

Лекція 23

Тема 7. Передача гвинт-гайка

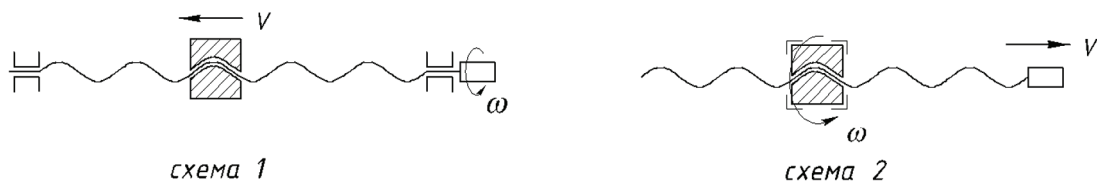
7.1. Загальні відомості

Передача гвинт-гайка використовується для перетворення обертального руху у поступальний в різних галузях техніки; в приладах, верстатах, пресах, прокатних станах, випробувальних машинах тощо.

Виконується передача за двома схемами:

схема 1: гвинт – обертальний рух, гайка – поступальний.

схема 2: гайка – обертальний рух, гвинт – поступальний.



Переваги передачі: висока несуча здатність, великий виграш у силі, дозволяє реалізувати повільні переміщення і досягти високу точність переміщення, простота конструкції.

Недоліки передачі: великі втрати на тертя, значне спрацювання елементів передачі, низький ККД.

Класифікація.

З призначенням: кінематичні, силові;

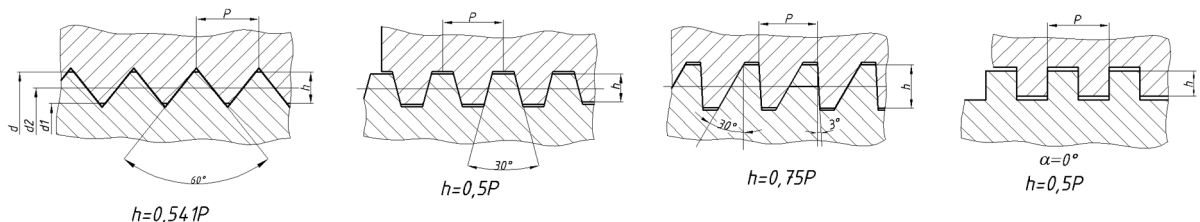
За видом тертя: з тертям ковзання, з тертям кочення.

Остання має високий К.К.Д., але дорога.

7.2. Конструкція деталей передачі

Гвинти

Використовуються наступні типи різьб: стандартні – трикутна, трапецеїдальна, упорна; нестандартна прямокутна.



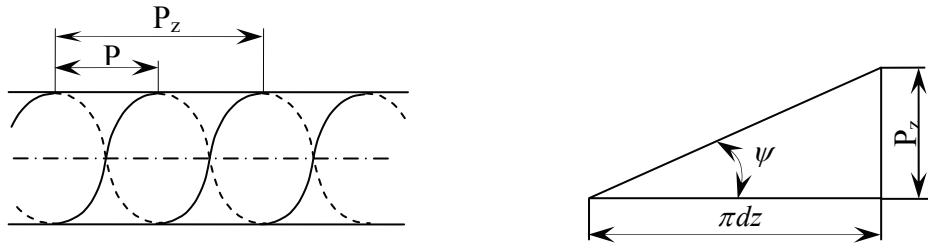
Трикутна різьба: низький К.К.Д., використовується в кінематичних передачах.

Трапецеїдальна: технологічна, міцніша прямокутної, має широке застосування.

Упорна: сприймає велике однобічне осьове навантаження.

Прямокутна: нетехнологічна (не можна нарізати фрезами), підвищений К.К.Д., застосовується рідко.

Параметри різьби: d – зовнішній діаметр; d_2 – середній діаметр; d_1 – внутрішній діаметр; P – крок; P_z – хід; z – число заходів різьби; $P_z = P \cdot z$; α – кут профілю; h – робоча висота профілю.

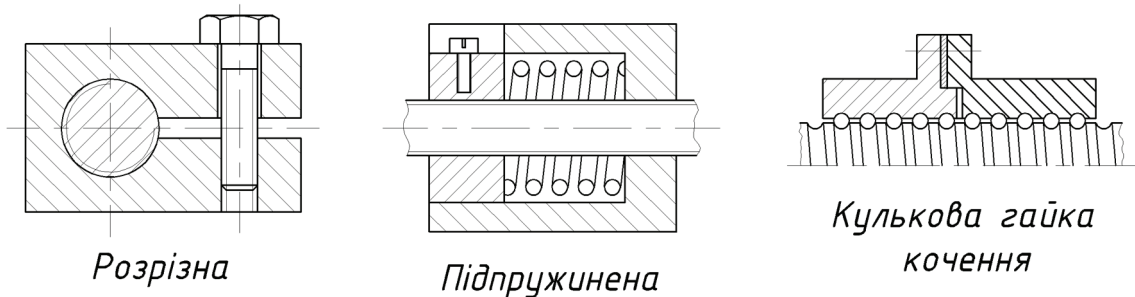


Кут підйому витків $tg\psi = \frac{P_z}{\pi d_2} = \frac{P \cdot z}{\pi d_2}$.

