

Лекція № 33

Тема 12. Шпонкові з'єднання

12.1 Загальна характеристика.

Шпонка це деталь, яку вставляють у пази вала і маточини зубчастих коліс, шківів тощо, з метою передачі обертового моменту.

Переваги шпонкових з'єднань:

простота і надійність конструкції, зручність складання, низька вартість.

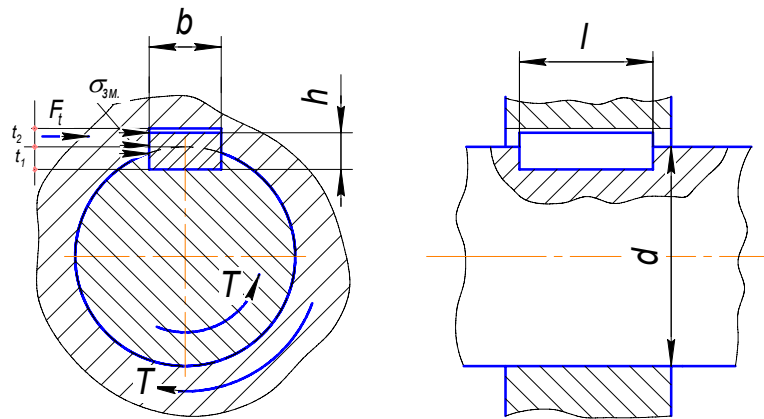
Недоліки шпонкових з'єднань:

послаблення вала і маточини шпонковими пазами, які зменшують поперечний переріз і спричиняють значну концентрацію напружень, що сприяє втомному руйнуванню деталей.

12.2. Класифікація та конструкція шпонкових з'єднань

Розрізняють ненапружені та напружені шпонкові з'єднання.

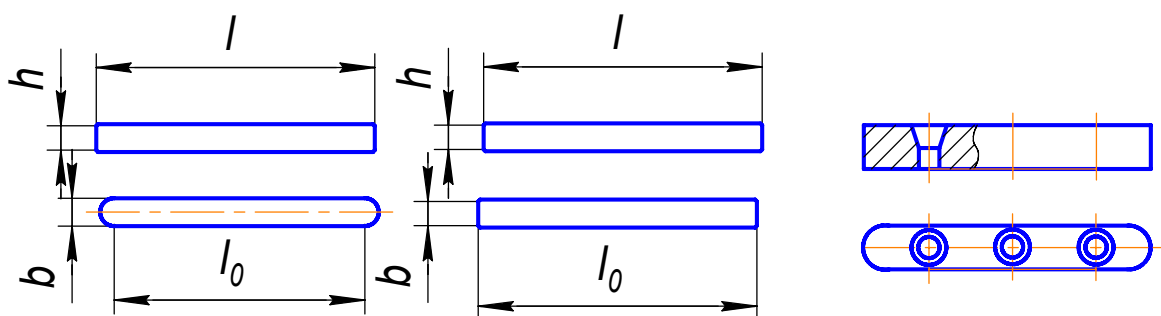
Ненапружені шпонкові з'єднання здійснюються за допомогою призматичних та сегментних шпонок.



Призматичні шпонки бувають звичайні і напрямні. Звичайні призматичні шпонки використовуються для нерухомого з'єднання маточини з валом, напрямні – у випадку переміщення деталей, розміщених на валу, вздовж вала.

