

## Тема 3.12. Шпонкові і шліцьові з'єднання

### План

1. Шпонкові з'єднання. Розрахунок з'єднань призматичними шпонками
2. Зубчасті (шліцьові) з'єднання, застосування та перевірний розрахунок

### 1. Шпонкові з'єднання. Розрахунок з'єднань призматичними шпонками



**Шпонкові з'єднання** – це з'єднання, що утворені за допомогою шпонок. **Шпонкою** називають деталь, яку вставляють у пази вала і маточини для утворення з'єднання, здатного передавати крутний момент від вала до маточини або навпаки. Це з'єднання типу вал-маточина.

На основі розроблених нових конструкцій шпонок, на рівні винаходів, нами запропоновано нову класифікацію шпонкових з'єднань, яка відрізняється від наведеної у підручниках з деталей машин. Її суть така:

- шпонкові з'єднання жорсткими стандартними шпонками (рис. 12.1) – **клиновими,**



**призматичними,**



сегментними.

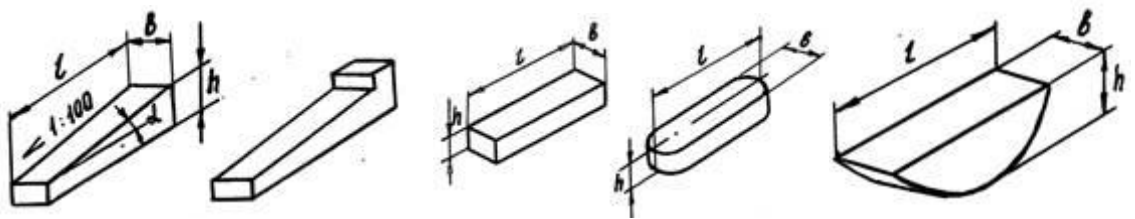


Рис. 12.1. Схеми жорстких стандартних шпонок

- шпонкові з'єднання жорсткими спеціальними шпонками (рис. 12.2), з різними поперечними перерізами;

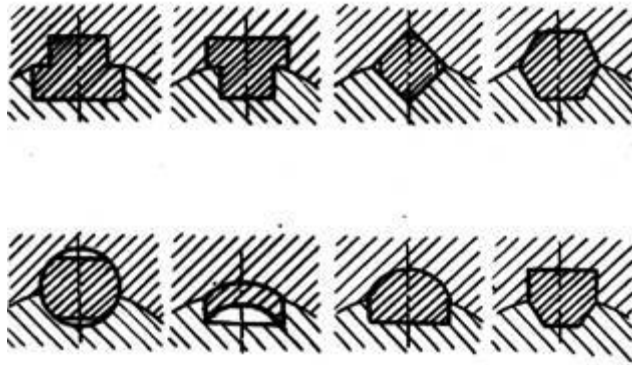


Рис. 12.2. Схеми перерізів жорстких спеціальних шпонок

- шпонкові з'єднання напівжорсткими або напівпружними шпонками (рис. 12. 3).

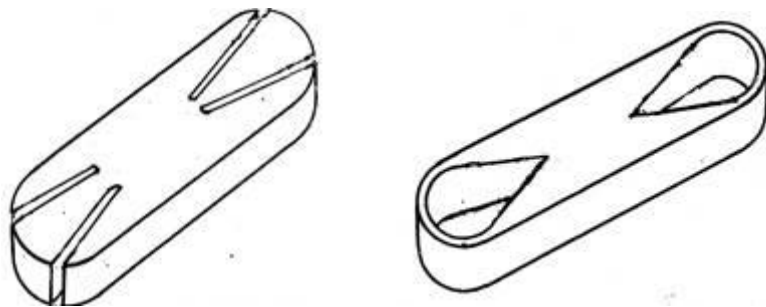


Рис. 12.3. Схеми напівжорстких або напівпружних шпонок

- шпонкові з'єднання пружними шпонками (рис. 12.4);

