

Тема лекції 2.2. Основні поняття про допуски та посадки

План лекції

1. Класифікація з'єднань за формою спряжених поверхонь.
2. Основні визначення: отвір, вал, розміри (номінальний, дійсний, граничний);
3. Відхилення розміру: граничні, основні, середні; допуск розміру.
4. Визначення посадки. Поняття про зазори і натяги у з'єднаннях. Граничні зазори і натяги, допуск посадки, його зв'язок з допуском розмірів отвору і вала.
5. Поле допуску. Графічне зображення полів допусків. Позначення допусків на кресленнях.
6. Розв'язування прикладів для заданих умов з'єднання.

<https://www.svpu-profi.lg.ua/pdf/library/dopopusky.pdf>

Основні поняття і визначення, що стосуються системи допусків і посадок, встановлені ДСТУ 2500-94.

1. Класифікація з'єднань за формою спряжених поверхонь.

У машинах і механізмах деталі перебувають у з'єднаннях з іншими деталями, утворюючи посадки, але характер цих з'єднань (посадок) може бути різним. Види з'єднань деталей машин дуже різноманітні, їх класифікують на групи залежно від форми сполучених поверхонь, характеру контакту і ступеню вільності взаємного переміщення деталей. В одних випадках треба забезпечити взаємне вільне переміщення однієї деталі відносно другої, в інших випадках треба забезпечити відносну нерухомість деталей або їх щільне прилягання одна до одної. Характер з'єднання (посадки) визначається різницею розмірів отвору і вала, які утворюють з'єднання.

Часто в машинах чи механізмах деталі перебувають у з'єднаннях з іншими деталями. Деталі, які частково або повністю входять одна в одну, утворюють **з'єднання**

За формою з'єднувальних поверхонь розрізняють такі з'єднання:

- гладкі циліндричні і конічні;
- плоскі з'єднання (поршневі кільця в канавках поршня, шпонки в пазах вала і втулки, з'єднання повідних і ведених дисків муфти зчеплення тракторів і автомобілів);
- різьбові і гвинтові (циліндричні і конічні);
- зубчасті циліндричні, конічні, гвинтові, гіпоїдні, черв'ячні та ін.;
- шліцьові, сферичні, плоскі.

За ступенем вільності взаємного переміщення деталей розрізняють такі з'єднання:

- **рухомі**, у яких під час роботи механізму одна з'єднана деталь переміщується відносно іншої в певних напрямках з гарантованим зазором;
- **нерухомі нерознімні**, у яких одна сполучна деталь є нерухомою відносно іншої протягом усього строку роботи з'єднання; такі з'єднання характеризуються гарантованим натягом і не підлягають розбиранню;
- **нерухомі рознімні** з'єднання, які відрізняються від попередніх тим, що їх можна розбирати під час регулювання і ремонту, ці з'єднання мають, як правило, перехідну посадку і характеризуються або невеликим зазором, або натягом.

З'єднання відрізняються один від одного характером з'єднання, тобто посадкою. Бувають посадки із зазором, з натягом і перехідні.

2 Основні визначення: отвір, вал, розміри (номінальний, дійсний, граничний)

Розмір – числове значення лінійної величини (діаметр, довжина тощо) у вибраних одиницях вимірювання.

У деталях машин розрізняють два види поверхонь: з'єднувальні поверхні і нез'єднувані (вільні) поверхні.

З'єднуваними називаються поверхні, по яких деталі з'єднуються у складальні одиниці, а складальні одиниці – у механізми.

Нез'єднувані (вільні) – це конструктивно необхідні поверхні деталей, які не призначені для з'єднання з поверхнями інших деталей.

Так, у з'єднаннях, зображених на рис.1, з'єднувальними поверхнями будуть внутрішня циліндрична поверхня отвору і зовнішня циліндрична поверхня вала; бічні плоскі поверхні шпонки і бічні поверхні паза вала.

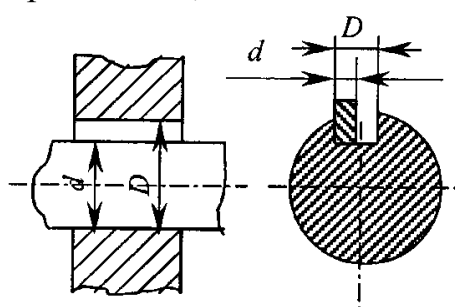


Рис. 1. Приклади з'єднання

Нез'єднуваними (вільними) будуть торцеві плоскі поверхні вала і отвору, верхня і нижня поверхні шпонки і поверхня дна паза вала.

Охоплююча поверхня – поверхня деталі, яка охоплює поверхню іншої деталі.

Охоплювана поверхня – поверхня деталі, яка охоплюється поверхнею іншої деталі.

Охоплюючу поверхню, незалежно від її форми, називають **отвором**, а охоплювану – **валом**.

Отвір – термін, що умовно застосовується для позначення внутрішніх елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи.

Вал – термін, що умовно застосовується для позначення зовнішніх елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи.

У з'єднанні шпонки з пазом вала шпонка є валом, а паз вала є отвором.

Розміри з'єднуваних поверхонь називаються з'єднуваними розмірами, а розміри нез'єднуваних (вільних) поверхонь називаються вільними розмірами.

Умовно розміри позначаються літерами латинського алфавіту. Розміри, що відносяться до отворів, позначаються великою літерою **D**, а розміри, що відносяться до валів – малою літерою **d**.