Матеріали гвинта: незагартовані сталі 45, 50 та інші, загартовані сталі 40Х, 65Г, ХВГ, У10; для азотування 18ХГТ; 40ХФА.

Гайки

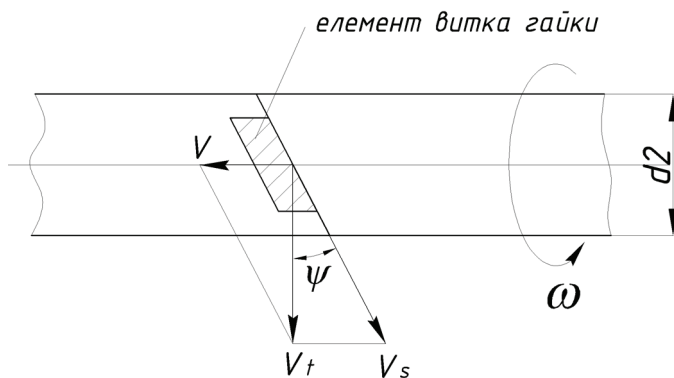
Гайки виготовляються суцільними, а також розрізними, підпружиненими та ін. (для компенсації спрацювання і зменшення зазорів).



Матеріали гайок ковзання: при швидкостях ковзання $V_s \leq 6 \text{ м/с}$ – олов'яні бронзи. При малих швидкостях і навантаженнях – антифрикційні (АЧВ-1; АСЧ-3), або сірі (СЧ15, СЧ20) чавуни.

7.3. Кінематика передачі

ω – кутова швидкість гвинта;
 d_2 – середній діаметр різьби;
 ψ – кут підйому гвинтової лінії.



Колова швидкість $V_t = \omega \cdot \frac{d_2}{2}$.

Розкладемо $\vec{V}_t \Rightarrow \vec{V} + \vec{V}_s$.

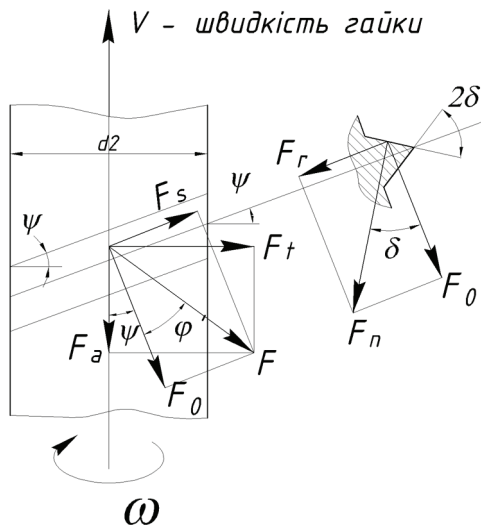
Швидкість гайки

$V = V_t \cdot tg\psi$; $V = \omega \cdot \frac{d_2}{2} tg\psi$

Швидкість ковзання

$V_s = \frac{V_t}{\cos\psi}$; $V_s = \frac{\omega \cdot d_2}{2 \cos\psi}$.

7.4. Силовий аналіз передачі



d_2 – середній діаметр різьби;

ψ – кут підйому гвинтової лінії, F_n – нормальна сила;

Розкладемо $\vec{F}_n \Rightarrow \vec{F}_r + \vec{F}_o$,

де F_r – радіальна сила,

$$F_o = F_n \cos \delta; \quad \delta = \frac{\alpha}{2},$$

α – кут профілю різьби.

Сила тертя $F_s = F_n f$, f – коефіцієнт тертя.

Складемо $\vec{F}_o + \vec{F}_s \Rightarrow \vec{F}$. Представимо

$$\vec{F} = \vec{F}_a + \vec{F}_t; \quad F_a \text{ – осьова сила на гвинті;}$$

F_t – колова сила на гвинті.

З трикутника $F_t = F_a \operatorname{tg}(\psi + \varphi')$. Момент на гвинті: $T = F_t \frac{d_2}{2}$

Остаточно

$$T = F_a \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \quad (7.1)$$

Повний обертальний момент на гвинті

$$T_n = T + T_{so},$$

де T_{so} – момент сил тертя на опорах гвинта.