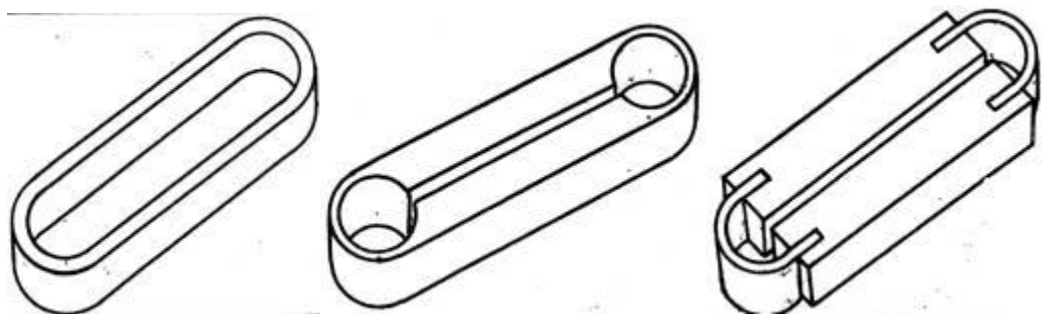


Рис. 12.4

- шпонкові з'єднання запобіжними шпонками (рис. 12.5).

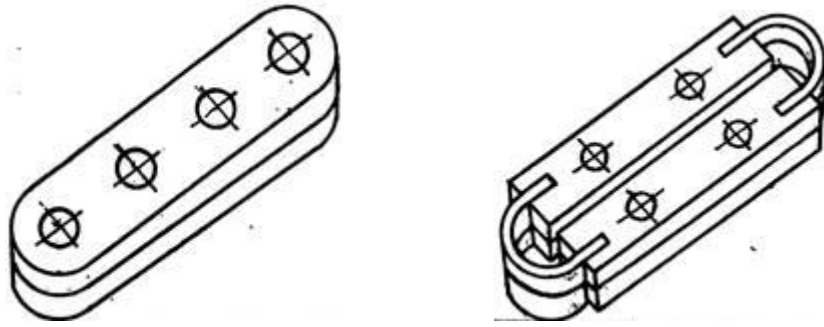


Рис. 12.5

Шпонкові з'єднання жорсткими шпонками розрізняють **ненапружені** та **напружені**. Ненапружені шпонкові з'єднання здійснюють за допомогою призматичних і сегментних шпонок. Напружені шпонкові з'єднання здійснюють за допомогою клинових шпонок.

Пази в маточині виконують **довбанням** або **протягуванням** одношліцевою **протяжкою** завширшки  $b$  на глибину  $t_1$ .

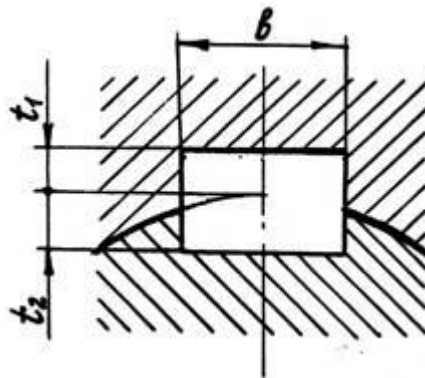


Рис. 12.6. Схема пазів у валу і маточині з розмірами

Пази на валу виконують **фрезеруванням** пальцевою або **дисковою фрезами** завширшки  $b$  на глибину  $t_2$ . (рис. 12.7)

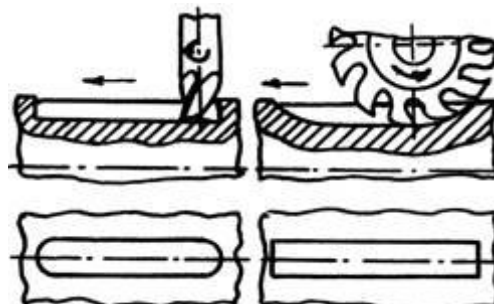


Рис. 12.7. Схеми виготовлення пазів у валу

Найбільше ширину призматичної шпонки та ширину паза в маточині виконують з посадкою  $\frac{J_9}{h9}$ , а у валу –  $\frac{P9}{h9}$  (рис. 12.8). Шпонки входять у паз маточини таким чином, що між верхньою гранню шпонки і дном маточини утворюється зазор. У з'єднанні клиновою шпонкою зазори утворюються між боковими гранями вала і маточини з боковою гранню шпонки.