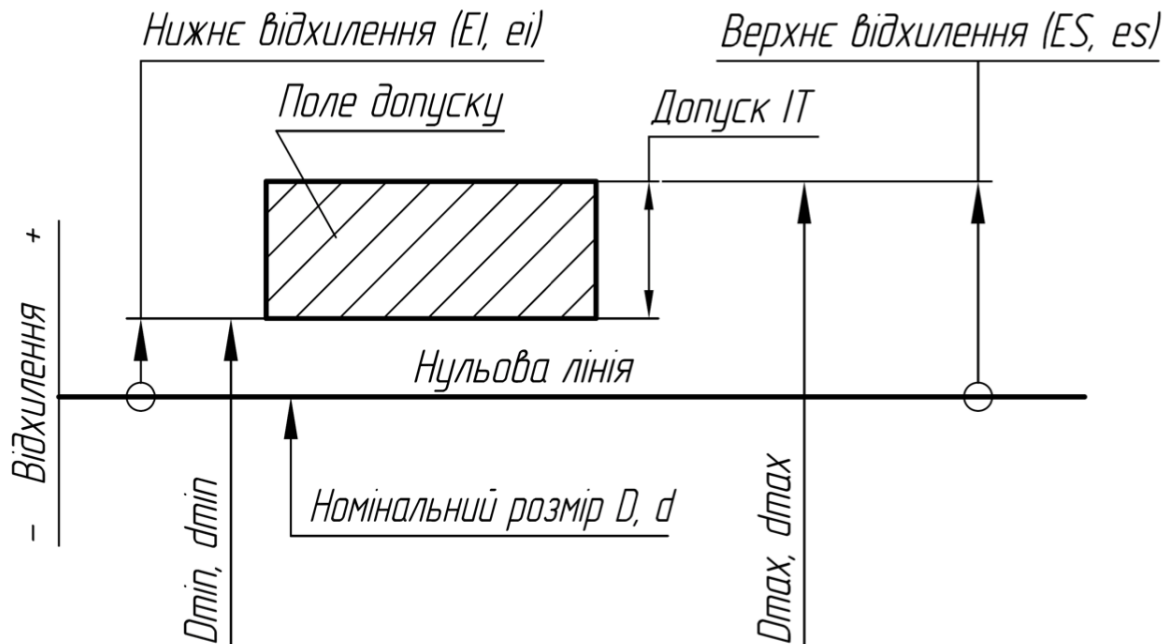


Рис 2. Графічне зображення полів допусків

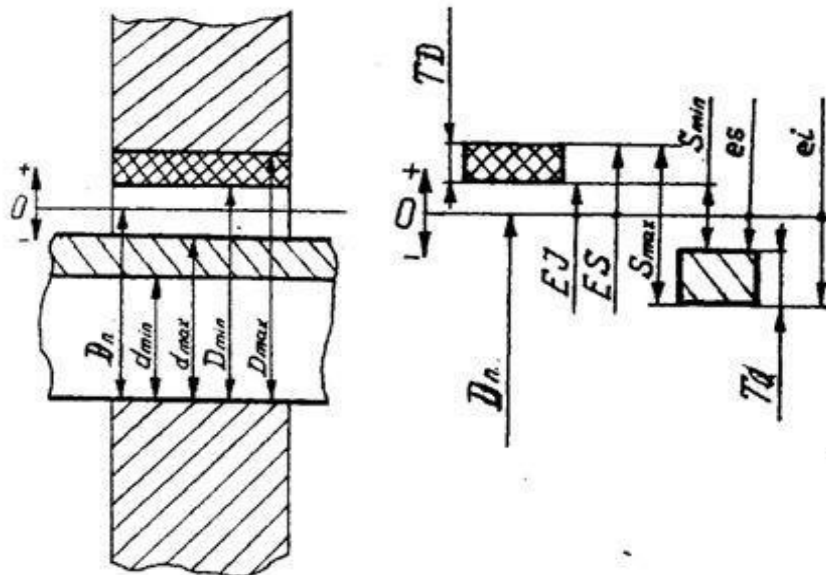


Рис 3. Графічне зображення з'єднувальних деталей і схема розміщення полів допусків

Графічне зображення деталей з'єднання дає можливість краще уявити співвідношення граничних розмірів вала і отвору (рис. 2). На практиці використовують простішу схему полів допусків (рис. 3).

У машинобудуванні всі розміри в технічній документації задають і зазначають у міліметрах.

Номінальний розмір – розмір, відносно якого визначаються відхилення. Він є однаковим для отвору і вала, які утворюють з'єднання. Номінальні розміри позначають: D_n – отвору; d_n – вала (від французького Dimension nominale).

Оскільки позначення номінальних розмірів D_n і d_n часто використовуються в подальшому тексті, то індекси "n" біля їх позначень будуть опускатися.

Дійсний розмір – розмір елемента, встановлений вимірюванням. Дійсні розміри позначають: D_e – отвору; d_e – вала.

Дійсні розміри деталей в партії, виготовленій на одному і тому ж верстаті з однієї і тієї ж установки будуть завжди відрізнятися один від одного внаслідок впливу похибок оброблювання, тобто відбувається розсіювання розмірів, уникнути якого практично неможливо. Тому *зону (поле) розсіювання дійсних розмірів* обмежують призначенням граничних (найменших і найбільших) допустимих розмірів.

Граничні розміри – два гранично допустимі розміри елемента, між якими повинен знаходитись (або яким може дорівнювати) дійсний розмір.

Найменший граничний розмір – найменший допустимий розмір елемента. Його позначають: D_{min} – для отвору; d_{min} – для вала.

Найбільший граничний розмір – найбільший допустимий розмір елемента.

Його позначають: D_{max} – для отвору; d_{max} – для вала.

Умови придатності дійсних розмірів записуються так:

для отвору: $D_{min} \leq D_e \leq D_{max}$; для вала: $d_{min} \leq d_e \leq d_{max}$.

