N$  – число вимірювань.

*Середній арифметичний розмір* визначає положення центра розсіювання випадкових величин.

При числі спостережень понад 15, розсіювання відхилень випадкової величини від центра групування характеризується *середнім квадратичним відхиленням* „ $\sigma$ “.

При малій кількості спостережень (менш 15) розсіювання характеризують не „ $\sigma$ “, а *діапазоном розсіювання* „ $R$ “.

Середнє квадратичне відхилення знаходиться за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{x})^2 + (d_2 - \bar{x})^2 + \dots + (d_n - \bar{x})^2}{N}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{x})^2} .$$

Розсіювання випадкових величин характеризується величиною „ $\sigma^2$ “, яка називається *дисперсією* „ $D$ “.

Розсіювання випадкових величин наочно можна зобразити гістограмою, що складається із прямокутників або емпіричної кривої розподілу. По осі абсцис відкладають дійсні величини вимірюваного параметра, а по осі ординат – висоти прямокутників (для гістограми) або відрізки (для кривої).

Розсіювання значень випадкової величини, вимірювання якої залежить від великої кількості факторів, коли жоден з факторів не має переважного значення, підкоряється закону нормального розподілу ймовірностей (*закону Гауса*). За цим законом відбувається розсіювання похибок виготовлення, вимірювання розмірів, маси деталей, величин твердості й інших фізико-механічних властивостей матеріалів. Крива має симетричну, подібну до дзвонів, форму (рис. 1.4).

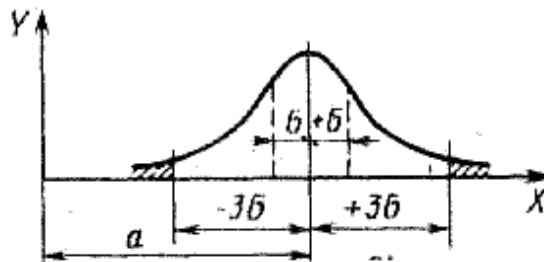


Рис.1.4. Крива щільності розподілу ймовірностей (за законом Гауса)

Рівнянням кривої нормального розсіювання є:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} ,$$

де  $y$  – щільність розподілу ймовірності;

$x$  – випадкова величина;

$a$  й  $\sigma$  – параметри розподілу.

При нормальному законі розподілу величина граничної похибки ряду вимірювання приймається рівною  $\pm 3\sigma$ , а діапазон розсіювання  $R = \pm 6\sigma$ .

Похибки, що перевищують величину  $3\sigma$ , є грубими і виключаються із загальних результатів вимірювання.

При статистичній обробці експериментальних даних визначають *показник точності*:

$$Pt = \pm \frac{100\sigma}{x\sqrt{N}} \%$$

де:  $x$  – середнє арифметичне;

$N$  – число вимірювань;

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення.

Достатня надійність результату вимірювань забезпечується, якщо показник точності не перевищує 5%. У випадку перевищення показника точності 5% необхідно збільшити число вимірювань.

### 1.5 Точність форми й шорсткість поверхні

Під *точністю обробки* розуміють ступінь наближення значення геометричних параметрів готової деталі до розрахункових значень цих параметрів, зазначених у кресленнях.

Похибка розміру визначається як різниця між дійсним і розрахунковим (конструктивним) розміром. Відмінність дійсних поверхонь від розрахункових, обумовлена наступними причинами:

1. Зношуванням інструмента й пристосувань.
2. Неточністю верстата.
3. Температурними деформаціями верстата, інструмента й деталі.
4. Помилками робітника при роботі (настроювання устаткування, установка й підведення інструмента тощо).

Тому необхідно розрізняти задану й дійсну точність деталей.

Забезпечити задану точність обробки – означає виготовити деталь так, щоб похибка її геометричних параметрів перебувала в межах установлених допусків.

При аналізі точності геометричних параметрів деталей розрізняють *номінальні поверхні*, форма яких задана кресленням, і *реальні поверхні*, що обмежують тіло. Реальне розташування поверхні визначається дійсними розмірами між ними й базами або між розглянутими поверхнями, якщо бази не дані.



Профіль поверхні – це лінія перетинання поверхні з вертикальною площиною, або заданою поверхнею.

Відхилення геометричних параметрів можна розділити на 5 груп:

1. Відхилення розміру.
2. Відхилення розташування поверхонь.
3. Відхилення форми поверхонь.
4. Хвилястість поверхні.
5. Шорсткість поверхні.

### 1.5.1 Відхилення форми й розташування поверхонь

За величину відхилення форми приймають відстань від реальної поверхні до прилягаючої поверхні.

Прилягаюча поверхня – це поверхня, яка дотикається до реальної поверхні деталі так, щоб відстань від її найбільш віддаленою точки до прилеглої поверхні була найменшою.

Відхилення від округлості (рис. 1.5) оцінюється як найбільша відстань від точок реального профілю до прилягаючої окружності. Допуск овальності – це найбільше припустиме значення відхилення від кола.

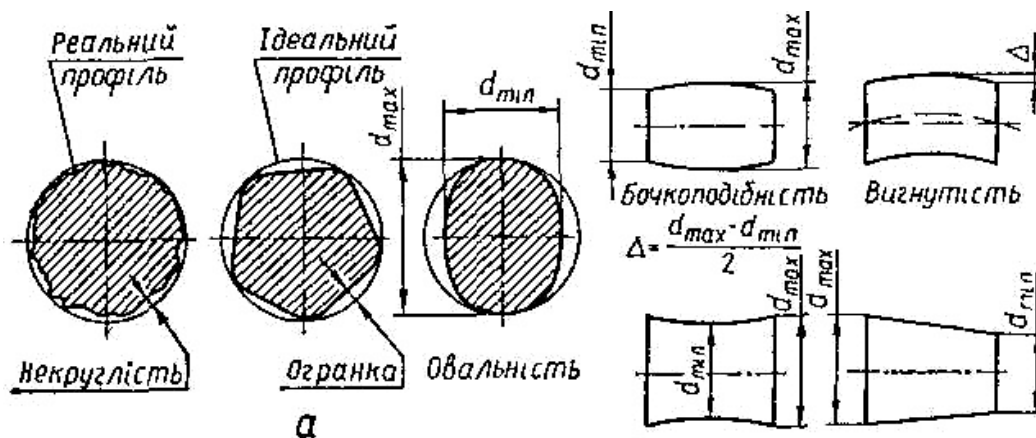


Рис. 1.5. Відхилення форми деталей із циліндричними поверхнями

Овальність – відхилення від кола, при якому найбільший і найменший діаметр перебувають у взаємно перпендикулярних напрямках.