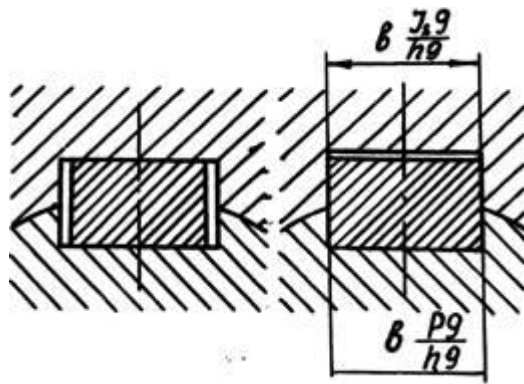


Рис. 12.8. Схеми встановлення і посадок шпонок у пази вала і маточини

### Розрахунок ненапружених шпонкових з'єднань

Ненапружені шпонкові з'єднання здійснюють за допомогою **призматичних** (ГОСТ 23360-78)



і **сегментних** (ГОСТ 24071-80) стандартних шпонок.



Згідно із стандартом ширина шпонок  $b$  і висота  $h$  вибирається залежно від діаметра вала  $d$ . Довжину шпонки  $l$  вибирають залежно від довжини маточини  $l_m$  деталі.

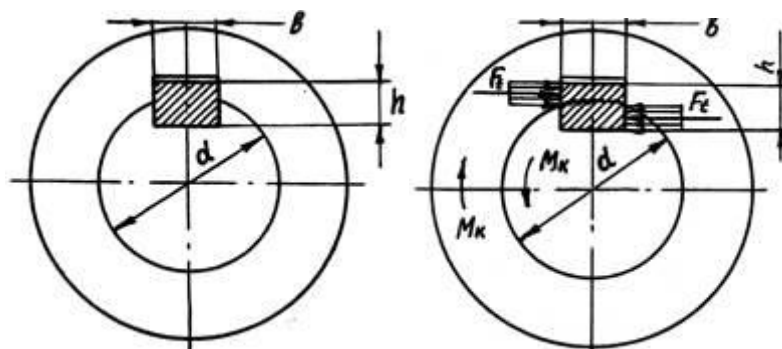


Рис. 12.9. Розрахункова схема ненапружених шпонкових з'єднань

До прикладання крутного моменту  $M_k$  у шпонці не виникають напруження (рис. 12.9), тому таке шпонкове з'єднання є ненапруженим. Під час прикладання крутного моменту (рис. 12.9) у з'єднаннях вал-шпонка і маточина-шпонка виникають напруження зминання, а на більшій грані шпонка може зрізатися.

Для ненапружених шпонкових з'єднань виконують, як правило, перевірки розрахунки:

$$\sigma_{зм} = \frac{F_t}{A_{зм}} = \frac{4 \cdot M_k}{d \cdot l \cdot h} \leq [\sigma]_{зм}; \quad (12.1)$$

- на зминання

- на зріз

$$\tau_{зр} = \frac{F_t}{A_{зр}} = \frac{4 \cdot M_k}{d \cdot l \cdot b} \leq [\tau]_{зр} \quad (12.2)$$

У наведених умовах міцності  $l$  – робоча довжина шпонки. Допустимі напруження зминання  $[\sigma]_{зм}$  залежать від матеріалу маточини і приймаються  $[\sigma]_{зм} = 70 \dots 120 \text{ МПа}$ . Допустимі напруження зрізу  $[\tau]_{зр}$  залежать від матеріалу шпонки і рівні  $[\tau]_{зр} = 0,25\sigma_T$ , де  $\sigma_T$  – границя текучості матеріалу шпонки.