Вихід дійсних розмірів за межі їх граничних значень свідчить про наявність браку.

Якщо для отвору дійсний розмір D_e менший за найменший граничний розмір D_{min} , тобто $D_e < D_{min}$, буде мати місце брак виправний, а якщо $D_e > D_{max}$ – має місце невивправний брак.

Аналогічно для вала: $d_e > d_{max}$ – має місце виправний брак, а брак невивправний, якщо $d_e < d_{min}$.

3. Відхилення розміру: граничні, основні, середні; допуск розміру

Відхилення розміру – алгебраїчна різниця між розміром (дійсним або граничним) і відповідним номінальним розміром. Його позначають: E – для отвору; e – для вала.

Дійсне відхилення розміру – алгебраїчна різниця між дійсним і відповідним номінальним розмірами. Його позначають: E_e – для отвору; e_e – для вала.

Граничне відхилення розміру – алгебраїчна різниця між граничним і відповідним номінальним розмірами. Розрізняють верхнє та нижнє граничні відхилення.

Верхнє відхилення розміру (ES , es) – алгебраїчна різниця між найменшим граничним і відповідним номінальним розмірами, тобто:

$$ES = D_{max} - D; \quad es = d_{max} - d.$$

ES – верхнє відхилення отвору; es – верхнє відхилення вала.

Нижнє відхилення розміру (EI , ei) – алгебраїчна різниця між найменшим граничним і відповідним номінальним розмірами, тобто:

$$EI = D_{min} - D; \quad ei = d_{min} - d.$$

EI – нижнє відхилення отвору; ei – нижнє відхилення вала.

Величина граничних відхилень визначає точність розміру, а величина дійсного відхилення визначає придатність розміру.

За відомими номінальними розмірами і їх граничними відхиленнями, граничні розміри визначаються за формулами:

$$\text{для отвору: } D_{max} = D + ES; \quad D_{min} = D + EI;$$

$$\text{для вала: } d_{max} = d + es; \quad d_{min} = d + ei.$$

Граничні відхилення можуть бути додатними, від’ємними або одне з них може бути рівне нулю. У розрахункові формули відхилення розмірів треба підставляти з їх знаками.

Допуск розміру T – різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами або алгебраїчна різниця між верхнім і нижнім відхиленнями, тобто:

$$T_D = D_{max} - D_{min} \quad \text{або} \quad T_D = ES - EI - \text{допуск розміру отвору};$$

$$T_d = d_{max} - d_{min} \quad \text{або} \quad T_d = es - ei - \text{допуск розміру вала}.$$

Допуск – це величина додатна. Якщо в розрахунках допуск одержується величиною від’ємною, то це свідчить про помилки, допущені в розрахунках.

Будь-який з допусків, що встановлюється даною системою допусків називається стандартним і позначається літерами ІТ (скорочення слів ISO Tolerance (допуск ISO). Надалі під терміном “допуск” слід розуміти “стандартний допуск”. В системі допусків та посадок прийняте таке поняття як “поле допуску”, яке не слід розуміти як допуск.

Поле допуску – поле, обмежене найбільшим і найменшим граничними розмірами, яке визначається величиною допуску і його положенням відносно номінального розміру. В разі графічного зображення поле допуску міститься між двома лініями, що відповідають верхньому та нижньому відхиленням відносно нульової лінії.

Нульова лінія – лінія, що відповідає номінальному розміру, від якої відкладаються відхилення в разі графічного зображення полів допусків та посадок. Якщо нульова лінія розташована горизонтально, то додатні відхилення відкладаються вгору від неї, а від’ємні – вниз.

Основне відхилення – одне з двох граничних відхилень (верхнє чи нижнє), що визначає положення поля допуску відносно нульової лінії. В системі допусків та посадок основним є те відхилення, яке розташоване ближче до нульової лінії, тобто основним є нижнє відхилення (EI , ei), якщо

поле допуску розташовано вище нульової лінії, і верхнє відхилення (ES, es), якщо поле допуску розташовано нижче нульової лінії.

4. Визначення посадки. Поняття про зазори і натяги у з'єднаннях. Граничні зазори і натяги, допуск посадки, його зв'язок з допуском розмірів отвору і вала

Посадка – характер з'єднання двох деталей, визначений різницею їх розмірів до складання.

Залежно від розмірів отвору і вала, що утворюють з'єднання, в посадках може утворюватися зазор або натяг.

Зазор – різниця між розмірами отвору і вала до складання, якщо розмір отвору більший за розмір вала. Зазор позначають літерою S . $D > d$

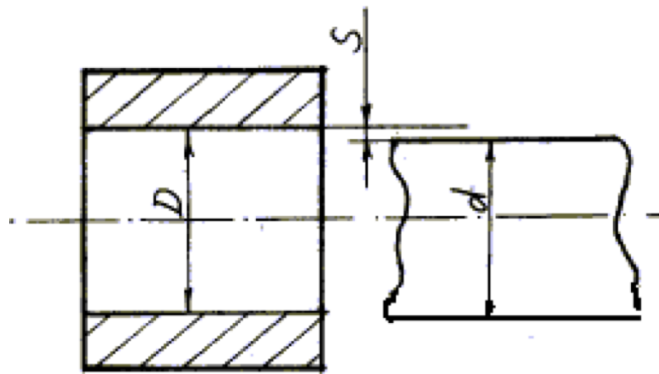


Рис. 4. Утворення зазору

Натяг – різниця між розмірами вала і отвору до складання, якщо розмір вала більший за розмір отвору. Натяг позначають літерою N . $D < d$