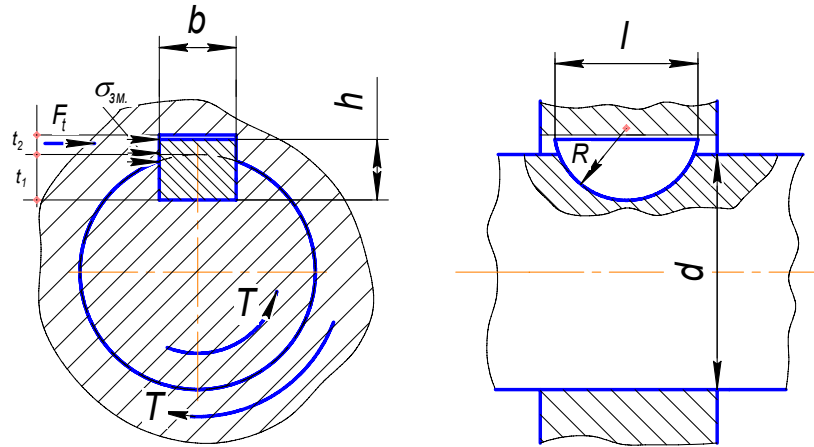
Звичайні шпонки

Напрямна шпонка



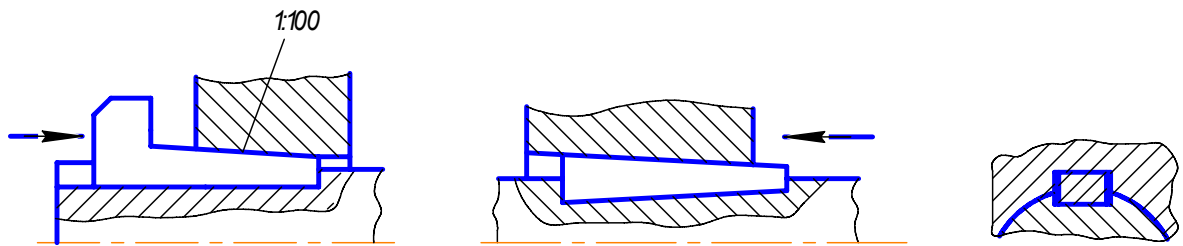
Призматичні шпонки бувають із округленими і плоскими торцями. Робочими гранями шпонок є бічні грані. Робоча довжина призматичної шпонки зі округленими торцями

$$l_0 = l - b, \text{ а для шпонки з плоскими торцями } l_0 = l$$

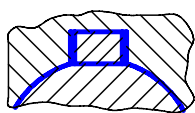


Сегментні шпонки характеризуються глибокою посадкою на валу, що забезпечує їм більш стійке положення, ніж призматичним. Це запобігає перекошуванню шпонок під навантаженням. Однак глибокий паз послаблює вал, тому сегментні шпонки використовуються на мало навантажених ділянках валів. Призматичні і сегментні шпонки стандартизовані.

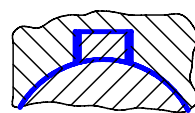
Напруженні шпонкові з'єднання здійснюються за допомогою клинових та циліндричних шпонок. Клинові шпонки бувають врізні, на лисці і фрикційні.



Врізні шпонки



Шпонка на лисці

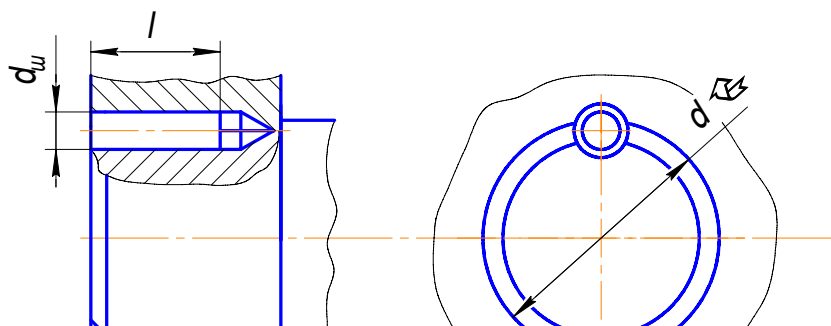


Фрикційна шпонка

Розглянуті клинові шпонки передають обертальний момент за рахунок сил тертя на широких робочих гранях. Ці сили тертя створюються відповідним натягом при забиванні шпонок.

Клинові шпонки мають обмежене застосування, оскільки вони спричиняють зміщення осі маточини відносно осі вала. Область використання – тихохідні машини при необхідності частого розбирання з'єднань.

Циліндричні шпонки – це циліндричні штифти, що встановлюються в отвори, паралельні осі з'єднання, по посадках з гарантованим натягом (H7/ r6).



Такі шпонки використовуються для закріплення деталей на кінці вала. Розміри шпонок стандартизовані. Діаметри шпонки $d_{ш} = (0,13...0,16)d$, довжина шпонки $l = (3..4)d_{ш}$.

12.3. Підбір шпонок і розрахунок шпонкових з'єднань на міцність

Для виготовлення шпонок всіх видів використовують спеціальний точний прокат із сталей з $\sigma_s \geq 500 \text{ МПа}$.

