

1. Характеристика точності деталей

2. Основні терміни і визначення

3. Основні положення Єдиної системи допусків і посадок (ЄСДП)

4. Основи вибору точності під час проектування виробів машинобудування

1. Характеристика точності деталей

У ринкових умовах основною задачею конструкторів і технологів є розробка й виготовлення принципово нових виробів високої якості, що забезпечили б їхню конкурентноздатність і одержання прибутку.

На жаль, планово-розподільча система в колишньому СРСР повною мірою не стимулювала працівників до досягнення високої якості, оскільки належним чином не була спрямована на запити споживачів і була відсутня конкуренція.

Тим часом, саме *розробка креслярської і технологічної документації, що пов'язана з вибором необхідної точності поверхонь і шорсткості, обґрунтуванням посадок, з урахуванням технологічних особливостей обробки, вибором контрольно-вимірювальних засобів, розрахунком розмірних ланцюгів і особливо з обґрунтованим нормуванням відхилень форми й розташування в першу чергу формує якісні показники машинобудівних виробів.*

При оцінці і нормуванні точності геометричних параметрів деталей розрізняють поверхні: номінальні (ідеальні, що не мають ніяких відхилень форми й розмірів), форма яких задана кресленням, і реальні (дійсні), що обмежують деталь, відокремлюючи її від навколишнього середовища. Реальні поверхні деталей одержують у результаті обробки на металорізальних верстатах чи іншому формотворному устаткуванні.

Ступінь наближення дійсних параметрів до ідеального називається *точністю*. Точність характеризується дійсною похибкою (дійсна точність) чи межами, що обмежують значення похибки (нормована точність). Чим більш вузькі ці межі, тим менші похибки, тим вище точність.

Точність деталей за геометричними параметрами є сукупне поняття, що характеризується наступними відхиленнями поверхонь від номінальних:

- відхилення розмірів елементів;
- відхилення форми поверхонь (макрогеометрія поверхні);
- хвилястість поверхонь;
- шорсткість поверхонь (мікрогеометрія);
- відхилення розташування елементів.

Похибки геометричних параметрів не тільки неминучі, але і допустимі в тих межах, при яких деталь ще задовольняє вимогам правильного складання, функціонування машини і забезпечує якісні показники. Не можна вимагати одержання абсолютно точного (ідеального) значення параметра, тобто нульової похибки, тому що ця вимога нездійсненна в реальних умовах виготовлення й вимірювань. Не можна також обмежитися встановленням тільки номінальних значень параметрів деталей, тому що при виготовленні можуть виникнути настільки великі похибки, що деталь не буде задовольняти своєму службовому призначенню. Конструктор повинен вирішити дві нерозривні задачі: установити номінальні значення

параметрів деталі і нормувати точність виготовлення цих параметрів шляхом призначення меж, що обмежують їхні похибки. Ці межі в процесі виготовлення й контролю деталей є критеріями їхньої придатності. Складність задачі з призначення меж для припустимих похибок полягає в тому, що її рішення жадає від конструктора всебічного обліку як умов функціонування та експлуатації виробу, так і умов його виготовлення й складання. Умови ці суперечливі: для правильного функціонування може вимагатися звуження меж допустимих похибок, а для економічного виготовлення – розширення. Критерієм оптимального вирішення даної задачі є дотримання необхідної якості виробу при вартості його виготовлення й експлуатації, що забезпечують прибуток і конкурентноздатність.

Похибки поверхонь у процесі виготовлення виникають під дією ряду причин, серед яких слід зазначити:

- похибки самого формотворного устаткування;
- похибки оброблюючого інструмента й пристосувань;
- знос інструмента;
- пружні деформації у системі верстат – пристосування – інструмент – деталь (ВПД, а російською – СПИД; станок – приспособление – инструмент – деталь);
- температурні деформації системи ВПД;
- похибки, що залежать від обраної технологічної схеми й режимів обробки;
- похибки вимірювань, включаючи похибки вимірювальних засобів;
- неоднорідність розмірів, матеріалу й інші похибки заготовок.

У результаті при обробці деталей виникає явище розсіювання відхилень поверхонь, причому для різних видів відхилень характерні свої закони розподілу їх.

Закон розсіювання випадкових похибок у вигляді рівняння і відповідної кривої встановлює залежність між значенням випадкової похибки і імовірністю її появи. Як закон розсіювання випадкових похибок розміру при сталих процесах виготовлення деталей практично частіше інших зустрічається закон *нормального розподілу*, що характеризується кривою, наведеною на рис. 2 і розташованою симетрично щодо центра групування.

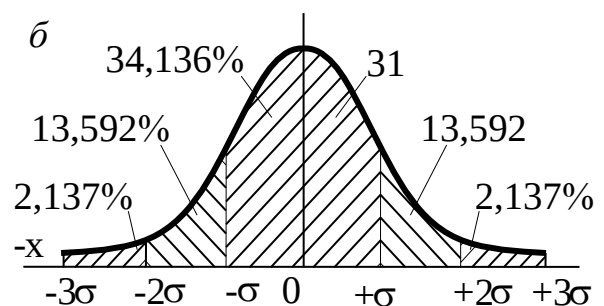
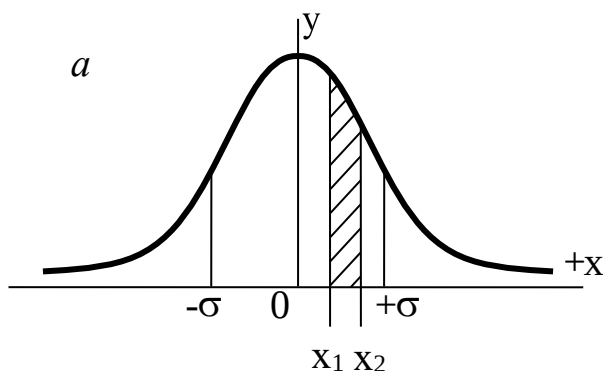


Рисунок 2 – Крива нормального розподілу відхилень розмірів при виготовленні деталей

Імовірність одержання випадкової похибки зі значеннями, що лежать у межах від

x_1 до x_2 , визначається площею, укладеною між кривою щільності імовірності, віссю абсцис і ординатами точок x_1 і x_2 (на рис. 2 заштрихована). Цю імовірність можна визначити за допомогою інтегральної функції імовірності $\Phi(z)$, що виражає імовірність того, що випадкове значення x_1 буде менше заданого значення x . Аргументом функції $\Phi(z)$ є безрозмірне відношення $z = x/\sigma$. Таким чином,

$$P_{x_1 \leq x_i \leq x_2} = P_{0 \leq x_i \leq x_2} - P_{0 \leq x_i \leq x_1} = \Phi(z_2) - \Phi(z_1),$$

де $z = x_1/\sigma$, $z_2 = x_2/\sigma$, а значення $\Phi(z)$ можуть бути визначені за таблицею інтегральної функції.

Для від'ємних значень параметру z $\Phi(-z) = -\Phi(z)$. Уся площа під кривою щільності ймовірностей у діапазоні $-\infty < z < +\infty$ дорівнює 1.

На рис. 2, б показана ймовірність одержання випадкових похибок у різних діапазонах значень у випадку нормального розподілу. Основна маса деталей (68%) виходить з розмірами, що лежать у зоні $\pm\sigma$ щодо центра групування. Імовірність появи похибок зі значеннями, що перевищують $\pm 3\sigma$, складає всього 0,27%. Цією величиною звичайно зневажають і приймають, що практична зона розсіювання розмірів при обробці знаходиться в межах $\pm 3\sigma$ тобто дорівнює 6σ .

Ми розглянули суть неминучого явища розсіювання параметрів точності поверхонь при обробці деталей. Однак розсіювання характерне також і для інших характеристик якості виробів – це явище фахівці з якості називають *варіабельністю* показників якості.

Сучасна концепція якості істотно спирається на глибоку ідею про мінімізацію варіабельності як про ефективний засіб досягнення конкурентноздатності, якості продукції при одночасному зниженні її собівартості. Ця концепція просліджується від піонерських робіт У. Шухарта, початих у середині 20-х років, через ідеї американського професора Е. Демінга, з ім'ям якого міцно асоціюється післявоєнне «японське економічне чудо», і методи японського професора Г. Тагуті, що приводять до перегляду принципів інженерних розробок, теорії допусків і економіки систем якості.