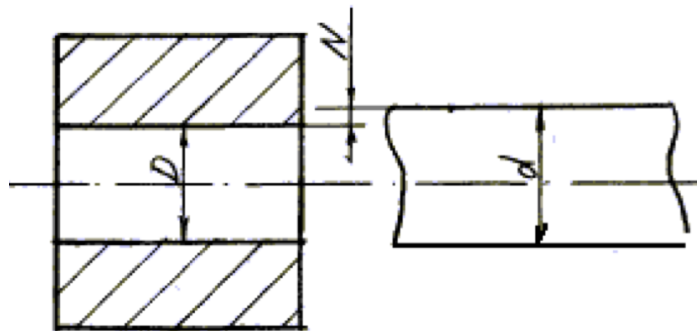


Рис. 5. Утворення натягу

Поняття про зазори і натяги у з'єднаннях. Граничні зазори і натяги, допуск посадки. Його зв'язок з допуском розмірів отвору і вала.

Посадка з зазором – посадка, за якої завжди утворюється зазор у з'єднанні, тобто найменший граничний розмір отвору більший за найбільший граничний розмір вала або дорівнює йому.

Оскільки отвір і вал, що утворюють з'єднання, можуть мати два граничних значення розмірів: найменше і найбільше, то залежно від їх поєднання у посадці, зазор також може мати два граничних значення: найменше (S_{min}) і найбільше (S_{max}).

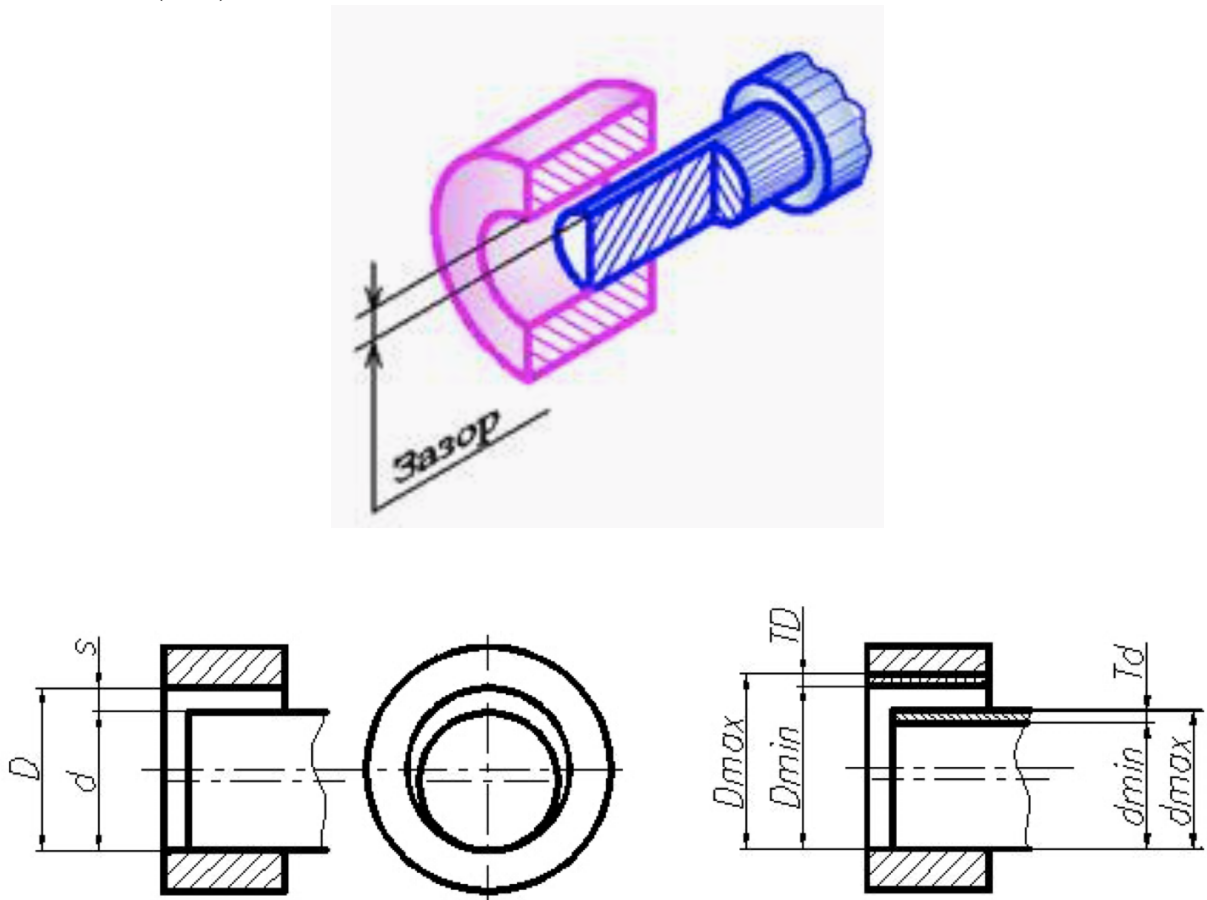


Рис. 6. З'єднання з зазором

Найменший зазор (S_{min}) – різниця між найменшим граничним розміром отвору і найбільшим граничним розміром вала в посадці з зазором.

Величину найменшого зазору у з'єднанні визначають за формулами:

$$S_{min} = D_{min} - d_{max} \quad \text{або} \quad S_{min} = EI - es$$

Найбільший зазор (S_{max}) – різниця між найбільшим граничним розміром отвору і найменшим граничним розміром вала в посадці з зазором або в перехідній посадці.

Величину найбільшого зазору у з'єднанні визначають за формулами:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} \quad \text{або} \quad S_{max} = ES - ei$$

Найменший і найбільший зазори є величинами додатними. Якщо при їх визначенні одержується від'ємне число, то це означає, що в цьому випадку у з'єднанні можливий не зазор, а натяг.