Оскільки шпонкові з'єднання стандартизовані, поперечні перерізи шпонок вибирають залежно від діаметра вала за таблицями. Довжину шпонок встановлюють із конструктивних міркувань, а потім перевіряють з'єднання на міцність, або безпосередньо визначають з умови міцності. Повну довжину шпонки l узгоджують із стандартним рядом довжин.

12.3.1. Розрахунок з'єднання призматичною шпонкою.

Основним розрахунком з'єднання є розрахунок на зминання бічних вузьких граней шпонки і бічних стінок пазів в маточині (див. рис.) .

Умова міцності:

$$\sigma_{зм.} = \frac{F_t}{A_{зм.}} \leq [\sigma]_{зм.}$$

де F_t - колова сила, що діє на поверхні, $F_t = \frac{2T}{d}$ (T – момент на валу, d – діаметр вала);

$A_{зм.}$ – площа поверхні зминання, $A_{зм.} = (h - t_1)l_0$ (l_0 - робоча довжина шпонки, t_1 - глибина паза в маточині).

Тут за розрахункову площу береться площа контактної поверхні в маточині, оскільки за стандартом $t_1 < t_2$, і опір зминанню матеріалу маточини може бути меншим ніж опір сталевих вала і шпонки.

В результаті маємо:

$$\sigma_{зм.} = \frac{2T}{d \cdot l_0 \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma]_{зм.} \quad (1)$$

Коли умова міцності не виконується, треба збільшити довжину шпонки l_0 . Якщо це неможливо, тоді встановлюють дві шпонки, взаємно зміщені на 180° .

Для проектного розрахунку з умови (1) можна визначити робочу довжину шпонки:

$$l_0 \geq \frac{2T}{d \cdot (h - t_1) \cdot [\sigma]_{зм.}} \quad (2)$$

За значенням l_0 знаходять повну довжину шпонки $l = l_0 + b$, яку узгоджують із стандартним рядом довжин шпонок.

В з'єднанні шпонка піддається також деформації зрізу. Але умова міцності на зріз врахована при стандартизації розмірів призматичних і сегментних шпонок. Тому для стандартних шпонок перевірка міцності на зріз не обов'язкова.

Допустимі напруження:

при перехідних посадках втулки (маточини) на вал:

$$[\sigma]_{зм.} = (100...120) \text{ МПа} \quad (\text{втулка із сталі});$$

$$[\sigma]_{зм.} = (70...80) \text{ МПа} \quad (\text{втулка із чавуну});$$

при посадках з гарантованим натягом:

$$[\sigma]_{зм.} = (160 \dots 180) \text{ МПа} \quad (\text{втулка із сталі});$$

$$[\sigma]_{зм.} = (110 \dots 130) \text{ МПа} \quad (\text{втулка із чавуну}).$$

Менші значення беруть при змінних навантаженнях.

Для рухомих з'єднань з напруженими призматичними шпонками з метою обмеження спрацювання беруть $[\sigma]_{зм.} = (20 \dots 30) \text{ МПа}$

12.3.2. Розрахунок з'єднань сегментною шпонкою.

Розрахунок з'єднання виконуються так, як і розрахунок з'єднання призматичною шпонкою, тобто за умовою міцності на зминання (1). Позначення величин для сегментної шпонки див. на рисунку.

Якщо умова міцності не виконується можна встановити в ряд по осі вала дві сегментні шпонки. Допустимі напруження такі як для з'єднань з призматичними шпонками.

12.3.3. Розрахунок напружених шпонкових з'єднань.

а) Розрахунок з'єднань клиновою врізною шпонкою

В результаті запресування шпонки на робочих гранях мають місце напруження зминання $\sigma_{зм.}$.

В не навантаженому обертальним моментом з'єднанні, ці напруження рівномірно розподіляються по ширині шпонки b .

Під навантаженням еюра перетворюється в трапецевидну, а потім в трикутну, що є граничним випадком, оскільки відповідає початку розкриття стику з правого боку шпонки.

Рівнодійна напружень зминання F дорівнює об'єму просторової епюри напружень зминання:

$$F = \frac{1}{2} \sigma_{зм.} \cdot b \cdot l, \quad (3)$$

де l - активна довжина шпонкового з'єднання.