Коли умови міцності не виконуються, потрібно збільшити довжину шпонки, якщо дозволяє довжина маточини, або передбачити дві шпонки, взаємно зміщені на  $180^\circ$ .

### Розрахунок напружених шпонкових з'єднань

Напружені шпонкові з'єднання здійснюються за допомогою **клинових** шпонок (ГОСТ 23068-80). Згідно із стандартом ширина шпонок  $b$  і висота  $h$  вибирається залежно від діаметра вала  $d$ . Довжину шпонки  $l$  вибирають залежно від довжини маточини  $l_m$  деталі. Ухил широкої грані приймається  $1:100$ .

Напружені шпонкові з'єднання за способом розміщення клинових шпонок на валах є (рис. 12.10) **фрикційними, на лисці, тангенціальними** і **врізними** (рис. 12.11).

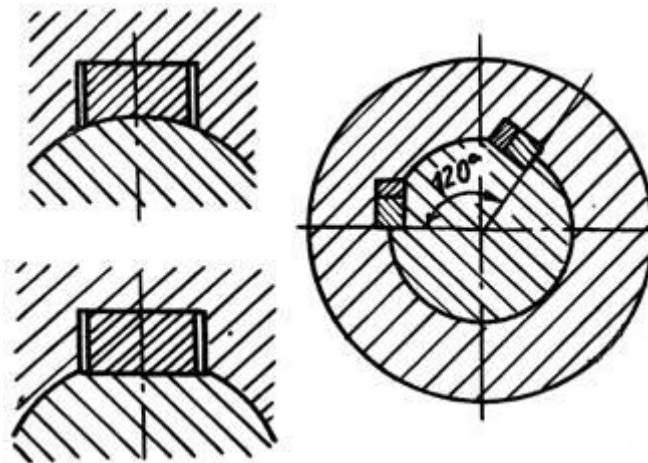


Рис. 12.10. Схеми шпонкових з'єднань клинковою шпонкою



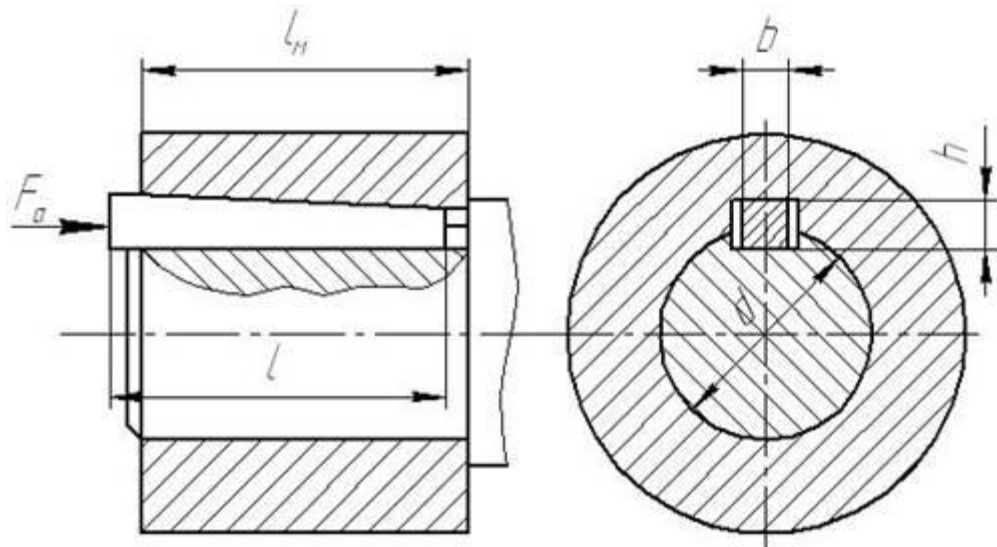


Рис. 12.11. Схеми шпонкового з'єднання врізною клиновою шпонкою

Розглянуті з'єднання клиновими шпонками передають крутний момент за рахунок сил тертя, які виникають у сполуках широких граней з валом і маточиною. Сили тертя створює натяг у радіальному напрямі під час забивання клинових шпонок. Тому з боку бічних граней клинових шпонок передбачаються зазори.