Посадка з натягом – посадка, за якою завжди утворюється натяг у з'єднанні, тобто найбільший граничний розмір отвору, який менший за найменший граничний розмір вала або дорівнює йому.

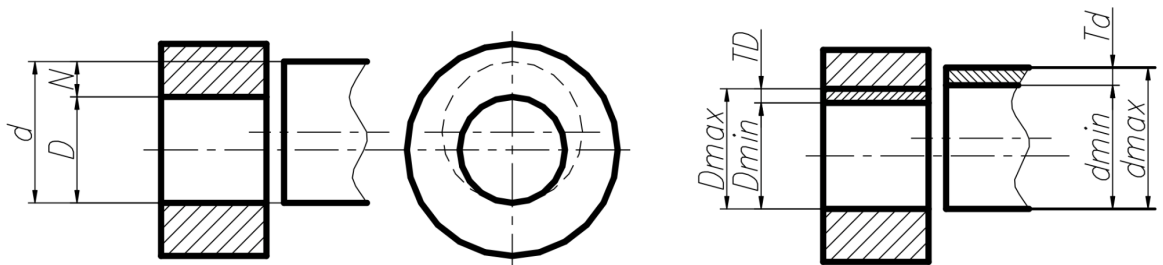
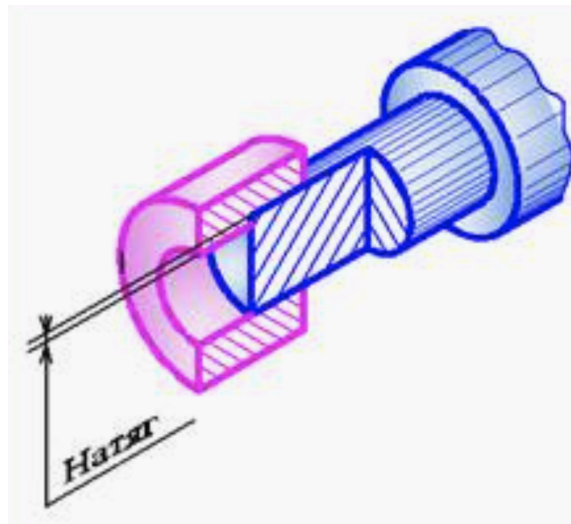


Рис 7. З'єднання з натягом

Натяг у посадках з натягом, як і зазор у посадках з зазором, може набувати різних значень, однак його обмежують двома крайніми граничними значеннями: найбільшим (N_{max}) і найменшим (N_{min}) значеннями.

Найменший натяг N_{min} – різниця між найменшим граничним розміром вала і найбільшим граничним розміром отвору до складання в посадці з натягом.

Величину найменшого натягу у з'єднанні визначають за формулами:

$$N_{min} = d_{min} - D_{max}, \text{ або } N_{min} = ei - ES.$$

Найбільший натяг N_{max} – різниця між найбільшим граничним розміром вала і найменшим граничним розміром отвору до складання в посадці з натягом або перехідній посадці.

Величину найбільшого натягу у з'єднанні визначають за формулами:

$$N_{max} = d_{max} - D_{min}, \text{ або } N_{max} = es - EI.$$

Найменший і найбільший натяги є величинами завжди додатними. Якщо при їх визначенні одержиться від'ємне число, то це означає, що в цьому випадку у з'єднанні можливий не натяг, а зазор.

Перехідна посадка – посадка, за якою можливе отримання як зазору, так і натягу в з'єднанні залежно від дійсних розмірів отвору і вала. Найбільший

зазор S_{max} і найбільший натяг N_{max} у перехідній посадці визначаються так само, як і в посадках з зазором (S_{max}); і в посадках з натягом (N_{max}), тобто:

$$\begin{aligned} S_{max} &= D_{max} - d_{min}, & \text{або} & \quad S_{max} = ES - ei; \\ N_{max} &= d_{max} - D_{min}, & \text{або} & \quad N_{max} = es - EI. \end{aligned}$$

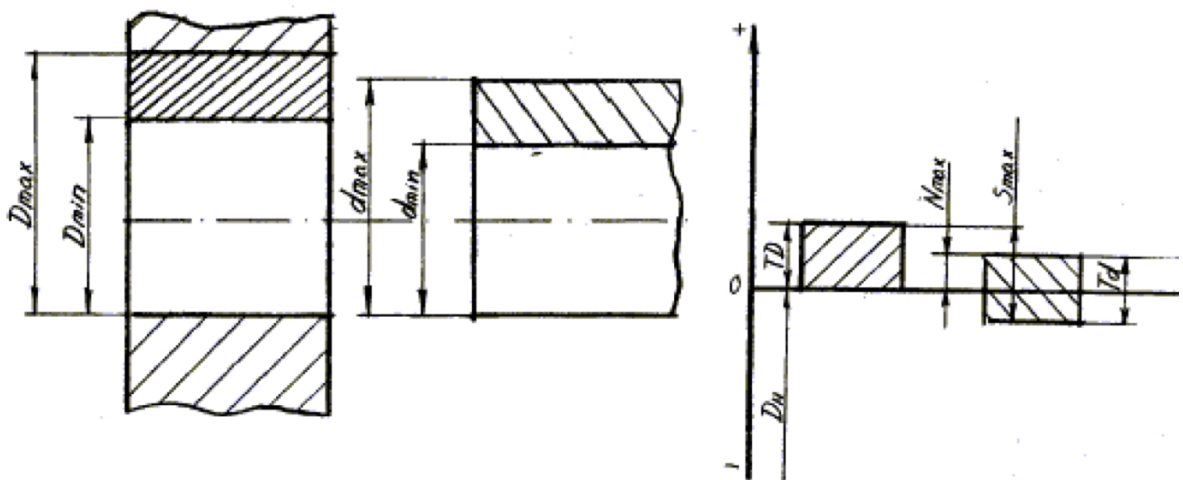
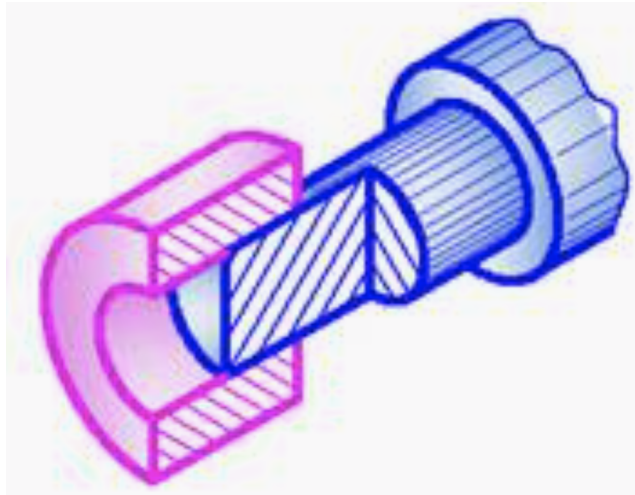