Будь-яке підприємство прагне реалізувати ефективну систему забезпечення якості і робити однорідну (однакову) продукцію, що задовольняє потреби споживачів. Ступінь же цієї однорідності (однаковості) саме і характеризується варіабельністю характеристик якості (у нашому випадку – показників точності) у межах необхідних значень чи номіналів (у нашому випадку, як буде показано нижче, – у межах *поля допуску*).

2 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ

Основні терміни й визначення в галузі взаємозамінності встановлені міждержавним стандартом ГОСТ 25346-82.

Номінальний розмір – розмір, що служить початком відліку відхилень і щодо якого визначають граничні відхилення. Для деталей, що складають з'єднання, номінальні розміри є однаковими. Номінальні розміри знаходять розрахунком деталей на міцність і твердість, а також виходячи з досконалості геометричних форм і забезпечення технологічності конструкцій виробів.

Для скорочення числа типорозмірів заготовок деталей, ріжучого й вимірювального інструмента, штампів, пристроїв, а також для полегшення типізації технологічних процесів значення розмірів, отримані розрахунком, треба округляти (як правило, у більшу сторону) у відповідності зі значеннями, зазначеними в ГОСТ 6636-69. Ряди нормальних лінійних розмірів (діаметрів, довжин, висот і т.п.), поміщені в цьому стандарті, побудовані на базі рядів пріоритетних чисел (ГОСТ 8032-80), прийнятих в усьому світі, з деяким округленням їхніх значень.

Стандарт передбачає 4 основних ряди розмірів, що являють собою геометричні прогресії зі знаменниками

$$R5 = \sqrt[5]{10} \approx 1,6; R10 = \sqrt[10]{10} \approx 1,25; R20 = \sqrt[20]{10} \approx 1,12; R40 = \sqrt[40]{10} \approx 1,06.$$

Застосування цього стандарту на підприємствах означає, наприклад, що розміру 60 немає в рядах R5, R10, R20 (він може бути використаний тільки, якщо на підприємстві задіяний також ряд R40), а розмірів 55, 65, 70 – у жодному з усіх чотирьох рядів (зате доводиться проставляти в кресленнях такі «некрасиві» розміри як 56, 63, 71)!

Коротше кажучи, фрагмент ряду розмірів 50-80, що рекомендуються для застосування, при використанні рядів R5, R10, R20, R40 має вигляд: ...50, 53, 56, 60, 63, 67, 71, 75, 80...

Технологічні міжопераційні розміри, ті розміри, що залежать від інших прийнятих розмірів, а також розміри, регламентовані в стандартах на конкретні вироби (наприклад, середній діаметр різьб), можуть не відповідати ГОСТ 6636-69.

Дійсний розмір – розмір, установлений вимірюванням з допустимою похибкою. Цей термін уведений, тому що неможливо виготовити деталь з абсолютно точними необхідними розмірами і виміряти їх без внесення похибки.

Граничні розміри деталі – два гранично допустимі розміри, між якими повинен знаходитися або яким може дорівнювати дійсний розмір придатної деталі. Більший з них називають **найбільшим граничним розміром**, менший – **найменшим граничним розміром**. Позначають їх $D_{\max}$ і $D_{\min}$ для отвору, $d_{\max}$ і $d_{\min}$ – для вала (рис. 3). Порівняння

дійсного розміру з граничними дає можливість дійти висновку про придатність деталі.

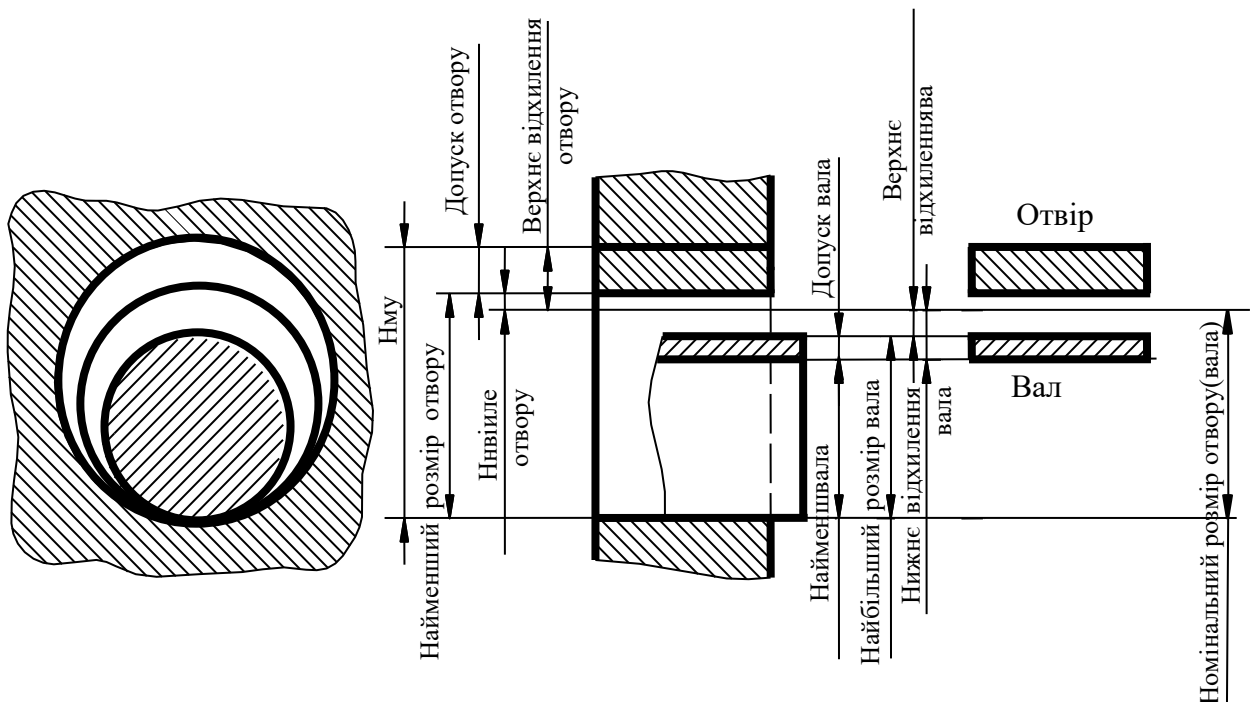


Рисунок 3 – Поля допусків отвору і вала в з'єднанні із зазором (відхилення отвору додатні, відхилення вала від'ємні)

Для спрощення креслень встановлені граничні відхилення від номінального розміру: **верхнє граничне відхилення** ES , es (від франц. Ecart superieur) – алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і номінальним розмірами; **нижнє граничне відхилення** EI , ei (від франц. Ecart interieur) – алгебраїчна різниця між найменшим граничним і номінальним розмірами. Відхилення є додатнім, якщо граничний чи дійсний розмір більше номінального, і від'ємним, якщо зазначені розміри менші номінального. Граничні відхилення в таблицях допусків указують у мікрометрах.

На машинобудівних кресленнях номінальні розміри і їхні відхилення проставляють у міліметрах без указівки одиниці вимірювання (ГОСТ 2.307-68), наприклад:

$$50^{+0,80}_{+0,15}, \quad \varnothing 45^{+0,75}_{-0,10}, \quad \varnothing 120^{-0,35}_{-0,85}.$$

При рівності абсолютних значень відхилень їх вказують один раз з позначкою $\pm$ поруч з номінальним розміром, наприклад, $60 \pm 0,2$.

Допуском називають різницю між найбільшим і найменшим допустимими значеннями того чи іншого параметра.

Допуск T (від лат. Tolerance – допуск) розміру – різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами або значення алгебраїчної різниці між верхнім і нижнім граничними відхиленнями.

Дійсно, як видно з рис. 3, граничні розміри:

- для отвору

$$D_{\max} = D + ES, \quad D_{\min} = D + EI; \quad (1)$$

- для вала

$$d_{\max} = d + es, \quad d_{\min} = d + ei. \quad (2)$$

Звідси допуски отвору й вала

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI; \quad (3)$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei. \quad (4)$$

Граничні відхилення можуть бути додатними, від'ємними, одне з них може бути рівним 0, але допуск завжди величина додатня.

Допуск розміру визначає допустиме поле розсіювання дійсних розмірів придатних деталей у партії, тобто задану точність виготовлення. Зі збільшенням допуску якість виробів, як правило, погіршується, але вартість виготовлення зменшується.

Для спрощення допуски можна зображувати графічно у вигляді полів допусків (див. рис. 3, б). При цьому вісь виробу (на рис. 3 не показана) завжди розташовують під схемою.