Лінія дії сили F проходить через центр ваги трикутної епюри.

Умова рівноваги вала має вигляд:

$$T = F \cdot \frac{b}{6} + F_s \cdot \frac{d}{2} + F \cdot c.$$

Враховуючи, що сили тертя $F_s = F \cdot f$; $c \approx \frac{d}{2}$, маємо:

$$T = F \cdot \left(\frac{b}{6} + f \cdot d \right) \quad (4)$$

Підставляємо в (4) значення F згідно з (3) і обчислюючи $\sigma_{зм.}$, запишемо умову міцності:

$$\sigma_{зм.} = \frac{12T}{b \cdot l \cdot (b + 6 \cdot f \cdot d)} \leq [\sigma]_{зм.},$$

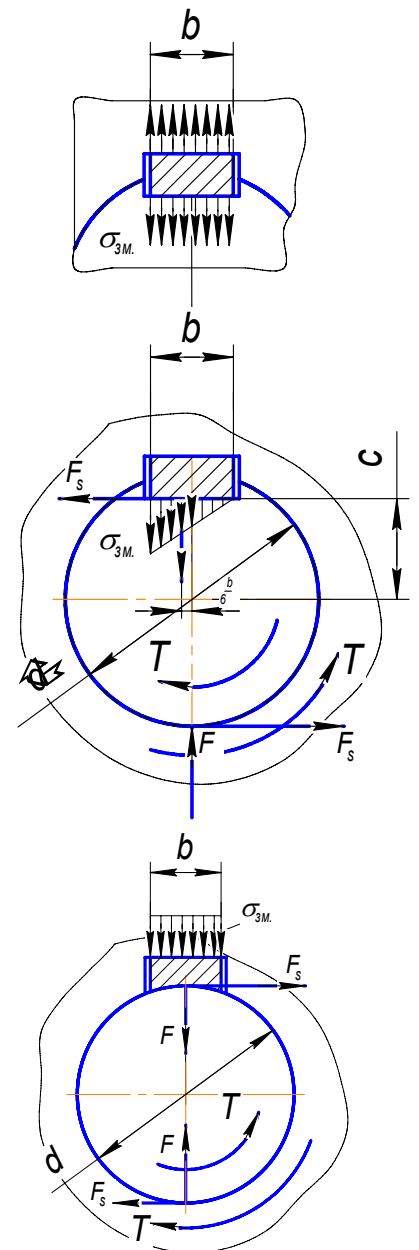
де $[\sigma]_{зм.} = (80 \dots 100) \text{ МПа}$.

б) Розрахунок з'єднання клиновою шпонкою на лисці.

Розрахунок виконується за тими самими залежностями, що й для врізних клинових шпонок.

в) Розрахунок з'єднань фрикційною шпонкою.

Припускають, що в навантаженому з'єднанні напруження зминання залишаються рівномірно розподіленими на робочих гранях шпонки.



Умова рівноваги вала:

$$T = F_s \cdot d = F \cdot f \cdot d = \sigma_{зм.} \cdot b \cdot l \cdot f \cdot d,$$

де l – довжина робочої грані шпонки, на якій вона контактує з маточиною.

Звідси умова міцності на зминання:

$$\sigma_{зм.} = \frac{T}{b \cdot l \cdot f \cdot d} \leq [\sigma]_{зм.}, \text{ де } [\sigma]_{зм.} = (70 \dots 80) \text{ МПа}.$$

г) Розрахунок з'єднання циліндричною шпонкою.

$$\text{Умова міцності на зминання: } \sigma_{зм.} = \frac{F_t}{A_{зм.}} \leq [\sigma]_{зм.}.$$

Враховуючи, що колова сила $F_t = \frac{2T}{d}$, а

розрахункова площа зминання $A_{зм.} = \frac{d_u l}{2}$,

де l – довжина шпонки, одержимо:

$$\sigma_{зм.} = \frac{4T}{d \cdot d_u \cdot l} \leq [\sigma]_{зм.}, \text{ де } [\sigma]_{зм.} = (100 \dots 120) \text{ МПа}$$

Якщо умова міцності не виконується, то ставлять дві або три шпонки, зміщені відповідно на кут 180° або 120° .