Рис. 8. Перехідна посадка

Оскільки натяги і зазори в посадках можуть набувати різних значень у різних з'єднаннях і можуть змінюватися від найбільшого до найменшого їх значення, то до зазорів і натягів так само, як і до розмірів, застосовують поняття допуску зазору і допуску натягу (допуску посадки).

Допуск посадки – сума допусків отвору і вала, що складають з'єднання, тобто:

$$TS = T_D + T_d.$$

Ця формула є справедливою для всіх видів посадок: з зазором, з натягом і перехідних.

Крім того, допуск посадки з зазором можна визначити як різницю між найбільшим (S_{max}) і найменшим (S_{min}) граничними значеннями зазору, тобто:

$$T_S = S_{max} - S_{min}.$$

Аналогічно можна визначити допуск посадки з натягом як різницю між найбільшим (N_{max}) і найменшим (N_{min}) граничними значеннями натягу, тобто:

$$T_N = N_{max} - N_{min}.$$

Допуск перехідної посадки можна визначити як суму найбільшого зазору (S_{max}) і найбільшого натягу (N_{max}), тобто:

$$T_{\Sigma} = S_{max} + N_{max}.$$

Оскільки при виготовленні партії деталей більшість з них будуть мати розміри, близькі до середніх, то одержані в посадках зазори або натяги також у більшості випадків будуть мати середні значення.

Середній зазор:
$$S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2};$$

Середній натяг:
$$N_m = \frac{N_{max} + N_{min}}{2};$$

5. Поле допуску. Графічне зображення полів допусків. Позначення допусків на кресленнях

Графічне зображення полів допусків розпочинають з проведення нульової лінії, яка відповідає положенню верхньої твірної номінального розміру і яка приймається за початок відліку відхилень. Від нульової лінії відкладають на осі ординат у довільному масштабі граничні відхилення: зі знаком плюс – вгору, зі знаком мінус – вниз, а потім на схему наносять позначення всіх параметрів, що характеризують дане з'єднання.

При побудові графіків (схем) полів допусків на осі ординат при нанесенні тільки розмірів граничних відхилень можна використовувати розмірність як у мікрометрах, так і в міліметрах, а при нанесенні ще й граничних розмірів деталей на осі ординат слід вказувати розмірність в міліметрах, оскільки розмірність (мм) біля розмірних чисел на схемах і кресленнях не вказується. На рис.9 наведено графічне зображення (схему

розташування) полів допусків для з'єднання $\varnothing 20 \begin{matrix} +0,021 \\ -0,007 \\ -0,028 \end{matrix}$ мм.

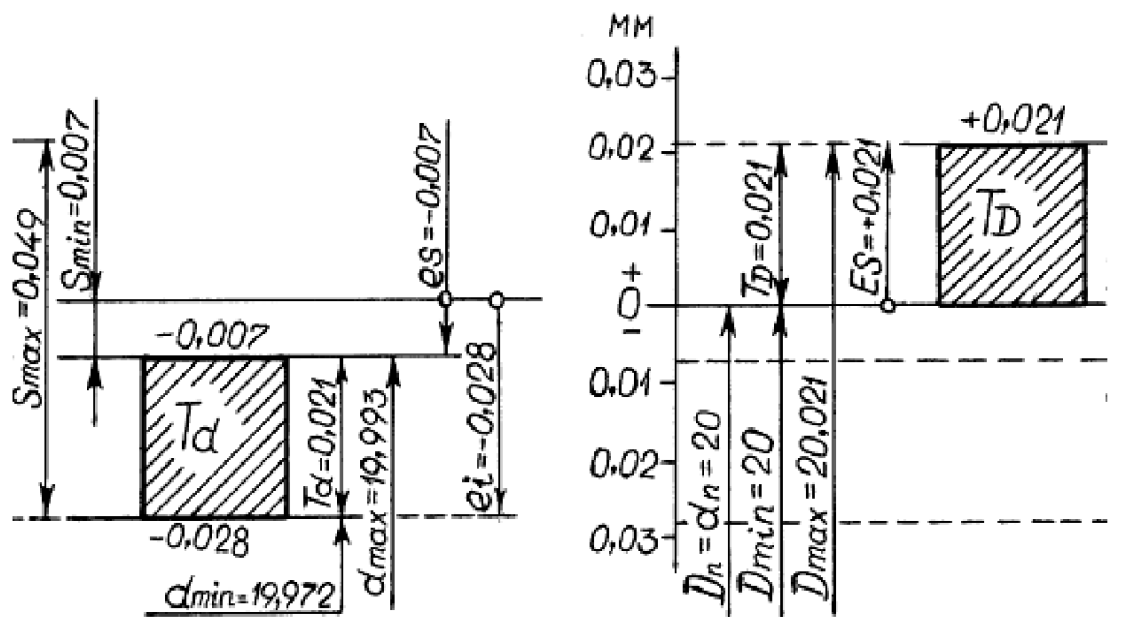


Рис. 9. Графічне зображення полів допусків для з'єднання $\varnothing 20$ +0,021
-0,007
-0,028 ММ