Поле допуску – поле, обмежене верхнім і нижнім відхиленнями. Поле допуску визначається значенням допуску і його положенням щодо номінального розміру. При графічному зображенні поле допуску укладене між двома лініями, що відповідають верхньому й нижньому відхиленням щодо нульової лінії.

Нульова лінія – лінія, що відповідає номінальному розміру, від якої відкладають відхилення розмірів при графічному зображенні допусків і посадок. Якщо нульова лінія розташована горизонтально, додатні відхилення відкладають нагору від неї, а від'ємні – униз.

Розглянуті параметри позначені на рис. 4.

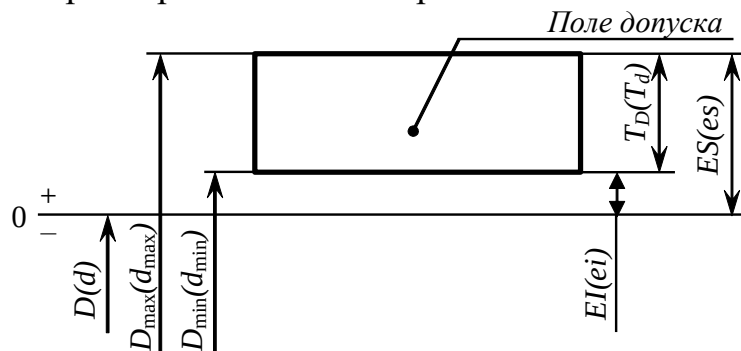


Рисунок 4 – Позначення параметрів точності поверхні отвору (вала)

Дві або декілька рухомо чи нерухомо з'єднані деталі називають *сполученням*. Поверхні, по яких відбувається з'єднання деталей, називають *спряженими поверхнями*. Інші поверхні називають *неспряженими поверхнями (вільними)*. Відповідно до цього розрізняють розміри *спряжених і неспряжених (вільних) поверхонь*.

У з'єднанні деталей, що входять одна в іншу, є охоплюючі й охоплювані поверхні. **Вал** – термін, застосовуваний для позначення зовнішніх (охоплюваних) елементів (поверхонь) деталей. **Отвір** - термін, застосовуваний для позначення внутрішніх (охоплюючих) елементів (поверхонь) деталей. Терміни "отвір" і "вал" відносяться не тільки до циліндричних деталей круглого перетину, але і до елементів деталей іншої форми, наприклад, обмеженими двома рівнобіжними площинами (паз, шпонка).

Посадкою називають характер з'єднання деталей, обумовлений величиною зазорів чи натягів, що виходять у ньому. Посадка характеризує свободу відносного переміщення деталей, що з'єднуються, чи ступінь опору їхньому взаємному зсуву.

У залежності від взаємного розташування полів допусків отвору й вала посадка може бути: із зазором (див. рис. 3), з натягом чи перехідною (тут можливе одержання як зазору, так і натягу). Схеми полів допусків для різних посадок приведені на рис. 5. *Зазор S* – різниця розмірів отвору й вала, якщо розмір отвору більший розміру вала. Зазор забезпечує можливість відносного переміщення складених деталей. *Найбільший, найменший зазори* визначають за формулами

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}, \quad S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}. \quad (5)$$

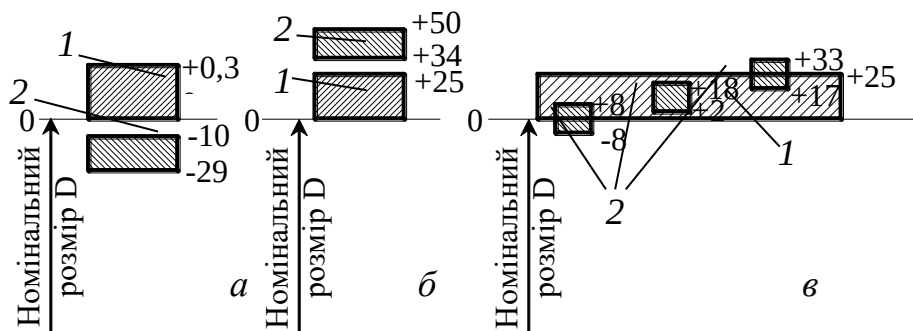


Рисунок 5 – Приклади схем розташування полів допусків з'єднань

Натяг N – різниця розмірів вала й отвору до складання, якщо розмір вала більший розміру отвору. Натяг забезпечує взаємну нерухомість деталей після їхнього складання.

Найбільший, найменший натяги визначають за формулами

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}, \quad N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}. \quad (6)$$

Однак, як указувалося вище, у кресленнях наводять не граничні розміри, а номінальний розмір D (d) і граничні відхилення ES (es) і EI (ei).

Підставляючи вирази (1) і (2) у формули (5) і (6) для граничних зазорів і натягів, одержуємо:

$$S_{\max} = ES - ei, \quad S_{\min} = EI - es; \quad (7)$$

$$N_{\max} = es - EI, \quad N_{\min} = ei - ES. \quad (8)$$

Посадка з зазором – посадка, при якій забезпечується зазор у з'єднанні (поле допуску отвору розташовано над полем допуску вала, рис. 5, а). До посадок із зазором відносяться також посадки, у яких нижня границя поля допуску отвору співпадає з верхньою границею поля допуску вала, тобто коли $S_{\min} = 0$.

Посадка з натягом – посадка, при якій забезпечується натяг у з'єднанні (поле допуску отвору розташоване під полем допуску вала, рис. 5, б).

Перехідна посадка – посадка, при якій можливе одержання як зазору, так і натягу (поля допусків отвору й вала перекриваються частково чи цілком, рис. 5, в).

Допуск посадки – різниця між найбільшим і найменшим граничними зазорами (допуск T_S зазору в посадках із зазором) чи найбільшим і найменшим граничними натягами (допуск *натягу* T_N у посадках з натягом):

$$T_S = S_{\max} - S_{\min}, \quad T_N = N_{\max} - N_{\min}.$$

У перехідних посадках допуск посадки – сума найбільшого зазору і найбільшого натягу:

$$T_{S,N} = S_{\max} + N_{\max}.$$

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

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

Приклад. Для з'єднань, представлених на рис. 5, визначимо чисельні значення розглянутих параметрів.

Для з'єднання із зазором (рис. 5, а):

Номинальний діаметр $D = d = 63$ мм.

Граничні відхилення:

$$es = -0,010 \text{ мм}; \quad ei = -0,029 \text{ мм}; \quad ES = +0,030 \text{ мм}; \quad EI = 0.$$

Допуски:

$$T_d = es - ei = 0,019 \text{ мм}; \quad T_D = ES - EI = 0,030 \text{ мм}.$$

Граничні розміри:

$$d_{\max} = d + es = 63 + (-0,01) = 62,99 \text{ мм};$$

$$D_{\max} = D + ES = 63 + 0,030 = 63,030 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 63 + (-0,029) = 62,971 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = D + EI = 63 + 0 = 63,0 \text{ мм}.$$

Граничні зазори:

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

$$S_{\min} = EI - es = 0 - (-0,01) = 0,010 \text{ мм}.$$

Допуски посадок:

$$T_{\Pi} = T_d + T_D = 0,019 + 0,030 = 0,049 \text{ мм};$$

$$T_{\Pi} = T_S = S_{\max} - S_{\min} = 0,059 - 0,010 = 0,049 \text{ мм}.$$

Аналогічно знаходять параметри інших видів з'єднання (з'єднання з натягом, рис. 5, б чи з'єднань з перехідними посадками, рис. 5, в).

3 Основні положення єдиної системи допусків і посадок (ЕСДП)

3.1 Поняття про системи допусків і посадок і їхнє призначення

Система допусків і посадок – сукупність рядів допусків і посадок, закономірно побудованих на основі досвіду, теоретичних і експериментальних досліджень і оформлених у вигляді стандартів. У промисловості розроблені і діють системи допусків і посадок на різні, переважно типові, види сполучень: гладенькі, конічні, різьбові, шпонкові, шліцові, зубчасті передачі й ін.

При розробці систем допусків і посадок намагаються досягти наступних основних цілей.

1 Скорочення номенклатури різального й вимірювального інструмента. У різних механізмах нерідко можуть зустрітися з'єднання однакового номінального розміру.

Розміри спряжених поверхонь, як було показано вище, повинні бути задані конструктором з указівкою допустимих відхилень. При відсутності стандарту могло статися так, що однакові розміри деталей в аналогічних посадках виявилися б заданими з різними відхиленнями, тобто мали б різні граничні розміри.