Огранювання – відхилення від кола, при якому реальний профіль представляє багатогранну фігуру з рівними гранями. Величина огранювання дорівнює найбільшій відстані від точок реального профілю до прилеглої окружності.

Овальність виникає при биттях шпинделя верстата, а огранювання

пояснюється тимчасовою зміною центра обертання деталі, наприклад при безцентрованому шліфуванні.

*Відхилення від циліндричності* – це найбільша відстань від точок реальної поверхні до прилеглого циліндра. Поле допуску циліндричності визначається простором, обмеженим двома співвісними циліндрами, що перебувають один від одного на відстані, яка дорівнює допуску циліндричності.

Окремими видами відхилення профілю поздовжнього перетину циліндра є: конусоподібність, бочкаподібність і сідлоподібність.

До відхилень форми деталей із плоскими поверхнями належать відхилення від прямолінійності й площинності. *Відхилення від прямолінійності (непрямолінійність)* – відхилення від прямої лінії профілю перетину поверхні площиною, нормально розташованої до неї в заданому напрямку (рис. 1.6).

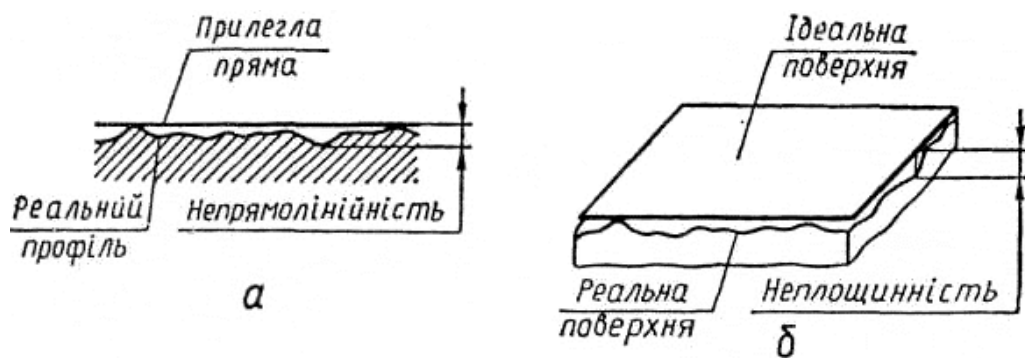


Рис. 1.6. Відхилення форми деталей із плоскою поверхнею

*Відхилення від площинності* визначається як найбільша відстань від точок реальної поверхні до прилеглої площини (рис.1.6 б). Поле допуску площинності – це область між двома паралельними площинами, що лежать на відстані допуску площинності. Окремими видами відхилень від площинності є опуклість і угнутість.

Стандартом передбачене також нормування відхилень розташування поверхонь деталей.

*Відхилення від паралельності площин* – це різниця найбільшої й найменшої відстаней між прилеглими площинами в межах нормованої ділянки.

*Відхилення від перпендикулярності вісі й нахилу площин* – це найбільша відстань між дійсною й номінальною поверхнею в межах нормованої ділянки.

*Відхилення від симетричності* – це найбільша відстань між базовою й

розглянутою площинами симетрії в межах нормованої ділянки.

*Відхилення від співвісності*, від перетину осей і позиційний допуск – це величина зміщення осей від їхнього номінального розташування в межах нормованої ділянки.

*Радіальне биття* – є результатом спільного прояву відхилення від округлості профілю й відхилення його центра від базової вісі. Воно дорівнює різниці найбільшої й найменшої відстаней від точок реального профілю до базової вісі.



*Торцеве биття* – це різниця найбільшої і найменшої відстані від точок торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до вісі обертання.

*Допуски розташування можуть бути залежними й незалежними.*

Залежним називається змінний допуск розташування (у кресленні вказують мінімальне значення), що допускає перевищення на величину, яку оцінюють залежно від дійсних розмірів визначальних елементів усіх деталей.

Незалежним називається допуск розташування або форми, величина якого постійна для всіх деталей і не залежить від дійсних відхилень розмірів розглянутих поверхонь.

Вид допуску форми й розташування поверхонь позначаються на кресленні знаком:

|  |   |
|--|---|
| 1. Допуск круглості                      |  |
| 2. Допуск профілю повздовжнього перерізу |  |
| 3. Допуск циліндричності                 |  |
| 4. Допуск площинності                    |  |
| 5. Допуск прямолінійності                |  |
| 6. Допуск паралельності                  |  |
| 7. Допуск перпендикулярності             |  |
| 8. Допуск радіального і торцевого биття  |  |
| 9. Допуск співвісності                   |  |
| 10. Допуск симетричності                 |  |
| 11. Допуск пересічення осей              |  |
| 12. Позиційний допуск                    |  |

Знак і числове значення допуску вписуються в рамку: на першому місці – знак, на другому – числове значення допуску; на третьому – базу

щодо якої визначається допуск (рис. 1.7). Рамку з'єднують із контурною лінією виробу або виносною лінією.

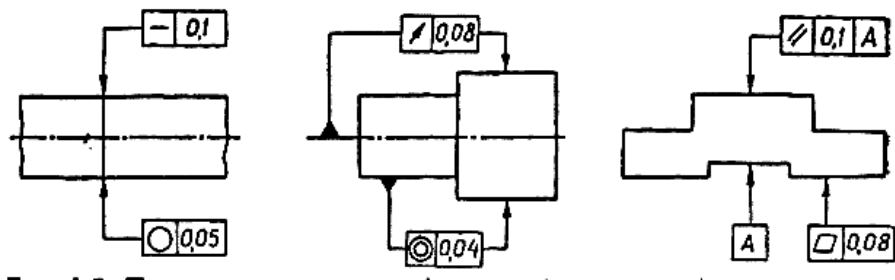


Рис. 1.7 Позначення графічних відхилень форми деталей на кресленнях

Бази позначають заштрихованим трикутником, що з'єднують лінією з рамкою допуску або базу позначають буквою.

Залежні допуски розташування й форми позначають умовним знаком **M**, що поміщають після значення допуску або бази.

### 1.5.2. Позначення й контроль шорсткості поверхні

Під *хвилястістю* поверхні розуміють сукупність періодично повторюваних нерівностей, у яких відстань між виступами або западинами перевищує їхню висоту.