При графічному зображенні полів допусків характер з'єднання розпізнають наступним чином.

Якщо поле допуску вала буде розташоване нижче від поля допуску отвору, то це свідчить про те, що дана посадка буде із зазором і для неї слід визначити граничні значення зазору: S_{max} і S_{min} .

Якщо поле допуску вала буде розташоване вище від поля допуску отвору, то посадка буде з натягом і для неї слід визначати граничні значення натягу: N_{max} і N_{min} .

Якщо поля допусків вала і отвору повністю або частково перекриваються, то посадка буде перехідною і для неї слід визначати найбільший зазор (S_{max}) і найбільший натяг (N_{max}).

Для розпізнавання характеру (виду) з'єднань без графічного зображення полів допусків отвору і вала при наявності номінальних розмірів і граничних відхилень деталей, треба розпочати визначення граничних значень зазору S_{max} і S_{min} як для посадок з зазором, за формулами

$$S_{max} = ES - ei; S_{min} = EI - es;$$

Якщо обидва значення зазору одержують додатними, то це означає, що задана посадка є посадкою з зазором.

Якщо S_{max} одержується від'ємним, то це означає, що задана посадка є посадкою з натягом і для неї слід визначати граничні значення натягу: N_{max} і N_{min} .

Якщо S_{max} одержується додатним, а S_{min} – від'ємним, то це означає, що задана посадка є перехідною і для неї слід визначати S_{max} і N_{max} .

Розпізнати вид з'єднання можна також, порівнюючи між собою граничні розміри отвору і вала. Якщо $D_{min} \geq d_{max}$ посадка буде із зазором; якщо $d_{min} \geq D_{max}$ посадка буде з натягом;

якщо $D_{max} > d_{min}$ і $d_{max} > D_{min}$ посадка буде перехідною.

Позначення допусків на кресленні. Графічне зображення полів допусків регламентує ГОСТ 2.307–68, який входить до Єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД).

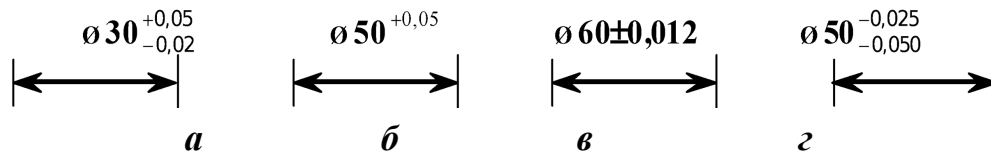


Рис 10. Позначення розмірів і граничних відхилень на кресленнях деталей

Лінійні розміри і граничні відхилення на кресленнях в машинобудуванні зазначають у міліметрах без їх скороченого позначення, тобто розмірність “мм” не пишеться.

Граничні відхилення записують безпосередньо після номінального розміру зі своїм знаком, причому верхнє відхилення розташовують над нижнім (рис. 10, а), знак “плюс” біля відхилень записується. Граничні відхилення, які дорівнюють нулю, не записуються, їх місце залишається вільним (рис. 10, б). Розмір шрифту відхилень повинен бути на розмір меншим від розміру шрифту розмірного числа.

При симетричному розташуванні поля допуску відносно нульової лінії (номінального розміру) абсолютне значення відхилень зазначається один раз із знаками $\pm$; при цьому висота цифр у відхиленнях повинна дорівнювати висоті цифр номінального розміру (рис. 10, в).

У відхилень нуль з правого боку від цифри не пишуть. Якщо число значущих цифр у верхнього і нижнього відхилень різне, то дописується нуль з правого боку, тобто кількість цифр у верхньому і нижньому відхиленнях повинна бути однаковою (рис.10, г).

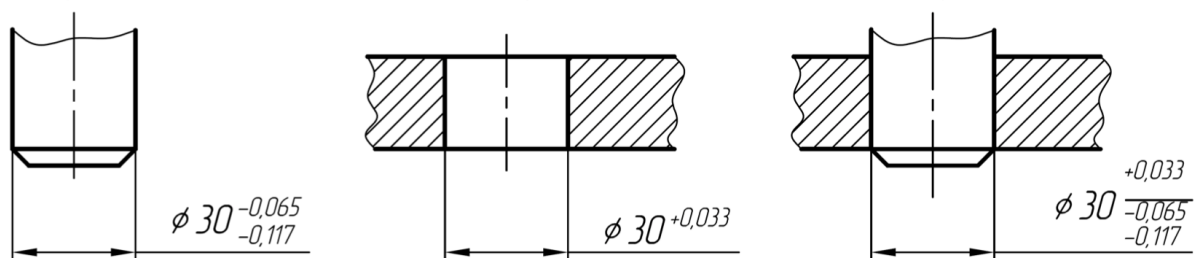


Рис. 11. Позначення граничних відхилень на складальних кресленнях

Граничні відхилення розмірів деталей на складальних кресленнях записують у вигляді дробу, в чисельнику якого записують числові значення граничних відхилень отвору, в знаменнику – числові значення граничних відхилень вала (рис.11, в).