Оскільки для виготовлення деталей певного розміру часто застосовується спеціальний мірний різальний інструмент і розміри деталей перевіряються граничними калібрами, то для одержання деталей з різними граничними розмірами довелося б мати велику кількість зазначених інструментів.

Для зменшення непродуктивних витрат на мірний різальний інструмент і калібри необхідно було обмежити конструкторів у виборі граничних розмірів в аналогічних посадках. Це і було зроблено шляхом створення стандарту, що встановлює для кожного виду посадки певні граничні розміри спряжених деталей.

2 Розширення можливостей спеціалізації й кооперування підприємств. Робота промисловості за єдиним стандартом допусків і посадок дає можливість організувати масове виробництво часто застосовуваних деталей і вузлів машин (болти, гайки, шайби, шпильки, штифти, кулькові й роликові підшипники, зубчасті колеса і т.д.) на спеціалізованих підприємствах. Наприклад, Дружківський метизний завод цілком спеціалізований на виготовленні різьбових деталей.

Масове виробництво деталей із застосуванням спеціальних верстатів-автоматів і автоматичних ліній значно зменшує вартість їхнього виготовлення.

Установка на місці деталей, виготовлених за єдиним для всіх галузей промисловості стандарту допусків і посадок не вимагає ніяких підгінних робіт; деталі можна використовувати в будь-якій машині, на будь-якому машинобудівному підприємстві.

3 Здешевлення виробництва різального інструмента й калібрів. Застосування єдиного для всього машинобудування стандарту допусків і посадок створило настільки велику потребу в однакових різальних інструментах і граничних калібрах, що для їхнього виготовлення створюються спеціальні заводи, котрі випускають ці інструменти в масових кількостях. Наприклад, Харківський інструментальний завод спеціалізується на виготовленні різьбообразуючого інструмента (плашки, головки), збірних різців і фрез, а основною продукцією Запорізького інструментального заводу є фрези, свердла, мітчики.

Різальні інструменти цих підприємств купуються всіма машинобудівними підприємствами незалежно від виду виробів, що випускаються ними.

4 Краще використання різального інструмента й калібрів. При частому повторенні однакових граничних розмірів у деталях мірний різальний інструмент і калібри однакового розміру будуть використовуватися частіше і вартість їхнього виготовлення буде окупатися швидше.

Система упорядковує і полегшує призначення допусків і посадок у з'єднаннях, обмежуючи промисловість мінімально необхідними, але достатніми можливостями вибору точності й характеру сполучень. Стандарти, що є складовими частинами системи застосовуватись у всьому машинобудуванні при різних видах проектування, включаючи курсові і дипломні проекти в навчальних закладах.

Значення систем допусків і посадок, що відповідають стандартам ISO, неможливо переоцінити в умовах ринкової економіки й виходу продукції України на міжнародні ринки, оскільки при цьому забезпечується її сумісність і взаємозамінність із продукцією інших країн.

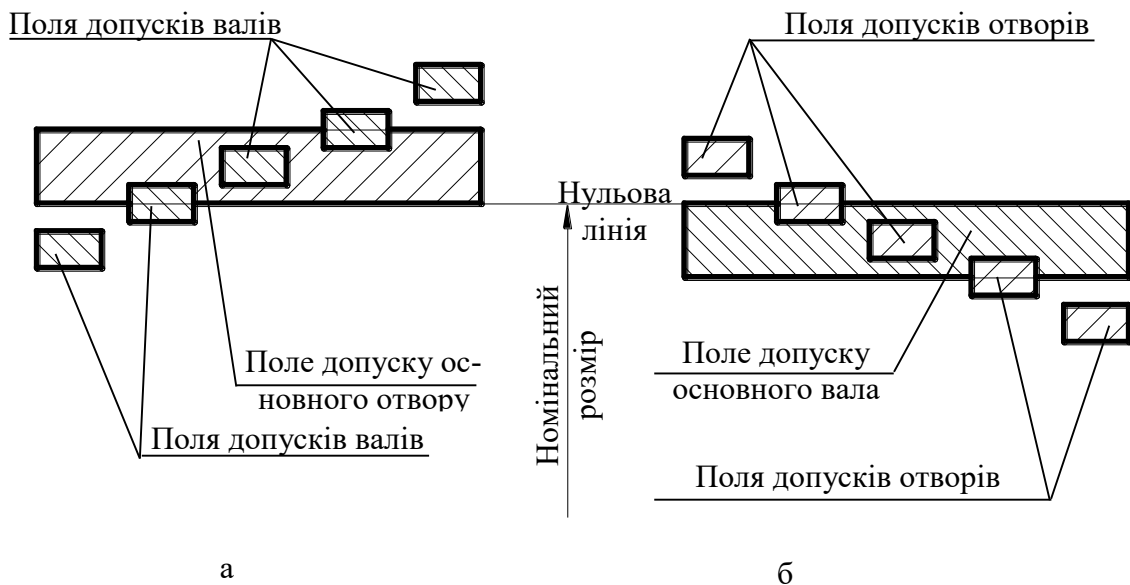
Будь-яка система визначається рядом вихідних ознак. Найбільш наочно й повно їх можна розглянути на прикладі *системи допусків і посадок гладеньких з'єднань* (ГОСТ 25346-82).

3.2 Основні положення єдиної системи допусків і посадок (ЕСДП)

Підстава системи. У різних механізмах можуть зустрітися отвори і вали однакового номінального діаметра, що сполучаються між собою з різними посадками.

Для одержання тієї чи іншої посадки досить змінити граничні розміри тільки однієї з деталей, що сполучаються, наприклад, валів, щодо отворів, що мають однакові граничні розміри.

Отже, для одержання різних посадок досить для всіх отворів даного діаметра задати тільки допуск їхнього розміру і зберегти найменший граничний розмір рівним номінальному, тобто $EI = 0$, а потрібні посадки одержати, змінюючи обидва граничні розміри валів (рис. 6, а).



а - система отвору; б - система вала

Рисунок 6 – Схеми розташування полів допусків з'єднань

Подібна система побудови посадок називається системою постійного отвору чи просто **системою отвору**. Отвір у цій системі є основною деталлю системи і його називають **основним отвором**.

Але до створення потрібних посадок можна підійти й інакше, а саме – для усіх валів даного діаметра задати тільки допуск їхнього розміру і зберегти найбільший граничний розмір рівним номінальному, тобто $es = 0$, а всі необхідні посадки одержати зміною граничних розмірів отворів (рис. 6, б). Система посадок, побудована за цим способом, називається системою *постійного* вала чи просто **системою вала**. У цій системі основною деталлю чи підставою системи є вал, тому його називають **основним валом**.

Очевидно, що з погляду взаємодії деталей, що сполучаються, зовсім байдуже, за якою із систем дана посадка побудована. Потрібні зазори чи натяги в сполученні можуть бути отримані за будь-якою системою.

Однак питання про прийняття тієї чи іншої системи впливає на розміри витрат на різальний і вимірювальний інструмент, а також на конструкцію виготовлених машин і механізмів.

За системою отвору необхідні посадки створюються зміною граничних розмірів вала, а за системою вала – зміною граничних розмірів отвору.

Однак валу можна додати різні граничні розміри на токарському чи шліфувальному верстаті наприклад, різцем чи шліфувальним кругом. Для

одержання ж різних граничних розмірів отворам, що найчастіше формуються за допомогою мірного різального інструмента (свердло, зенкер, розвертка, протяжка), для кожного поля допуску буде потрібно окремий різальний інструмент.

Отже, при роботі за системою вала для кожного номінального діаметра сполучення при обробці отворів необхідно стільки різучих інструментів різних розмірів, скільки мається різних посадок.

При роботі ж за системою отвору для одержання будь-якої кількості посадок даного номінального розміру буде потрібно мірний різальний інструмент тільки одного розміру.

Таким чином, система отвору є більш економічною, ніж система вала, у відношенні витрат на дорогий мірний різальний інструмент для обробки отворів.

Примітка. Слід зауважити, що економічність системи отвору має місце тільки в одиничному й серійному виробництві. У масовому виробництві при наявності великої кількості оброблюваних деталей, мірний різальний інструмент буде використовуватися до повного фізичного зносу і його номенклатура в даному випадку не буде мати значення.

Однак ряд галузей машинобудування не може за характером виготовлюваних ними машин і механізмів обмежитися застосуванням системи отвору. Наведемо кілька прикладів.