Границю між різними видами відхилень поверхні можна встановити за значенням відхилення кроку  $S_w$  до висоти нерівностей  $W_z$ . При відхиленні  $S_w/W_z > 1000$  відхилення відносять до відхилень геометричної форми, при  $S_w/W_z < 40$  – відносять до шорсткості, при  $1000 > S_w/W_z > 40$  – до хвилястості.

*Шорсткістю* поверхні називають сукупність нерівностей з малими кроками на базовій довжині „ $l$ “. Шорсткість є наслідком деформації поверхні деталі при її обробці різальним інструментом. Числові значення шорсткості визначають від єдиної бази, за яку прийнята середня лінія профілю. Середня лінія профілю проводиться так, щоб у межах базової довжини середнє квадратичне відхилення профілю до цієї лінії було мінімальним.

Шорсткість поверхні в більшості випадків визначають двома основними параметрами. Середнім арифметичним відхиленням профілю –  $R_a$  і висотою нерівностей профілю за десятьма точками –  $R_z$ , при чому параметр  $R_a$  є кращим.

Середнє арифметичне  $R_a$  абсолютних значень відхилень у межах базової довжини визначають за формулою:

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

де  $n$  – число обраних точок профілю в межах базової довжини;

$Y_i$  – глибина  $i$ -ї найбільшої западини в межах базової довжини.

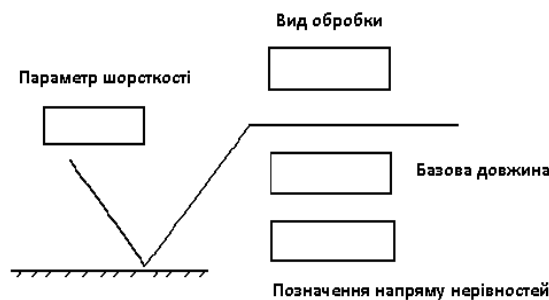
Параметр  $R_z$  – сума середніх значень абсолютних висот п'яти найбільших виступів і п'яти найбільших западин у межах базової довжини:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |Y_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |Y_{i \min}| \right).$$

При позначенні шорсткості за ДСТУ 2413 – 94 застосовують наступні знаки:

- ✓ – без вказівки виду обробки (на розсуд технолога). Знак є кращим;
- ✓ – для позначення шорсткості поверхонь, які обробляють на верстатах;
- ✓ – без зняття шару матеріалу: лиття, ковка, прокат, поверхні, не оброблювані за цим кресленням.

Для вказівки виду обробки й інших пояснювальних написів застосовують ці знаки з полицею:



Для позначення шорсткості, на умовному знаку для параметра  $R_a$  указують тільки числову величину, для  $R_z$  – буквений символ і числову величину після нього.

Коли всі поверхні деталі мають однакову шорсткість, її позначення поміщають у правому верхньому кутку креслення й на зображення не наносять. При вказівці однакої шорсткості для частини поверхонь деталі, на яких не нанесені позначення шорсткості, у правому верхньому куті креслення крім однакої шорсткості ставлять знак (✓).

Позначення шорсткості поверхонь на зображенні деталі розташовують на лініях контуру, або виносних лініях.

Контролюють шорсткість контактним методом, за допомогою щупових

приладів (профілометрами й профілографами), і безконтактним – оптичними приладами (мікроінтерферометрами й подвійними мікроскопами).

У промисловості застосовують профілографи й профілометри. Принцип дії приладів контактного типу заснований на досліджуванні поверхні алмазною голкою й перетворенні коливань голки у відповідну зміну напруги електричного струму.

### **1.5.3. Вплив відхилення форми, взаємного розташування, хвилястості й шорсткості поверхні на якість деталей машин**

Відхилення форми й поверхні деталей спотворюють теоретичний характер посадок, створюють нерівномірність зазорів і є причиною передчасного зношування деталей у рухливих посадках.

Контакт деталей в з'єднаннях відбувається по вершинах мікронерівностей. Питомий тиск на вершинах мікронерівностей часто перевершує допустиме напруження, що викликає розрив масляної плівки, зминання й руйнування вершин мікронерівностей. Унаслідок цього в початковий період роботи рухливих з'єднань відбувається інтенсивне зношування деталей, і це збільшує зазор між ними.

У нерухомих посадках відхилення форми поверхні позначаються на ослабленні міцності з'єднання деталей внаслідок неоднорідності величини натягу й зминання гребенів нерівностей на поверхнях при запресовуванні.

Корозія металу виникає й поширюється швидше на грубо оброблених поверхнях, особливо в місцях концентрації напружень.

Отже, для тривалого збереження початкової точності машин і підвищення їхньої довговічності необхідно правильно регламентувати відхилення форми деталей, взаємне розташування, хвилястість і особливо шорсткість їхніх поверхонь.

*Технологічним* називають допуск, що забезпечується при технологічному процесі. Допуск розміру повинен обмежувати величину сумарної похибки.

Технологічний допуск на виготовлення деталі дорівнює:

$$Tr = V_{lim} + \sum A_{icust},$$

де  $V_{lim}$  – розсіювання контрольованого параметра;

$\sum A_{icust}$  – алгебраїчна сума систематичних похибок при даному технологічному процесі.

Таким чином, допуск на виготовлення визначають, виходячи з необхідності компенсації як випадкових, так і систематичних похибок

обробки, якщо систематичні похибки не можуть бути усунуті.

## 1.6. Допуски й посадки гладких з'єднань

### 1.6.1. Принципи побудови систем допусків і посадок

У цей час більшість країн світу застосовує міжнародну систему допусків і посадок ISO .

*Системою допусків і посадок* називають сукупність рядів допусків і посадок, закономірно побудованих на основі досвіду, результатів досліджень і оформлених у вигляді стандартів. Стандарт ДСТУ 2500 – 94.

Система допусків і посадок побудована за принципом: утворення посадок в системі отвору й системі вала.

Посадка утворюється сполученням поля допуску отвору й поля допуску вала. Умовна позначка посадки подається у вигляді дробу: у чисельнику вказується позначення поля допуску отвору, а в знаменнику – позначення поля допуску вала, наприклад: H8 / a7 – у системі отвору; P7/h6 – у системі вала. Можливе утворення посадок із зазором, із натягом і перехідних.

### 1.6.2. Вибір посадок

Посадки із зазором призначають для пар з точним центруванням, у яких допускається повертання й поздовжнє переміщення деталей.

Посадка  $\boxed{H7/h6}$  застосовується при не дуже високих вимогах до точності центрування (змінні зубчасті колеса у верстатах, корпуса підшипників кочення).