Таким чином у ненавантаженому крутним моментом з'єднанні на робочих гранях шпонки (рис. 12.12) мають місце напруження зминання  $\sigma_{зм}$ , тому таке шпонкове з'єднання є напруженим. Під час прикладання крутного моменту у сполуках вал-шпонка і маточина-шпонка напруження зминання  $\sigma_{зм}$  змінюються (див. рис. 12. 12, б, в, г). Крайнім станом вважається розподіл напруження зминання  $\sigma_{зм}$  за епюрою зображеною на рис. 12.12в.

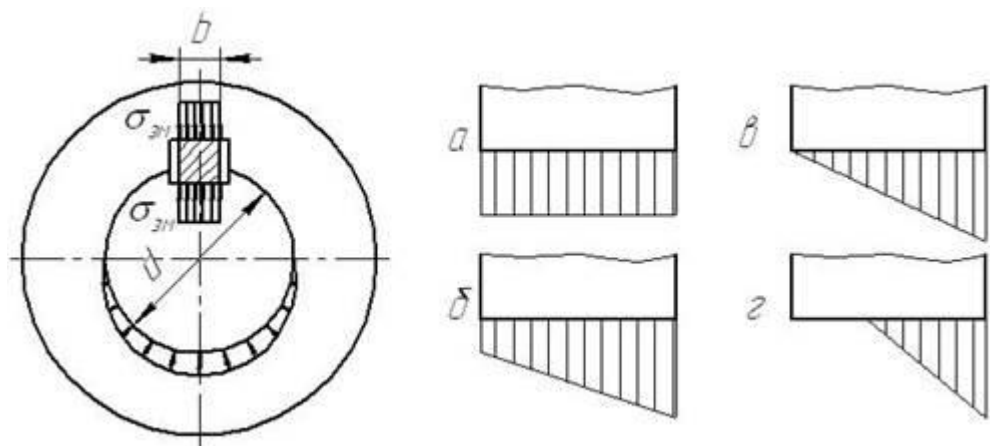


Рис. 12.12. Схеми розподілу навантаження у з'єднанні клиновою шпонкою

Крутний момент  $M_k$ , прикладений до вала (рис. 12.13), зрівноважується дією сили  $F_n$ , прикладеної до вала з боку шпонки, і дією



такої самої сили з боку маточини, а також дією сил тертя  $F_f$  з боку шпонки та маточини. Тоді умова рівноваги вала буде:

$$M_k = \frac{F_f \cdot d}{2} + F_f \cdot c + \frac{F_n \cdot b}{6} \quad (12.3)$$

Враховуючи те, що:  $F_f = f \cdot F_n$ ,  $F_n = \frac{\sigma_{зм} \cdot b \cdot l}{2}$  і  $c \approx \frac{d}{2}$  з умови рівноваги

отримаємо

$$\sigma_{зм} = \frac{12 \cdot M_k}{b \cdot l (b + 6 \cdot f \cdot d)} \leq [\sigma]_{зм} \quad (12.4)$$

У наведених умовах міцності  $f$  – коефіцієнт тертя;  $l$  – робоча довжина шпонки. Допустимі напруження зминання  $[\sigma]_{зм}$  залежать від матеріалу маточини і приймаються  $[\sigma]_{зм} = 70 \dots 120 \text{ МПа}$ .