Якщо при виготовленні трансмісійного вала (рис. 7) прийняти систему отвору, то різні посадки здійснювалися б шляхом додання відповідних розмірів валу на кожній ділянці сполучення його з отворами.

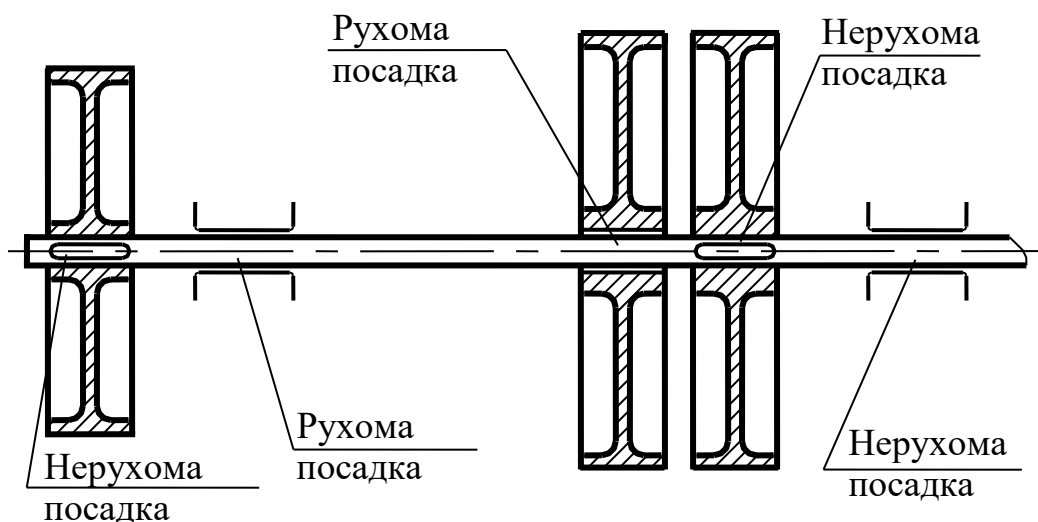


Рисунок 7 – Вузол трансмісійного вала

Якщо при певному розташуванні устаткування в цеху ми додамо валу в кожному місці сполучення якісь відхилення від номінального розміру для одержання потрібних посадок у системі отвору, то перестановка устаткування буде неможлива без зняття всієї трансмісії і відповідного переточування шийок на валі.

Таким чином, через особливості конструкції заводи, що виготовляють трансмісійні й подібні їм вали, повинні, очевидно, користатися системою вала, тобто обробляти весь вал під один розмір. Потрібні посадки будуть отримані шляхом зміни граничних розмірів отворів у деталях, що сполучаються з валом.

У будь-якій галузі машинобудування можуть зустрітися окремі сполучення, що вигідніше виконувати за системою вала. Такі, наприклад, шарнірні з'єднання (рис. 8), сполучення шатуна з поршнем за допомогою поршневого пальця в тракторних, автомобільних і авіаційних двигунах (рис. 9) і т.д.

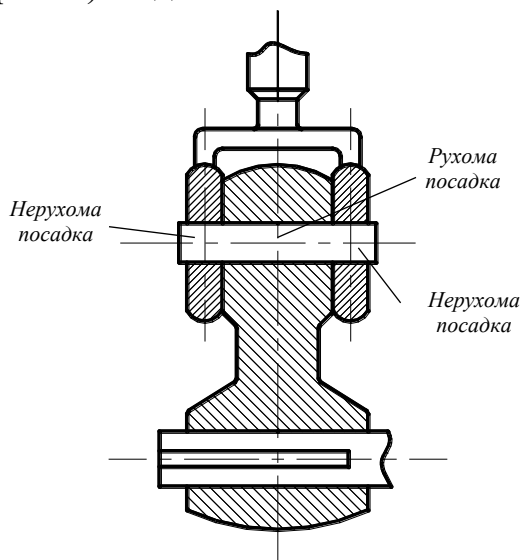


Рисунок 8 – Шарнірні з'єднання

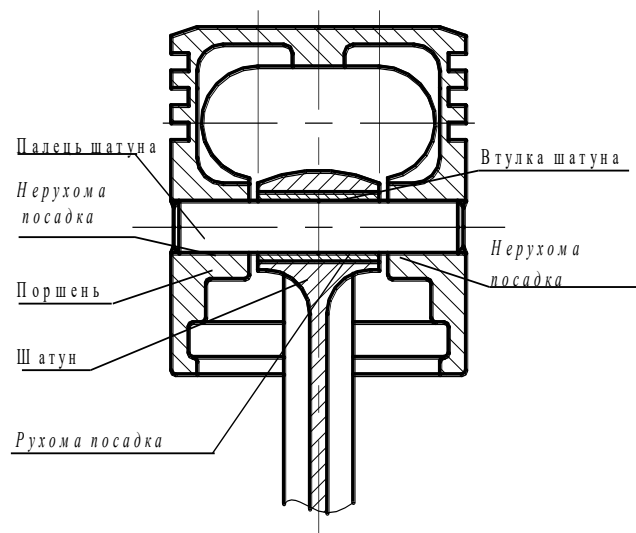


Рисунок 9 – Вузол шатуна

Як видно з рис. 8 і 9, для складання таких вузлів за системою отвору без ушкодження отворів у головці шатуна чи в шарнірній тязі буде потрібно ускладнення конструкції.

Дійсно, для нормальної роботи з'єднання пальця з поршнем повинне бути нерухомим, а з'єднання пальця із шатуном – навпаки, рухомим. Якщо тут використовувати систему отвору для утворення посадок, то ступінчатий палець було б важко обробляти, однак головне – при складанні вузла отвір шатуна зіпсувався б. Якщо ж тут використовувати систему вала, то ці незручності й недоліки відпадають.

Іншим випадком використання системи вала є, наприклад, варіант, коли конструктор у виробі закладає деталі складових частин, одержуваних зі спеціалізованих заводів (наприклад, підшипники кочення, кулькові маслянички, штифти і т.д.), що виготовляють за системою вала. За системою вала також виготовляють, наприклад, шпонкові з'єднання.

У сільськогосподарському машинобудуванні, а також у всіх галузях машинобудування, де застосовуються вали без механічної обробки (суцільнотягнені), економічно більш вигідною є система вала.

Так, наприклад, валик шарніра сільгоспмашини (рис. 10) може бути поставлений без механічної обробки. Такі вали за самим способом їхнього виготовлення (волочіння) - це вали одного діаметра по всій довжині і, отже, різні посадки можна одержати тільки зміною граничних розмірів отворів, що сполучаються з валом деталей, тобто за системою вала.

Таким чином, і система вала має ряд деяких переваг, що роблять її у багатьох випадках незамінною.

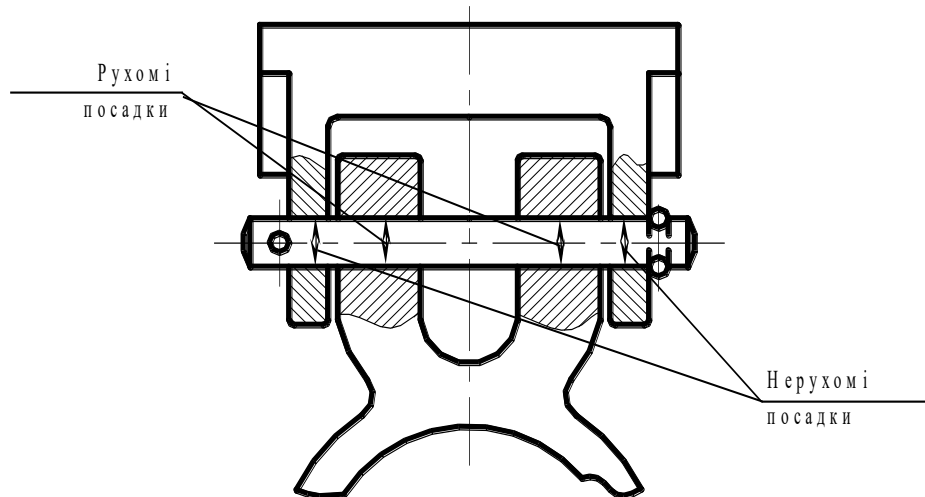


Рисунок 10 – Вузол виробу з посадками в системі вала

Тому в стандарті (ГОСТ 25347-82) передбачені посадки як у системі отвору, так і в системі вала, і обидві системи визнані *рівноправними*.

Натомість, внаслідок більшої економічності система отвору має в машинобудуванні переважне поширення.