Посадки H/h 9-12 квалітетів застосовують при низьких вимогах до точності центрування (шківні, зубчасті колеса, муфти із кріпленням шпонкою).

Посадка типу  $\boxed{H7/q6}$  застосовується для точних рухливих з'єднань (шпиндель в опорах ділильної головки, у плунжерних парах).

Посадка  $\boxed{H7/f7}$  застосовується в підшипниках ковзання.

Перехідні посадки H/js; H/h; H/m; H/n; H/k – використовують у нерухомих рознімних з'єднаннях. Для гарантії нерухомості деталь додатково укріплюють шпонками, гвинтами. Перехідні посадки передбачені в 4-8 квалітетах. У них точність вала на один квалітет вище точності отвору. Посадка H7/is6 використовується для змінних зубчатих коліс, шківів, муфт.

Посадки з натягом призначені для одержання нерухомих з'єднань, як

правило, без додаткового кріплення деталей.

Посадка  $H7/p6$  застосовується у з'єднаннях тонкостінних деталей і при впливі невеликих навантажень, гарантує найменший натяг.

Посадка  $H7/s6$  – для з'єднання маточини й вінця черв'ячного колеса, втулок підшипників ковзання. Посадки  $H8/x8$ ;  $H8/z8$  застосовуються при найбільших навантаженнях.

### 1.6.3. Система допусків і посадок для підшипників кочення

За стандартом діаметри зовнішнього й внутрішнього кілець підшипника прийняті відповідно за діаметри основного вала й основного отвору. Отже, посадки зовнішнього кільця з корпусом здійснюються за системою вала, а посадки внутрішнього кільця з валом – за системою отвору. Однак поле допуску на діаметр отвору внутрішнього кільця розташоване в „-“ від номінального розміру, а не в „+“, як у звичайного основного отвору.

Посадки потрібно вибирати так, щоб внутрішнє кільце (циркуляційне навантаження) підшипника було змонтовано з натягом, що виключає можливість проковзування цього кільця в процесі роботи, а інше кільце (місцеве навантаження) потрібно монтувати із зазором.

Рекомендації з вибору посадок підшипників кочення представлені в табл. 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1

#### Посадка внутрішніх кілець підшипника на вал

| Вид навантаження кільця                     | Режим роботи          | Позначення поля допуску |
|---|-----------------------|-------------------------|
| Місцеве (внутрішнє кільце не обертається)   | Легкий                | g6                      |
|   | Нормальний або важкий | h6                      |
| Циркуляційне (внутрішнє кільце обертається) | Легкий                | k6                      |
|   | Нормальний            | m6                      |
|   | Важкий                | p6                      |



## Посадка зовнішніх кілець підшипників у корпусі

| Вид навантаження кільця           | Режим роботи | Позначення поля допуску вала |
|-----------------------------------|--------------|------------------------------|
| Місцеве (корпус не обертається)   | Нормальний   | Is7, H7                      |
|                                   | Важкий       | K6, M7                       |
| Циркуляційне (корпус обертається) | Нормальний   | K6, M7                       |
|                                   | Важкий       | N7                           |

Для підшипників зубчастих і черв'ячних редукторів найбільш часто застосовують поле допуску вала під підшипник по  $k_6$  і  $m_6$ , а поле допуску отвору корпусу – по  $H7$  (рис. 1.8)

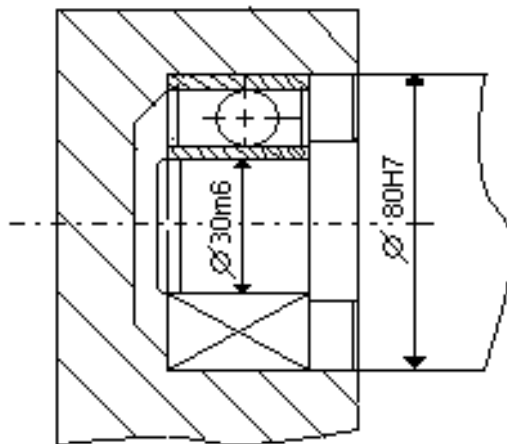


Рис. 1.8. Позначення посадок підшипників кочення на кресленнях

#### 1.6.4. Допуски й посадки деталей із пластмас

Точність розмірів литих деталей із пластмас може відповідати 9 квалітету й грубіше.

Обробкою різанням деталей із пластмас можна досягти точності в межах 8-12 квалітетів. Допуски на невідповідальні розміри деталей із пластмас потрібно призначати по 14-16 квалітету.

### 1.6.5. Допуски й посадки шпонкових з'єднань

Для одержання різних посадок установлено три типи шпоночних з'єднань: нормальне, вільне й щільне. Шпонки необхідно виготовляти з допуском на розмір по ширині  $h9$ . При вільному з'єднанні поля допусків для паза на валу  $H9$ , на втулці –  $D10$ . При нормальному з'єднанні пази на валу й втулці повинні бути відповідно  $N9$  і  $Js9$ . Для щільного з'єднання пази на валу й втулці виготовляють із допуском  $P9$ . З'єднання нормальні й щільні будуть мати перехідні посадки.

Стандартом нормовані відхилення висоти шпонки по  $h11$ , довжини шпонок – по  $h14$ , а довжини пазів на валу – по  $H15$ .

### 1.7. Допуски й посадки зубчастих і черв'ячних передач

Незалежно від ступеня точності виготовлення зубчастих і черв'ячних коліс передбачено шість видів з'єднань –  $A, B, C, D, E, H$ . При збільшенні бічного зазору від  $H$  до  $A$  збільшуються й допуски на бічні зазори:  $h, d, c, b, a, z, y, x$ .

Точність виготовлення зубчастих і черв'ячних передач задають ступенем точності та видом з'єднання по нормах бічного зазору.

Наприклад: 7- $C$  – передача зі ступенем точності 7 з видом з'єднання „ $C$ “ і допуском на бічний зазор „ $c$ “ ,

8-7-6- $Va$  – передача зі ступенем 8 по нормах кінематичної точності, ступенем 7 по нормах плавності роботи, ступенем 6 по нормах контакту зубів, з видом з'єднання коліс „ $V$ “ і видом допуску „ $a$ “ на бічний зазор.