Обчислимо кут φ' ; $\operatorname{tg} \varphi' = \frac{F_s}{F_n \cos \delta} = \frac{f}{\cos \delta}$; φ' – зведений кут тертя.

При слабкому змащуванні для пари сталь – бронза $f = 0.1$, для пари сталь – чавун $f = 0.15$.

Для трикутної різьби $\delta = \frac{\alpha}{2} = 30^\circ$; для трапецеїдальної $\delta = \frac{\alpha}{2} = 15^\circ$; для упорної

$\delta = 3^\circ$; для прямокутної $\delta = 0$.

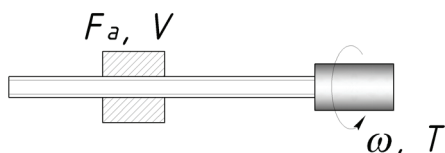
Формула (6.1.) справедлива, коли осьова сила F_a на гвинті протилежна напрямку швидкості V поступального руху гайки. Коли напрямок швидкості V і сили F_a збігаються, одержимо

$$T = F_a \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\varphi' - \psi) \quad (7.2)$$

При $\varphi' < \psi$ $T < 0$ – це значить, що при дії осьової сили на гайку гвинт обертається, тобто передача несамогальмівна

Лекція 24

7.5. Коефіцієнт корисної дії



Коефіцієнт корисної дії $\eta = \frac{P_1}{P_2}$. Потужність на гайці

$P_1 = F_a V$; потужність на гвинті $P_2 = T \omega$. Звідси

$$\eta = \frac{F_a V}{T \omega} = \frac{F_a \cdot \omega \cdot \frac{d_2}{2} \operatorname{tg} \psi}{F_a \cdot \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \omega} = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi')} . \text{ Остаточно маємо}$$

$$\boxed{\eta = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi')}} \text{ – для випадку, коли напрямок зовнішньої сили, що діє на гайку,}$$

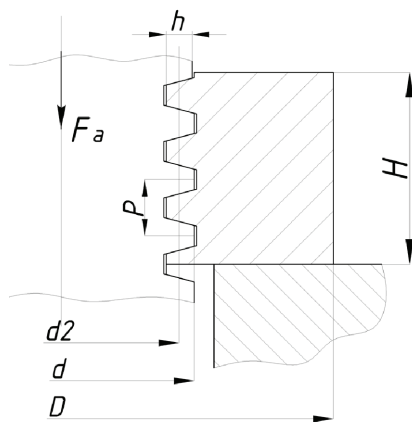
протилежний напрямку швидкості гайки.

$$\boxed{\eta' = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\varphi' - \psi)}} \text{ – для випадку, коли напрямок зовнішньої сили, що діє на гайку,}$$

протилежний напрямку швидкості збігаються.

Для передачі гвинт-гайка $\eta = 0.6 \dots 0.8$.

7.6. Розрахунок передачі на стійкість проти спрацювання



F_a – осьова сила на гвинті;

d_2 – середній діаметр різьби;

h – висота робочого профілю різьби;

H – висота гайки;

P – крок різьби.

Стійкість проти спрацювання забезпечується обмеженням тиску між витками різьби:

$$p = \frac{F_a}{A} \leq [p]$$

Поверхня контакту $A = \pi d_2 h z_e$, де кількість витків у гайці $z_e = H/P$.

Введемо вирази:

$$h = \psi_h P; \quad \psi_h \text{ – коефіцієнт висоти різьби;}$$

$$H = \psi_H d_2; \quad \psi_H \text{ – коефіцієнт висоти гайки.}$$

$$\text{Тоді } A = \pi d_2 \psi_h P \frac{\psi_H d_2}{P} = \pi d_2^2 \psi_h \psi_H .$$

Умова стійкості проти спрацювання прийме вигляд

$$\boxed{P = \frac{F_a}{\pi d_2^2 \psi_h \psi_H} \leq [p]} \quad (7.3)$$

Для проектного розрахунку

$$\boxed{d_2 \geq \sqrt{\frac{F_a}{\pi \psi_h \psi_H [p]}}} \quad (7.4)$$

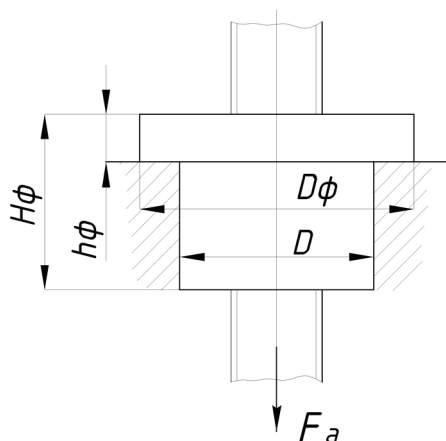
Для трапецеїдальної і прямокутної різьб $\psi_h = 0.5$; для упорної $\psi_h = 0.75$.