Система посадок є *однобічною граничною*. Це означає рівність нулю одного з граничних відхилень основної деталі з'єднання – в основного отвору нижнє відхилення $EI = 0$, а в основного вала верхнє відхилення $es = 0$ і, таким чином, при обох варіантах допуск спрямований «у тіло» деталі.

У необхідних випадках (це найчастіше диктується технологічними міркуваннями) конструктор може призначити також позасистемні посадки (тобто в цьому випадку нижнє відхилення отвору і верхнє відхилення вала не дорівнюють нулю).

Одиниця допуску. Для одержання посадки з тим чи іншим ступенем точності необхідно призначити відповідні допуски отвору й вала.

Яким же чином установлені величини цих допусків, зафіксовані для кожного номінального розміру в стандарті?

Якщо допуски розмірів двох валів різних діаметрів виражені в мікрометрах, наприклад:

$$d_1 = 30 \text{ мм}, T_{d_1} = 21 \text{ мкм};$$

$$d_2 = 320 \text{ мм}, T_{d_2} = 25 \text{ мкм},$$

то немає ще достатніх основ для порівняння їхнього ступеня точності, тобто не можна сказати, який з цих двох валів виконаний з більшим ступенем точності, тому що вимірювання великої кількості деталей і спеціальні дослідження показали, що похибки виготовлення залежать від діаметра виробу – чим більший діаметр, тим більші похибки при його обробці й тим більшим при одному і тому же ступені точності повинен бути допуск на його виготовлення.

Практично це означає, що той самий допуск при різних діаметрах може представляти різні ступені точності і вимагати різної технології виготовлення деталі – від найбільш складного й дорогого процесу до найпростішого.

Наприклад, виготовлення валика $\varnothing 10 \text{ мм}$ із точністю $0,1 \text{ мм}$ може бути виконане за допомогою грубого обдирання, а виготовлення вала $\varnothing 500 \text{ мм}$ із тією ж точністю потребує вже шліфування. Допуски на виготовлення цих валів будуть однакові, а ступені точності будуть різними.

Уникнути ускладнень при порівнянні ступеня точності обробки виробів різних діаметрів за абсолютним значенням допуску можна було тільки, установивши одиницю допуску.

Мірою точності, величиною, що виражає залежність похибок виготовлення й контролю від розміру деталі, саме і є **одиниця допуску i** .

На підставі численних досліджень точності обробки циліндричних деталей установлені наступні залежності одиниці допуску від діаметра:

- для розмірів до 500 мм

$$i = 0,45\sqrt[3]{D_m} + 0,001D_m; \quad (9)$$

- для розмірів понад 500 до 10000 мм

$$i = 0,004D_m + 2,1, \quad (10)$$

де D_m – середнє геометричне крайніх розмірів $D_{\min}$ і $D_{\max}$ кожного інтервалу розмірів у таблиці допусків стандарту; $D_m = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}$.

Значення i для розмірів до 500 мм наведені в [40, табл. 35], а також у розділі 16 цього конспекту (див. табл. 4).

Тепер величину допуску в залежності від квалітета точності й діаметра виробу можна представити формулою

$$T = ai, \quad (11)$$

де a – число одиниць допуску (див. [40, табл. 36] чи табл. 5 у розділі 16 цього конспекту).

Квалітети точності. У практиці машинобудування завжди є необхідність в обробці деталей однакового розміру з різним ступенем точності чи з різними допусками розмірів.

Квалітети (ступені точності) – ступені градації значень допусків системи. Для гладеньких з'єднань ГОСТ 25346–82 установлює 19 квалітетів, яким привласнені номери (у порядку зниження точності) від 01 до 17. Стандартний допуск того чи іншого квалітета позначається сполученням букв *IT* (від англ. *Interneisheni tolerance* – міжнародний допуск) з номером квалітета, наприклад, *IT01*, *IT5*, *IT14* і т.д.

Табличні значення допусків *IT01* ... *IT4* включно підраховані за індивідуальним для кожного квалітета залежностями. Що ж стосується найбільш розповсюджених квалітетів 5-17, то величина допусків розмірів у кожному квалітеті точності була отримана встановленням для них дослідним шляхом числа одиниць допуску *a*, після чого за основною формулою (10) визначені чисельні величини допусків.

Отримані значення допусків після округлення наведені в таблиці ГОСТ 25346-82 (див. табл. 1 у [40]).

Оскільки в межах одного і того ж квалітета значення *a* постійне, усі номінальні розміри в кожному квалітеті мають однаковий ступінь точності, хоча допуски їхні при цьому змінюються, тому що залежать від розміру (див. формули (9, 10)).

Таким чином, квалітет являє собою сукупність допусків, що відповідають однаковому ступеню точності для всіх номінальних розмірів.

Ось чому тільки квалітет, а не величина допуску може характеризувати відносну точність розмірів поверхонь деталей.

Приклад. Який із двох розмірів $\varnothing 400 \pm 0,018$ чи $10^{+0,036}$ є відносно більш точним? Допуск першого розміру $T = es - ei = 18 - (-18) = 36$ мкм, допуск другого – $T = 36 - 0 = 36$ мкм, тобто допуски однакові. Однак відповідно до таблиці ГОСТ 25346-82 (див. [40] табл. 3) для розміру $\varnothing 400 \pm 0,018$ це означає квалітет 6, а для розміру $10^{+0,036}$ – квалітет 9, що набагато грубіше першого розміру.

Інтервали розмірів. Формально виходячи з розглянутого порядку підрахунку допусків, варто було б у довідкових таблицях мати число рядків, рівне числу охоплених стандартом номінальних розмірів. При цьому для цілих груп розмірів допуски виявились би однаковими чи дуже близькими. Тому в ГОСТ 25346-82 діапазон розмірів до 10000 мм розділений на 26 інтервалів так, щоб табличний допуск, підрахований за середнім розміром інтервалу не більше ніж на 5..8 % відрізнявся від значення допуску для граничних розмірів. Якщо така відмінність неприйнятна (наприклад, для посадок з натягом), основні інтервали у відповідному місці стандарту додатково підрозділяють на так звані проміжні інтервали.

Температурний режим при контролі. Питання про температуру, при якій повинні виконуватись вимірювання і при якій калібри повинні мати зазначені на них розміри, має велике значення для сучасного машинобудування, особливо для його точних галузей.

Під температурним режимом при контролі виробів і настройці вимірювальних інструментів розуміють:

- а) температурні умови приміщення;
- б) співвідношення температур виробу і вимірювального інструмента.

Відповідно до стандарту за нормальну температуру вимірювання прийнята температура 20°C.

Однак у реальних виробничих умовах можливі досить значні коливання як температури приміщення, так і температури контрольованих деталей і вимірювальних засобів.

Різниця в температурах виробу і контрольного інструмента (калібру) у момент контролю й різниця в їхніх коефіцієнтах лінійного розширення призводить до похибки у визначенні дійсного розміру деталі.

Для вирівнювання і стабілізації температури приміщень для точних вимірювань існують термостатичні пристрої, виконані у вигляді установок для охолодження й нагрівання повітря, іноді з автоматичним регулюванням.

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

Основні відхилення. Посадки різного характеру в системі отвору чи вала одержують зміною розташування полів допуску деталі, що сполучається. Це розташування визначається *основним відхиленням*, за яке з двох граничних відхилень ES (es) і EI (ei) приймають найближче до нульової лінії. ГОСТ 25346–82 установлює для діапазону розмірів від 1 до 500 мм 21 основне відхилення (рис. 11), що дозволяє одержувати різні рухомі й нерухомі з'єднання в кожному квалітеті.

Основні відхилення позначають буквами латинського алфавіту (прописними – для отворів, малими – для валів). Числові значення основних відхилень, за деяким винятком, не залежать від квалітета, але змінюються від інтервалу до інтервалу номінальних розмірів. Основне відхилення $J_S(j_s)$, як виняток, не найближче до нульової лінії, а середнє відхилення, що дорівнює нулю; це відхилення використовується для утворення симетричних полів допусків. Умовні позначки будь-яких окремих полів допусків складаються, таким чином, зі сполучення букви (основне відхилення) і номера квалітета (величина допуску), наприклад, $h5$, $H5$, $F7$, $G4$ і т.і.

Особливості системи допусків і посадок деталей із пластмас. Недостатня стабільність властивостей багатьох пластмас не дозволяє механічно поширити на них систему допусків і посадок металевих деталей. Як початкову умову, крім температури 20 °C, для пластмасових деталей додатково встановлена відносна вологість повітря 65 %.