### 1.8. Допуски й посадки різьбових з'єднань

До основних параметрів різьби належать:

1. Зовнішній діаметр  $d$  ( $D$ ) – (діаметр по вершинах для зовнішньої й западинам для внутрішньої різьби);

2. Внутрішній діаметр  $d_1$  ( $D_1$ ) – (діаметр по западинах зовнішньої й вершинам внутрішньої різьби);

3. Середній діаметр  $d_2$  ( $D_2$ ) – діаметр уявного циліндра, поверхня якого перетинає різьбу так, що ширина вершин дорівнює ширині западин;

4. Крок різьби  $P$  – відстань між однойменними точками двох сусідніх витків.

Основні геометричні параметри метричних різьб регламентовані стандартами ГОСТ 9150 – 81, ГОСТ 8724 – 81, ГОСТ 24705 – 81.

Залежно від характеру з'єднання по бічних сторонах профілю різьби

(тобто по середньому діаметру) розрізняють посадки із зазором, натягом і перехідні посадки.

Для одержання посадок різьбових деталей із зазором передбачено п'ять основних відхилень для зовнішньої ( $d, e, f, g, h$ ) і 4 для внутрішньої різьблень (E, F, G, H).

Стандартом передбачено 7 ступенів точності різьблення, починаючи з 3 і по 9-ту. Найпоширенішою є різьба з невеликим зазором 5H/6g.

Допуски на внутрішній діаметр ( $d_1$ ) зовнішньої різьби й зовнішній діаметр (D) внутрішньої різьби не встановлюють.

Позначення поля допуску різьби ставлять після вказівки її розміру, наприклад, *болт M12-6g, гайка M12-6H*.

Посадки різьбових деталей позначають дробом, у чисельнику якої вказують поле допуску гайки, а в знаменнику – поле допуску болта, наприклад: *M12-6H/6g*.

Посадки з натягом по середньому діаметру використовують у тих випадках, коли конструкція вузла не допускає застосування з'єднання типу «болт – гайка» через можливе порушення герметичності й самовідгвинчування шпильок під дією вібрації й зміни робочої температури. Прикладом може слугувати посадка різьби шпильок у корпус двигуна. Шпильку варто вгвинчувати в корпус туго, щоб виключити її провертання при затягуванні або при відгвинчуванні гайки на іншому кінці шпильки.

Допуски на внутрішній діаметр зовнішньої різьби не встановлюють. Верхнє відхилення зовнішнього діаметра внутрішньої різьби ( $D_1$ ) також не регламентують.

Перехідні посадки застосовують при одночасному додатковому заклинюванні шпильок, наприклад по збігу різьби.

## **1.9. Допуски розмірів, що входять у розмірні ланцюги**

### **1.9.1. Основні поняття про розмірні ланцюги**

*Розмірним ланцюгом* називають сукупність розмірів, що створюють замкнутий контур. На кресленні не проставляють розмір замикаючої ланки, оскільки для обробки він не потрібен. Розміри, які утворюють розмірний ланцюг, називають *ланками розмірного ланцюга*.

Розмірний ланцюг називають лінійним, якщо всі ланки паралельні (див. рис. 1.9).

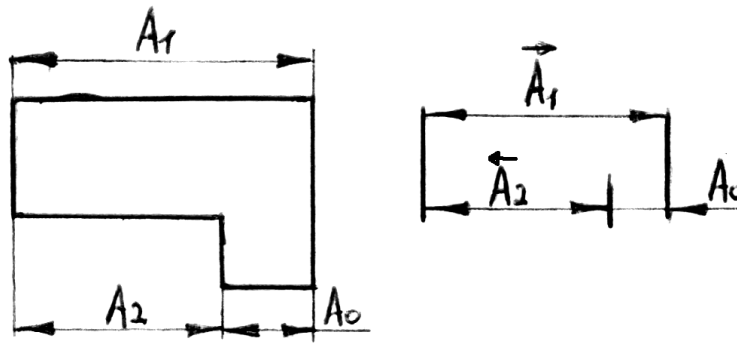


Рис. 1.9. Схема лінійного розмірного ланцюга

Розмір, що виходить останнім у процесі обробки або зборки називається *закриваючим* ( $A_0$ ). Його величина й точність залежать від величини й точності всіх інших розмірів ланцюга, які називаються *складовими* ( $A_1 A_2 \dots A_{m-1}$ ).

Складовий розмір ( $A_1$ ) називається *збільшуваним*, якщо зі збільшенням його величини розмір закриваючої ланки ( $A_0$ ) також збільшується, а розмір ( $A_2$ ) називають *зменшуваним*, якщо зі збільшенням його величини закриваючий розмір зменшується. На схемі перші позначають стрілками над літерними позначеннями ланок спрямованими вправо, а другі – стрілками вліво.

Сутність розрахунку розмірного ланцюга полягає у встановленні допусків і граничних відхилень всіх її ланок виходячи з вимог конструкції й технології.

Щоб забезпечити повну взаємозамінність, розмірні ланцюги розраховують за методом максимуму і мінімуму, при якому допуск закриваючого розміру визначають арифметичним додаванням допусків складових розмірів.

У загальному випадку при „ $n$ ” збільшуваних і „ $p$ ” зменшуваних розмірів, номінальний розмір закриваючої ланки лінійного розмірного ланцюга дорівнює:

$$A_0 = \sum_{i=1}^n A_i \text{ув.} - \sum_{i=n+1}^{n+p} A_i \text{ум},$$

або для трьохланкового ланцюга:  $A_0 = A_1 - A_2$ .

Якщо прийняти загальне число ланок ланцюга рівним „ $m$ ”, а загальне число складових ланок рівним  $m-1=n+p$ , то допуск закриваючого розміру розраховується в такий спосіб:

$$TA_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i ,$$

тобто допуск замикаючого розміру дорівнює сумі допусків складових розмірів.

Порядок обробки й зборки деталей потрібно будувати таким чином, щоб замикаючим був менш відповідальний розмір, оскільки його похибка буде найбільшою.

Якщо відомі допуски всіх складових розмірів ланцюга крім одного розміру „ $A_g$ ” і відомий допуск замикаючого розміру, то допуск будь-якого складового розміру дорівнює:

$$TA_g = TA_0 - \sum_{i=1}^{m-2} TA_i .$$

Граничні відхилення замикаючого розміру визначається за рівняннями:

$$E_s(A_0) = \sum_{i=1}^n E_s(A_i)_{ув.} - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_i(A_i)_{ум} ,$$

$$E_i(A_0) = \sum_{i=1}^n E_i(A_i)_{ув.} - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_s(A_i)_{ум} ,$$

де  $E_s$  і  $E_i$  – значення верхнього й нижнього відхилень.