Коефіцієнт висоти гайки $\psi_H = 1.2 \dots 2.5$.

Допустимий тиск для пари загартована сталь – бронза $[p] = (12 \dots 15) \text{ МПа}$, для пари

незагартована сталь – бронза або чавун відповідно $[p] = 8 \text{ МПа}; 5 \text{ МПа}$.

7.7. Розрахунок гайки



а) Розрахунок витків різьби на зріз

$$\tau_{зр} = \frac{F_a}{A_{зр}} = \frac{F_a}{\pi d H k} \leq [\tau]_{зр}.$$

Тут k - коефіцієнт повноти різьби.

Для трикутної різьби $k = 0,87$;

трапецеїдальної $k = 0,65$;

прямокутної $k = 0,5$.

Допустимі напруження: для бронзи

$$[\tau]_{зр} = (25 \dots 30) \text{ МПа}; \text{ для чавуну}$$

$$[\tau]_{зр} = (45 \dots 50) \text{ МПа}$$

б) Розрахунок корпусу гайки на розтяг з крученням.

$$\sigma_p = \frac{4F_a \beta}{\pi(D^2 - d^2)} \leq [\sigma]_p, \text{ де } D - \text{зовнішній діаметр гайки};$$

$\beta = 1,3$ - коефіцієнт, що враховує закручування гайки.

Для проектного розрахунку

$$D \geq \sqrt{\frac{4F_a \beta}{\pi[\sigma]_p} + d^2}.$$

Допустимі напруження: для бронзи $[\sigma]_p = (35 \dots 45) \text{ МПа}$, для чавуну

$$[\sigma]_p = (20 \dots 25) \text{ МПа}.$$

в) Розрахунок опорного торця і висоти фланця гайки

Розрахунок опорного торця гайки на зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{4F_a}{\pi(D_\phi^2 - D^2)} \leq [\sigma]_{зм}.$$

Для проектного розрахунку

$$D_\phi \geq \sqrt{\frac{4F_a}{\pi[\sigma]_{зм}} + D^2}.$$

Для чавунної і бронзової гайки $[\sigma]_{зм} = (35 \dots 45) \text{ МПа}$.

Висота фланця визначається з умови рівномірного розподілу навантаження між витками $h_\phi = 0,25H$.

7.8. Розрахунок гвинта

а) Розрахунок стержня гвинта на розтяг (стиск) з крученням.

$$\text{Напруження розтягу } \sigma = \frac{4F_a}{\pi d_1^2}.$$

Напруження від дії моменту в різьбі T

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_1^3}, \text{ де } T = F_a \frac{d_2}{2} \text{tg}(\psi + \varphi'); \text{ tg} \varphi' = \frac{f}{\cos \delta}.$$

$$\delta = \frac{\alpha}{2}, \quad \alpha - \text{кут профілю різьби}.$$

За III теорією міцності

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]; \quad [\sigma] = (0,2 \dots 0,3) \sigma_T.$$

б) Розрахунок гвинта на стійкість

Розрахунок гвинта на стійкість рекомендується проводити, коли зведена довжина гвинта $\nu l \geq (1,5 \dots 10) d_1$.

Тут ν – коефіцієнт зведення довжини;

l – відстань між опорами;

d_1 – внутрішній діаметр різьби.

При $l_{on} / d_{on} \leq 1,5 \dots 2$ (l_{on}, d_{on} – довжина і діаметр цапфи опори) опори можна вважати шарнірними і $\nu = 1$.

Критична сила визначається за формулою Ейлера

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(\nu l)^2},$$

де момент інерції перерізу гвинта $I = \frac{\pi d_1^4}{64}$.

Запас стійкості $s_{cm} = F_{кр} / F$.

Допустимий запас стійкості для вертикально розташованого гвинта $[s]_{cm} = 2,5 \dots 4$,

для горизонтального $[s]_{cm} = 3,5 \dots 5$.

Необхідно зауважити, що перед розрахунком необхідно перевірити умову

використання формули Ейлера: $\lambda \geq \lambda_{zp}$, де гнучкість гвинта $\lambda = \frac{\nu l}{i}$; радіус інерції

$i = \sqrt{\frac{I}{A_1}}$; $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$. Гранична гнучкість $\lambda_{zp} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{mц}}}$, де $\sigma_{mц}$ - границя пропорційності

матеріалу гвинта. Для сталей 40, 45, 50 гранична гнучкість $\lambda_{zp} \approx 90$.