У стандарті найточнішим є 8-й квалітет, найгрубішим – додатковий 18-й квалітет. Поля допусків для утворення посадок наведені у квалітетах 8-12.

Велика частина полів допусків основного набору запозичена з ГОСТ 25347-82 і значення їхніх відхилень у розглянутому стандарті не наведені. Інші поля допусків утворені на основі ГОСТ 25346-82 і для них потрібно користатися наведеними в ньому таблицями зі значеннями граничних відхилень.

В стандарті наведені рекомендації з утворення посадок як у з'єднаннях пластмасових деталей між собою, так і в з'єднаннях пластмасових з металевими деталями. Зазначено на можливість і навіть доцільність застосовувати позасистемні посадки для досягнення особливо великих зазорів між пластмасовими деталями.

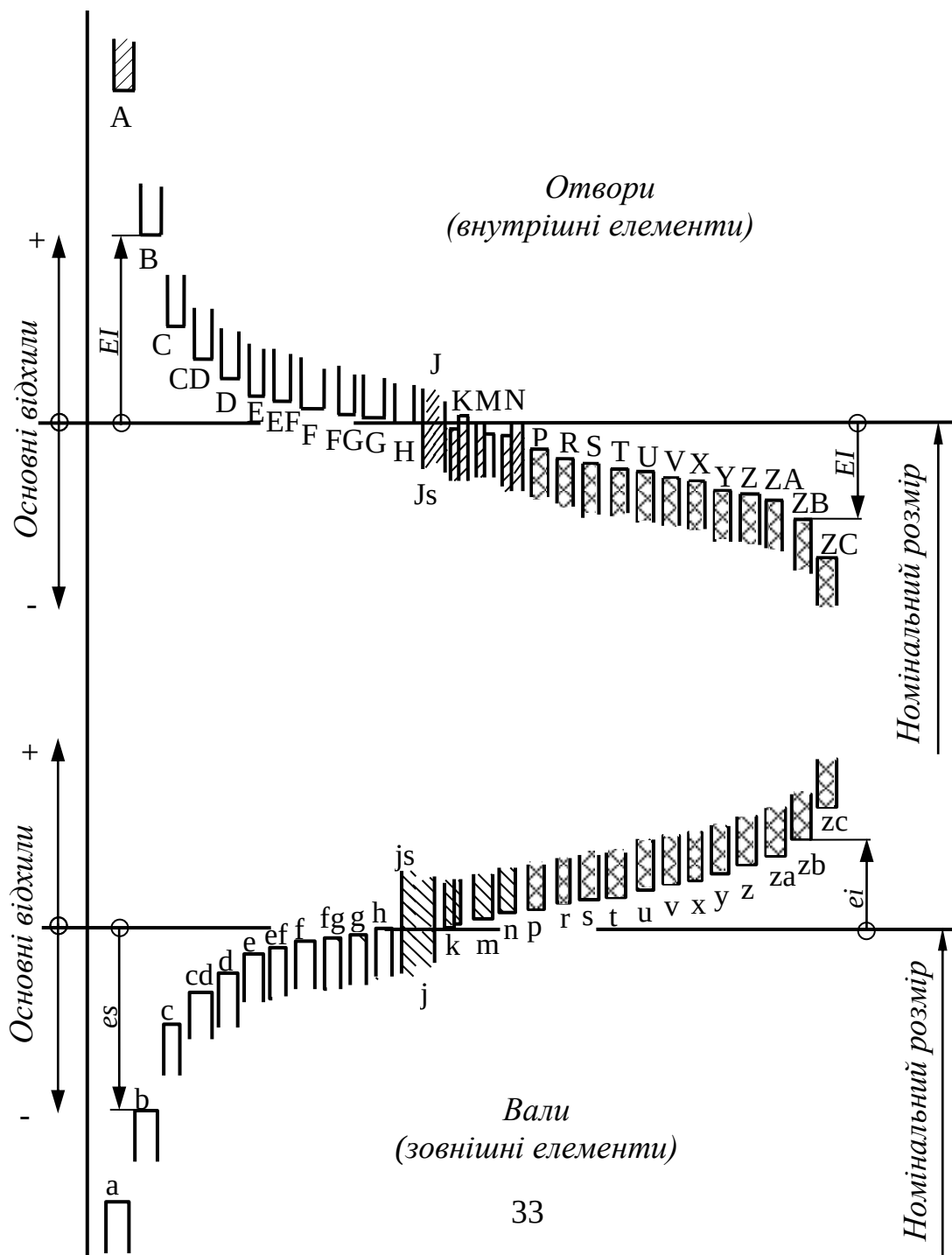


Рисунок 11 – Схеми розташування основних відхилень валів і отворів (ГОСТ 25346-82)

Розміри пластмасових деталей, виготовлених виливанням, під тиском і пресуванням, треба контролювати після витримки не менш ніж 3 г. при використанні 14-17 квалітетів і близько 12 г. при 8-10 квалітетах.

При призначенні допусків і посадок деталей із пластмас необхідно враховувати марки пластмас, призначення деталей машин і механізмів, економічні показники для досягнення квалітетів при різних методах обробки.

Позначення граничних відхилень розмірів і посадок з'єднань на кресленнях. На всі розміри, зазначені на кресленнях, включаючи розміри неспряжених («вільних») поверхонь призначають граничні відхилення, правила нанесення яких установлені в ГОСТ 2.307-68.

Граничні відхилення лінійних розмірів указують (рис. 12) безпосередньо після номінальних розмірів умовними позначками полів допусків (варіант 1), числовими значеннями (варіант 2) чи спільно – умовними позначками полів допусків і зазначеними в дужках відповідними значеннями граничних відхилень (варіант 3).

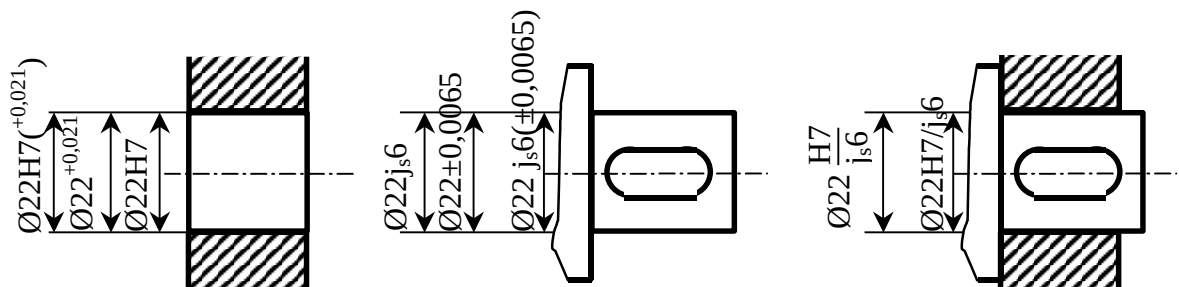


Рисунок 12 – Варіанти позначення полів допусків (граничних відхилень) у кресленнях

Поруч з умовними позначками полів допусків значення граничних відхилень відповідно до ГОСТ 2.307-68 вказують обов'язково, якщо відхилення призначені: а) на розміри, не включені в ряди нормальних лінійних розмірів за ГОСТ 6636-69, наприклад: $41,5 H7(+0,025)$; б) на розміри елементи з'єднань спеціальних видів – посадки підшипників кочення, шпонкових пазів (рис. 13, а) і ін.; в) на розміри уступів з несиметричним полем допуску (рис. 13, б); г) на розміри, призначені за системою вала.

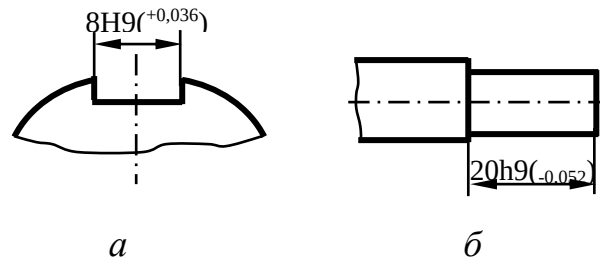


Рисунок 13 – Випадки обов'язкової вказівки в кресленнях полів допусків разом із граничними відхиленнями

Позначення розмірів за варіантом 3 див. також на рис. 1.

На складальних кресленнях граничні відхилення обох деталей, що сполучаються, указують найчастіше умовними позначками *полів допусків отвору й вала* (посадки). Наприклад, $\varnothing 150 \frac{H7}{d6}$ (чи $\varnothing 150 H7/d6$).