Для компенсації похибки застосовують нерухомі й рухливі *компенсатори*. Роль компенсатора звичайно виконує спеціальна ланка у вигляді набору прокладок, проміжних кілець, регульованого упору, клина.

Номінальний розмір ланки, що компенсує, відповідно до вищенаведеної формули для замикаючої ланки, складає:

$$A_0 = \sum_{i=1}^n A_i_{ув.} - \sum_{i=n+1}^{n+p} A_i_{ум.} \pm K .$$

Значення „ $K$ ” беруть зі знаком „плюс”, коли він є збільшуваним й зі знаком „мінус” у протилежному випадку. Граничні відхилення номінального розміру ланки, що компенсує, з урахуванням наведених вище рівнянь для замикаючої ланки, складає:

$$E_s(A_0) = \sum_{i=1}^n E_s(A_i)_{ув.} - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_i(A_i)_{ум.} \pm E_i(K) ,$$

$$E_i(A_0) = \sum_{i=1}^n E_i(A_i)_{ув.} - \sum_{i=n+1}^{n+p} E_s(A_i)_{ум.} \pm E_s(K)$$

Коли „К” є зменшуваним розміром, його граничне відхилення у формулах має знак „мінус” і знак „плюс” у протилежному випадку.

Вираз для заданого допуску замикаючого розміру при наявності компенсатора приймає вид:

$$TA_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i - VK ,$$

де  $TA_i$  – допуски складових розмірів,

$m$  – загальне число ланок ланцюга,

$VK$  – величина компенсації.

## 2. СТАНДАРТИЗАЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

### 2.1. Основні поняття про стандартизацію

*Стандартизація* – це планова діяльність зі встановлення обов’язкових правил, норм і вимог, виконання яких забезпечує економічно оптимальну якість продукції, підвищення продуктивності праці і ефективності використання матеріальних цінностей при дотриманні вимог безпеки.

*Стандарт* – нормативно-технічний документ, що встановлює комплекс норм, правил, вимог до об’єкту стандартизації і затверджений компетентним органом.

На конкретний виріб розробляються технічні умови, які встановлюють комплекс вимог до цієї продукції.

*Уніфікація* – це раціональне скорочення числа об’єктів однакового функціонального призначення. Уніфікація – це форма стандартизації, що полягає в об’єднанні в одному двох і більш документів (технічних умов) з таким розрахунком щоб вироби, які регламентуються цим документом, можна було взаємозамінювати.

Основою уніфікації є систематизація й класифікація.

*Систематизація* – це розташування предметів, явищ або понять в певному порядку, зручному для користувача. Наприклад: алфавітний каталог книг в бібліотеці.

Різновидом систематизації є *класифікація*, яка розташовує предмети, явища й поняття по класах, підкласах і розрядах. Наприклад, створений універсальний десятковий класифікатор літератури: УДК-62 – техніка, УДК-622 – гірнича справа, УДК-621.3:622 – електротехніка в гірничій справі.

*Типізація* конструкцій виробів – розробка типових конструкцій, що містять конструктивні параметри загальні для виробів.

*Симпліфікація* – форма стандартизації, яка має на увазі зменшення кількості типів виробів до числа достатнього для задоволення потреб, існуючих на сьогодні. В об’єкти симпліфікації не вносять які-небудь технічні удосконалення.

Стандарти розділяють на наступні категорії: державні (ДЕСТ), стандарти підприємств (СТП), міжнародні стандарти (МС).

Залежно від змісту стандарти ділять на:

1. Технічні умови.

2. Загальні технічні вимоги.
3. Параметри і розміри.
4. Сортаменти.
5. Правила приймання.
6. Методи випробувань.
7. Правила експлуатації і ремонту.

Єдина система конструкторської документації (ЄСКД) встановлює для всіх організацій країни порядок проектування нової продукції, що сприяє підвищенню рівня взаємозамінності виробів.

## **2.2. Якість машин і система управління якістю**

*Якість продукції* – сукупність властивостей і показників, що визначають придатність виробів для задоволення певних потреб відповідно до їх призначення.

Встановлені наступні *показники якості*:

1. Показники призначення, що характеризують корисний ефект від використання продукції.
2. Показники надійності і довговічності.
3. Показники технологічності.
4. Естетичні показники.
5. Показники стандартизації і уніфікації.
6. Патентно-правові показники (патентний захист).
7. Економічні показники.

Для машинобудування найефективнішими показниками якості є експлуатаційні характеристики машин.

*Експлуатаційні показники* – це характеристики якості виконання виробом заданих функцій. З них загальними для всіх виробів є показники надійності, довговічності, динамічної якості, ергономічні показники й показники економічності експлуатації.

Ергономічні показники повинні бути встановлені для кожного типу системи „людина – машина – середовище” і окремо на кожну машину, що входить в дану систему. Найважливішими з них є зручне розташування органів управління, простота експлуатації, обзорність робочої зони, допустимий рівень вібрації і шуму. Основною задачею ергономіки є створення оптимальних естетичних, фізіологічних, психологічних, технічних і організаційних умов для високопродуктивної праці й забезпечення



необхідних зручностей, які сприяють розвитку здібностей працівника і отримання ним задоволення від роботи.

Залежно від заданих функцій, виробниці можуть володіти різноманітними специфічними й експлуатаційними показниками: точність, швидкість, вантажопідйомність, потужність, прохідність, продуктивність, легкість переналагодження.

Вимоги до продукції можуть встановити замовники у технічних вимогах, стандартах на продукцію, контрактних угодах і регламентах (ДСТУ ISO 9000:2007).

У стандарті ISO 9001 встановлено вимоги до систем управління якістю. Рис. 2.1. ілюструє систему управління якістю, так звану «петлю якості» описану у стандартах ISO серії 9000.