6. Розв'язування прикладів для заданих умов з'єднання

Приклад 1

Дано номінальний розмір і їх граничні відхилення діаметрів отвору і вала гладкого циліндричного з'єднання двигуна СМД-60:

Втулка шатуна (отвір): $\varnothing 42^{+0,038}_{+0,023}$ мм.

Палець поршня (вал): $\varnothing 42^{+0,001}_{-0,009}$ мм.

Визначити верхнє та нижнє відхилення отвору і вала; допуск розміру отвору і вала; граничні та середні зазори (натяги); допуск посадки. Накреслити схему полів допусків і позначити елементи з'єднання.

Розв'язок

1 Умовні позначення і числові значення номінальних розмірів і граничних відхилень отвору і вала:

Отвору: $D = 42$ мм, $ES = + 0,038$ мм $EI = + 0,023$ мм.

Вала: $d = 42$ мм $es = + 0,001$ мм $ei = - 0,009$ мм.

2. Граничні розміри отвору і вала:

Отвору: $D_{max} = D + ES = 42 + 0,038 = 42,038$ мм;

$D_{min} = D + EI = 42 + 0,023 = 42,023$ мм.

Вала: $d_{max} = d + es = 42 + 0,001 = 42,001$ мм;

$d_{min} = d + ei = 42 + (-0,009) = 41,991$ мм.

3. Допуски розмірів діаметрів отвору і вала:

Отвору: $T_D = D_{max} - D_{min} = 42,038 - 42,023 = 0,015$ мм.

або $T_D = ES - EI = 0,038 - 0,023 = 0,015$ мм

Вала: $T_d = d_{max} - d_{min} = 42,001 - 41,991 = 0,010$ мм

або $T_d = es - ei = 0,001 - (-0,009) = 0,010$ мм

4. Схема розташування полів допусків наведена нижче.

5. Із схеми бачимо, що поле допуску вала розташоване нижче від поля допуску отвору, отже задана посадка буде із зазором і для неї визначаємо граничні значення зазору S_{max} і S_{min} .

$S_{max} = D_{max} - d_{min} = 42,038 - 41,991 = 0,047$ мм

або $S_{max} = ES - ei = 0,038 - (-0,009) = 0,047$ мм

$S_{min} = D_{min} - d_{max} = 42,023 - 42,001 = 0,022$ мм

або $S_{min} = EI - es = 0,023 - 0,001 = 0,022$ мм

Середній зазор: $S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} = \frac{0,047 + 0,022}{2} = 0,0345$ мм.

6. Допуск посадки (допуск зазору):

$T_s = S_{max} - S_{min} = 0,047 - 0,022 = 0,025$ мм

або $T_s = T_D + T_d = 0,015 + 0,010 = 0,025 \text{ мм}$

7. Будуємо схему полів допусків. Позначаємо знайдені величини на схемі.

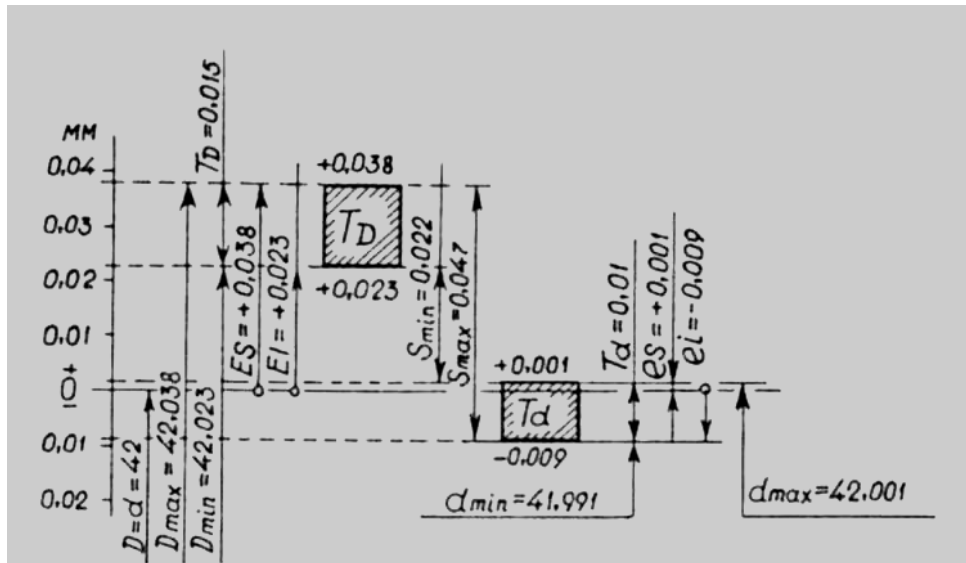
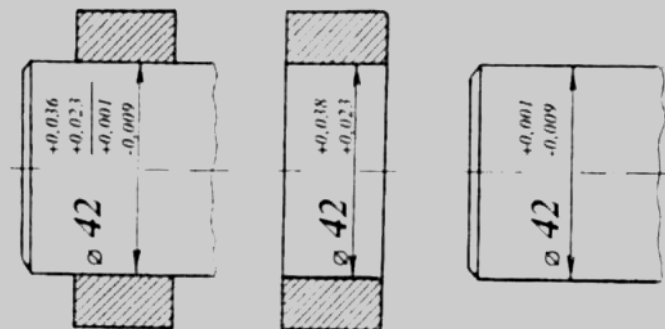


Схема розташування полів допусків.



Складальне і подетальні креслення з'єднання.