Це пов'язано з необхідністю визначення характеру посадки з'єднання за самим записом в складальному кресленні.

Для остаточного засвоєння матеріалу цього розділу рекомендується побудувати схеми розташування полів допусків декількох з'єднань, скориставшись прикладами, наведеними в [40].

4 ОСНОВИ ВИБОРУ ТОЧНОСТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВИРОБІВ

4.1 Точність виробів і їхня конкурентноздатність

При командно-розподільчій системі, що встановилася в колишньому СРСР, питанням точності виробів, що являють собою один з найбільш важливих показників якості, приділялася зовсім недостатня увага.

За довгі роки примусового керування якістю на основі обов'язкових стандартів, недотримання яких могло спричинити юридичну відповідальність і навіть тюремне ув'язнення, у Радянському Союзі, як влучно охарактеризував проф. В. А. Лапідус (Москва), склалася практика «потрійного стандарту» при призначенні точності деталей, вузлів і з'єднань (зараз це відносять до одного з етапів керування якістю): «Думаємо одне, пишемо інше, робимо третє».

Конструктор, задаючи вимоги, думає: «Якщо я запишу ось такі вимоги, то «вони» (технологи, виробничники) зроблять у три рази гірше», – тому він записує вимоги в три рази більш жорсткі.

Виробничник не вірить цим вимогам: «Якщо конструктор записує такі вимоги, значить йому потрібно в п'ять разів менше», – і робить у п'ять разів гірше.

У підсумку, протягом декількох років освоєння продукції йде переробка (віддзеркалювана тільки в розумах окремих людей) записаних вимог у неписані, котрі в кінцевому рахунку приймають технологи, виробничники й працівники ВТК, і які неначе не існують для конструкторів.

Ця нездорова практика успадкована й українською промисловістю навіть після того, як більшість вимог стандартів стали рекомендованими, тобто необов'язковими.

Хибність такої практики очевидна – вона порушує основний принцип керування якістю, створює атмосферу неправди, неповаги до документації й один до іншого, робить процеси освоєння нових виробів нескінченно довгими, розриває спадкоємність методів керування, тому що неписані вимоги і правила існують тільки в розумах людей, і при їхніх замінах, при зміні поколінь ці вимоги і правила губляться. Ця ситуація в символічному виді зображена на рис. 14.



Рисунок 14 – «Потрійний стандарт» керування якістю

Тому задачею підприємства є послідовне усунення з практики роботи «потрійного стандарту» керування якістю й перехід до «єдиного стандарту»: «Пишемо те, що думаємо; виконуємо те, що записано».

Іншими словами: у документацію заносяться саме ті вимоги, що визначені при розробці конструкції, процесу. Ці вимоги повинен неухильно виконувати виробничий персонал, а ВТК – контролювати тільки те, що записано у вимогах до якості. Схема на рис. 15 символічно зображує цей підхід.



Рисунок 15 – Перехід від «потрійного стандарту» керування до «єдиного стандарту»

Три лінії не зведені в одну, тому що реально завжди існує деяке відхилення від вимог унаслідок варіацій процесів.

В умовах ринкової економіки питання призначення оптимальної точності набуває першорядного значення, оскільки це самим серйозним чином визначає якість виробу, його собівартість виготовлення (а значить і ціну) і в кінцевому рахунку конкурентноздатність виробу.

При конструюванні необхідно виявити функціональні параметри, від яких головним чином залежать значення й діапазон допустимих відхилень експлуатаційних показників машини. Теоретично й експериментально на макетах, моделях і дослідних зразках варто установити можливі зміни функціональних параметрів у часі (в результаті зносу, пластичної деформації, термоциклічних впливів, зміни структури й старіння матеріалу, корозії і т.д.), знайти зв'язок і ступінь впливу цих параметрів і їхніх відхилень на експлуатаційні показники нового виробу й у процесі

його тривалості експлуатації. Знаючи ці зв'язки і допуски на експлуатаційні показники виробів, можна визначити допустимі відхилення функціональних параметрів і розрахувати посадки для відповідальних з'єднань. Застосовують і інший метод: використовуючи встановлені зв'язки, визначають відхилення експлуатаційних показників при обраних допусках функціональних параметрів. При розрахунку точності функціональних параметрів необхідно створювати гарантований запас працездатності виробів, що забезпечить збереження експлуатаційних показників до кінця терміну їхньої експлуатації у заданих межах. Необхідно також проводити оптимізацію допусків, установлюючи менші допуски для функціональних параметрів, похибки яких найбільшим чином впливають на експлуатаційні показники виробів. Установлення зв'язків експлуатаційних показників з функціональними параметрами і незалежне виготовлення деталей і складових частин за цими параметрами з точністю, визначеною з врахуванням допустимих відхилень експлуатаційних показників виробів наприкінці терміну їхньої служби, – одне з головних умов забезпечення функціональної взаємозамінності.

Однак при проведенні всіх описаних робіт не можна забувати про головне – про правильний вибір рівня якості (у нашому випадку ступіні точності), якому повинна відповідати виготовлена продукція. Цей рівень якості не повинен бути ні занадто високим, ні занадто низьким. Автомобільні покришки, що витримують 500000 км, настільки ж непрактичні й некорисні, як і ті, що виходять з ладу через 2000 км. Навіть подвоєння точності верстата не означає, що він став у два рази кориснішим, оскільки, наприклад, споживачу і не потрібно збільшення точності в такому розмірі.

У загальному випадку, як показали американські економісти Дж.Еттінгер і Дж.Ситтіг, корисність не пропорційна кількісним показникам якості, а має нелінійну залежність від них.

При підвищенні якості зростає і вартість (ціна). Однак ступінь росту вартості поступово знижується і зрештою залишається майже на одному рівні. Що ж до собівартості, то вона з деяким збільшенням якості різко зростає (це видно також із кривої собівартості в залежності від квалітета точності поверхонь деталей).

Співвідношення ціни і собівартості видно на графіку (рис. 16).

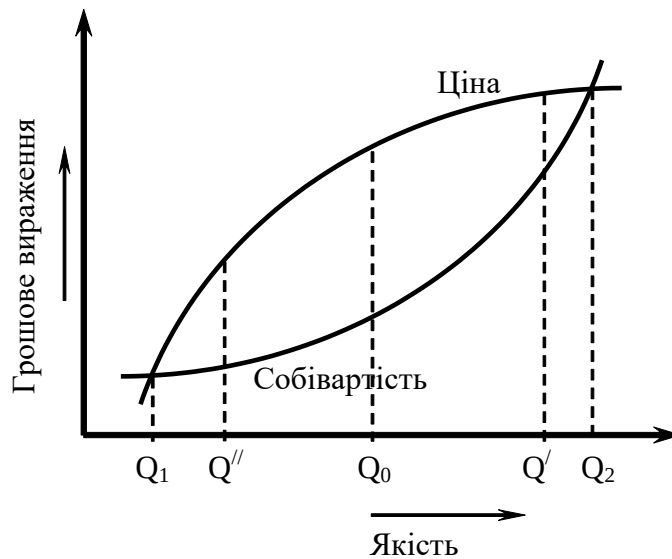


Рисунок 16 – Графіки зміни ціни і собівартості в залежності від рівня якості (точності)

Частина діаграми, укладена між кривою собівартості і кривою ціни виробу й обмежена точками перетинання Q_1 і Q_2 , відбиває рентабельність і є підставою для існування підприємства.

Точку найбільшого віддалення кривих Q_0 можна назвати якістю, що забезпечує найбільший прибуток.

Однак не все так просто в умовах ринку. Тут відіграють роль і контингент споживачів, і наявність конкурентів, і ступінь новизни виробу.

Тому, якщо взяти до уваги наявність на ринку збуту безліч конкуруючих виробів, то рішення таких проблем як: чи зупинитися на якості конструкції Q' , що націлює на виробництво виробів високої якості, пожертвувавши при цьому незначною часткою власного прибутку і організувати масове виробництво, незважаючи на низький прибуток чи зважитися прийняти якість Q'' з низькою собівартістю – усе це залишається в колі питань стратегії й тактики підприємства.

Приймаючи рішення про якість (точність), необхідно розглянути в комплексі і врахувати маркетинг і результати вивчення ринку, очікувану реалізацію, технічний рівень свого підприємства, виробничу потужність устаткування, ефективність контролю, коефіцієнт ефективності капітальних витрат і т.д. Тут поле для спільної роботи конструкторської, технологічної служб і відділу маркетингу.