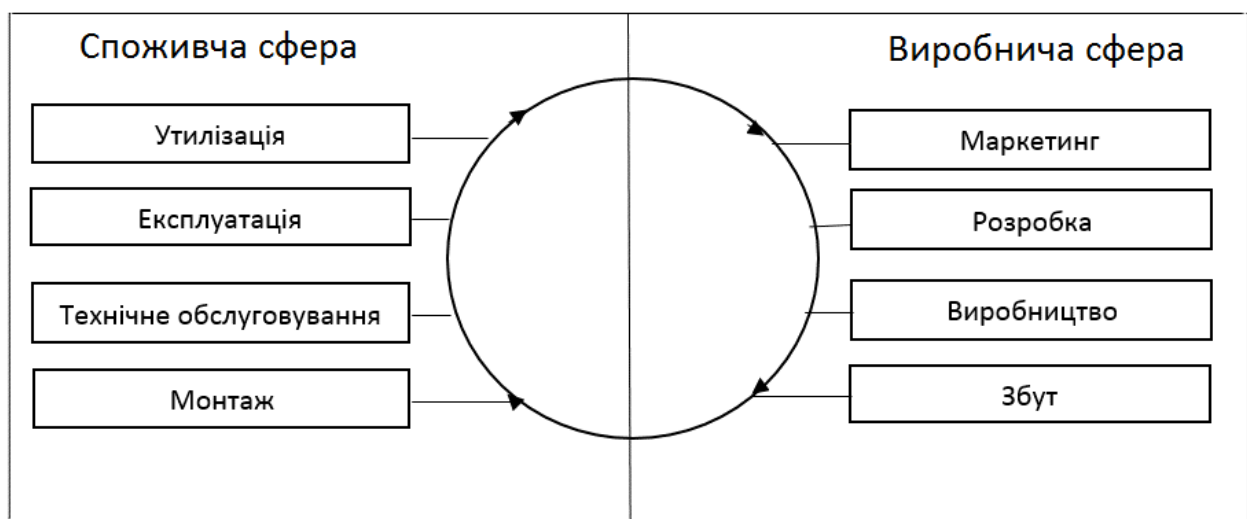


Рис. 2.1 Система управління якістю продукції

Відстежування задоволеності зацікавлених сторін вимагає оцінювання інформації щодо сприйняття цими сторонами ступеня задоволення їх потреб.

Для оцінки якості машин застосовують інтегральні показники, які відображають відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації машини до сумарних витрат на її створення й експлуатацію. Такою характеристикою слугує середня собівартість одиниці продукції створюваною машиною за весь термін її служби.

Крупною міжгалузеву системою стандартів, що має велике значення для підвищення якості продукції, є Єдина система технологічної підготовки виробництва до серійного випуску машин (ЄСТПВ). ЄСТПВ заснована на широкому вживанні типових технологічних процесів, типового оснащення,

Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), Єдиної системи технологічної документації (ЄСТД).

Найважливішою складовою частиною системи управління якості є *сертифікація продукції*. Сертифікації підлягає вся промислова продукція з початку серійного виробництва, окрім продукції, що використовується без попередньої обробки (нафта, вугілля, руда, газ, природні харчові продукти і т.д.), а також теплової і електричної енергії, продукції після ремонту, медикаментів, книг, творів мистецтв і ювелірних виробів. Національним органом зі стандартизації та сертифікації є Держстандарт України. Стандарти про сертифікацію ДСТУ 3410 – 96, ДСТУ 3413 – 96 системи УКРСЕПРО містять положення про вимоги до оформлення документації.

Форма сертифіката залежить від ступеня відповідності обов'язковим вимогам (ДСТУ 2296 – 95):

форма 1 – продукція відповідає всім обов'язковим вимогам,

форма 2 – відповідає більшості вимог,

форма 3 – відповідає тільки деяким вимогам.

Сучасна система якості повинна відповідати стандарту ДСТУ ISO 9001 – 2001 «Система управління якістю».

Для забезпечення високої якості виробів розробляються програми стандартизації, в яких систематизуються, оптимізуються і ув'язуються всі чинники, що забезпечують оптимальний рівень якості продукції в необхідні терміни.

Велике значення в підвищенні якості промислової продукції має стандартизація загальних норм, деталей і вузлів загальномашинобудівного вживання. Це зокрема такі об'єкти, як норми проектування (система допусків і посадок, профілі різьб і зубів зірочок, розміри кінців валів), методи розрахунку на точність, міцність, довговічність, методи і засоби контролю, конструкція кріпильних деталей, муфт, редукторів та ін. Як найповніша, комплексна стандартизація проведена по підшипниках кочення, на які діє 75 стандартів.

### **2.3. Вимірювальні засоби**

Засоби вимірювання, які застосовуються в машинобудуванні за призначенням можна розділити на універсальні і спеціальні. Спеціальні засоби призначені для вимірювання одного або декількох параметрів деталей певного типу.

До вимірювальних засобів належать: штангенциркулі, штангензубоміри, штангенглибиноміри, штангенрейсмуси, штангензубоміри, мікрометричні, механічні, оптичні, оптико-механічні, пневматичні прилади.

Мікрометричні вимірювальні інструменти засновані на використанні гвинтової пари (гвинт – гайка), яка перетворює обертальний рух мікрогвинта в поступальний. За призначенням мікрометри поділяють на: гладкі для вимірювання зовнішніх розмірів, нутроміри для визначення внутрішніх розмірів, глибиноміри, спеціальні мікрометри (листові, трубні, зубомірні з різьбовими вставками).

До механічних вимірювальних приладів належать прилади із зубчатою передачею – індикатори годинникового типу. В даний час випускаються індикатори годинникового типу з цифровим (електронним) відліком показників.

Прилади з пружинною і пружинно-оптичною передачею: мікрокатори і оптикатори, які мають ціну розподілу шкали 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 мкм.

Оптико-механічні прилади – оптиметри, довгоміри, вимірювальні машини, інструментальні мікроскопи, проектори. Діапазон вимірювань приладів: від 0 до 1080 мм, точність складає 1 мкм.

Особливою точністю до 0,2 мкм володіють інтерферометри, що працюють в діапазоні вимірювань 0 ÷ 150 мм.

Для контролю лінійних розмірів в машинобудуванні набули поширення пневматичні прилади типа Солекс і Ротаметр, а також лазери. Лазерні вимірювальні пристрої використовують у корабле-, літако-, ракетобудуванні.

#### **2.4. Контроль гладких з'єднань**

Для контролю точності розмірів циліндричних деталей застосовуються як універсальні засоби, так і спеціальні – калібри, які контролюють дотриманням нижнього і верхнього граничних розмірів деталей з допуском від IT6 до IT17. Найменшому розміру відповідає робочий прохідний калібр – Р-ПР, а робочий непрохідний – Р-НЕ – відповідає найбільшому розміру деталі, який допускається.

Для контролю отворів використовують пробки, а для контролю валів – скоби.

Для установки регульованих калібр-скоб і контролю нерегульованих калібр-скоб застосовують контрольні калібри.

Для контролю глибин, висот уступів застосовуються калібри, які конструктивно являються пластинами різної форми. Прохідну сторону в них позначають буквою *B* (велика), а непрохідну – *M* (менша).

Для контролю кінчних поверхонь застосовують кутові міри, шаблони і конусні калібри. Зовнішні конуса контролюють за допомогою калібрів – втулок, внутрішні – калібрами-пробками.

Для виготовлення калібрів застосовують загартовану хромову сталь. Оснащення калібрів твердими сплавами в 40 разів підвищує зносостійкість.

## 2.5. Методи вимірювання різьб

Надійні і достатньо точні засоби вимірювання окремих параметрів є тільки для зовнішніх різьб. Середній діаметр можна вимірювати на інструментальному мікроскопі, методом двох або трьох проволокон і різьбовими мікрометрами.

Вимірювання середнього діаметру методом трьох проволокон є найпоширенішим. При цьому вимірюється розмір *M* оптичним, вертикальним довгоміром або мікрометром.

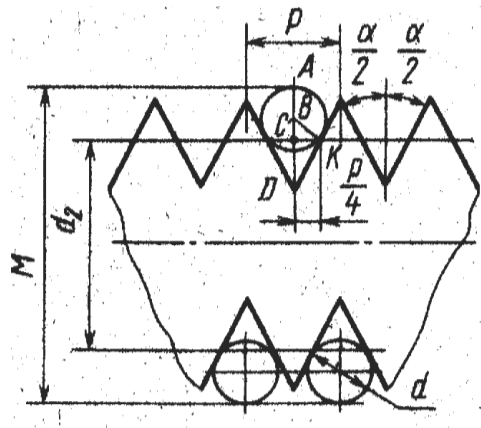


Рис. 2.2. Вимірювання середнього діаметру методом трьох проволокон

У результаті геометричних побудов визначений середній діаметр різьби:

$$d_2 = M - 3d + 0,866P,$$

де *d* – діаметр проволоки;

*α* – кут профілю різьби.

Діаметр проволочки визначають з умови торкання профілю різьби в точках, де ширина канавки дорівнює половині кроку різьби:

$$d=P/\cos\alpha/2,$$

де  $P$  – крок різьби;

$\alpha$  – кут профілю різьби.

При невеликому числі витків застосовують метод «двох проволочок». Крок різьби і значення половини кута профілю вимірюють на мікроскопах або на проекторах.

Внутрішній діаметр зовнішніх різьб вимірюють за допомогою мікроскопів, а також загострених вставок до різьбового мікрометра.

Параметри внутрішньої різьби визначають на мікроскопах. Через труднощі поелементного (диференційованого) контролю, особливо внутрішніх різьб, на практиці застосовують граничні калібри.

Згвинчуваність прохідного (ПР) калібру з гайкою означає, що середній і зовнішній діаметри різьби гайки не виходять за встановлені граничні розміри.

Згвинчуваність прохідного калібру з болтом свідчить про те, що діаметри різьби не виходять за встановлені найбільші межі.

У комплект для контролю циліндричних різьб входять також непрохідні калібри (НЕ). Ці калібри не повинні згвинчуватися з болтом і гайкою, за винятком перших двох витків.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яка мета міжнародної сертифікації?
2. Чим відрізняється симпліфікація від уніфікації?
3. Що таке взаємозамінність?
4. Які є види відхилень розташування поверхонь?
5. Які параметри шорсткості?
6. Як позначається шорсткість на кресленнях?
7. Що таке хвилястість поверхонь?
8. Що таке посадки?
9. Як позначаються граничні відхилення та посадки на кресленнях?
10. Що таке розмірний ланцюг?
11. Як визначається допуск замикаючої ланки?
12. Які похибки виготовлення деталей неможливо попередити?
13. Якими інструментами вимірюються внутрішні та зовнішні розміри втулки з точністю до 0.01 мм?
14. Що таке якість продукції?
15. Які основні показники якості машин?
16. У яких межах знаходяться відхилення дійсних розмірів від середнього розміру більшості оброблюваних заготовок?
17. Що таке сертифікація?
18. Що таке стандарт?
19. Чому дорівнює допуск розміру?
20. Які калібри використовують для контролю отворів?
21. У яких одиницях виміру вказують граничні відхилення на кресленнях?
22. Які існують види стандартів?
23. Які існують методи контролю точності різьби?
24. Значення якого параметра шорсткості вказують на кресленнях без символу?
25. Як позначають на кресленнях бази?
26. У яких одиницях вказують висоту нерівностей поверхні при позначенні шорсткості на кресленні?
27. Де на кресленнях позначається однакова шорсткість поверхонь?
28. Що означає непрохідність прохідного калібру?
29. Який номер відповідає найточнішому квалітету?
30. Яка механічна передача використовується у мікрометрах?
31. Які посадки призначені для нерухомих нероз'ємних з'єднань?

32. Як монтують кільце підшипника кочення, що випробовує циркуляційні навантаження?
33. Які переваги взаємозамінності?
34. До якої групи різьблень відносять метричну різьбу?
35. Як позначають лани допусків у системі ISO?
36. Які основні параметри метричної різьби?
37. Що таке квалітет?
38. Що називають основним отвором, основним валом?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко Т. Г. Основи стандартизації / Т. Г. Бойко – Львів : Львівська політехніка, 2004. – 250 с.
2. Державна система стандартизації України. Основні положення: ДСТУ 1.0 – 93. – [чинний від 2003.07.01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2003. – 20 с. – (Національний стандарт України).
3. Кирилюк Ю. Е. Допуски і посадки / Ю. Е. Кирилюк, З. Н. Ломаченко. – Київ : Вища школа, 1989. – 133 с.
4. Мягков В. Д. Допуски и посадки / В. Д. Мягков. – Ленинград : Машиностроение, 1978. – 626 с.
5. Перегудова В. І. Метрологія, основи стандартизації та керування якістю : навч. посіб. / В. І. Перегудова. – Бердянск : БДПУ, 2013. – 195 с.
6. Сертифікація. Основні поняття. Терміни та визначення: ДСТУ ISO 17000:2007. – [чинний від 2008.04.01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с. – (Національний стандарт України).
7. Система управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001 – 2001. – [Чинний від 2001.01.01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2001. – 23 с. – (Національний стандарт України).
8. Шаповал М. І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікації : підручник / М. І. Шаповал. – [3-тє вид.] – Київ : Видавництво Європ. Ун-ту, 2001. – 174 с.
9. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, И. И. Федотов. – [6-е изд.]. – Москва : Машиностроение, 1986. – 352 с.
10. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: ДСТУ 2925 – 94. – [чинний від 01.01.1996]. – Київ : Держспоживстандарт України, 1995. – 28 с. – (Національний стандарт України).