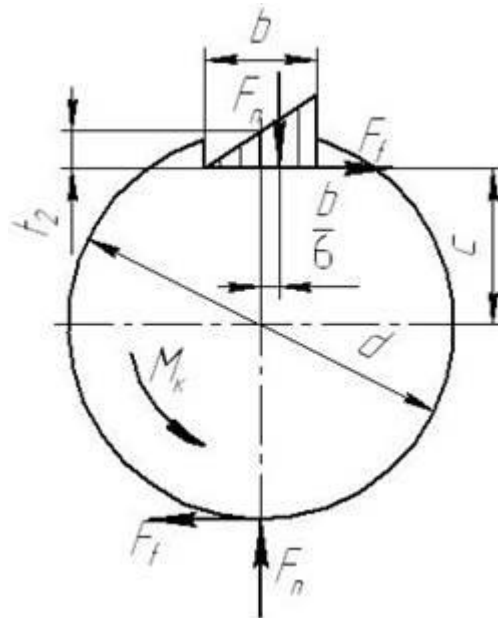
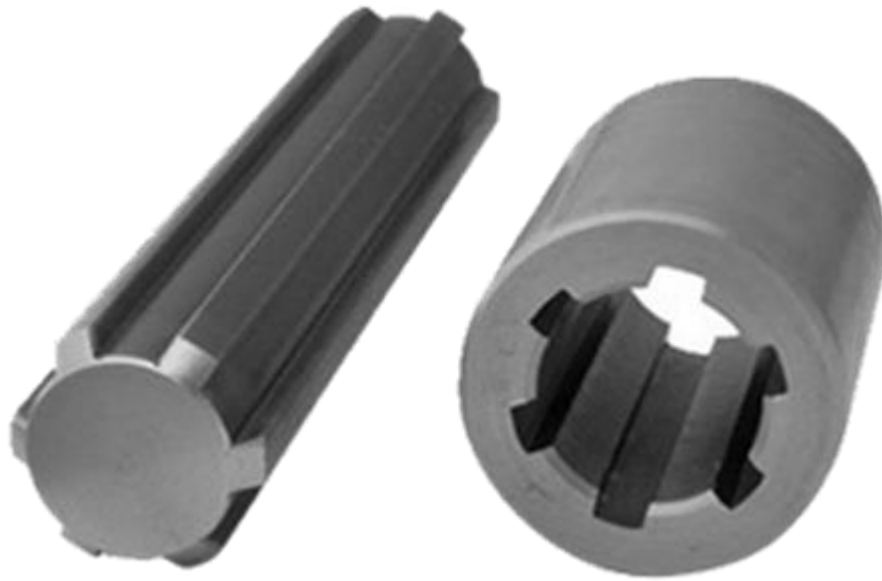


Рис. 12.13. Розрахункова схема з'єднання клиновою шпонкою

## 2. Зубчасті (шліцьові) з'єднання, застосування та перевірний розрахунок



Коли не забезпечується міцність шпонкового з'єднання під час передавання крутного моменту, тоді застосовують [шліцьове з'єднання](#) (рис. 12.14). Таке з'єднання утворюється за рахунок [шліців](#) (зубців), що нарізають на поверхні вала та отвору маточини.

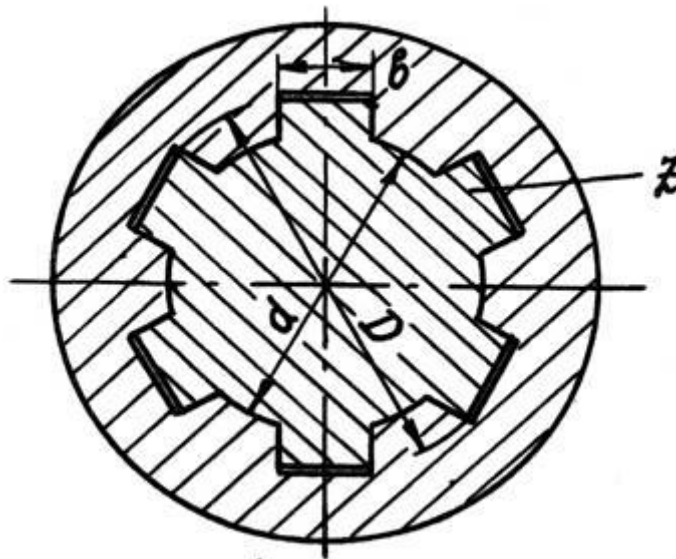
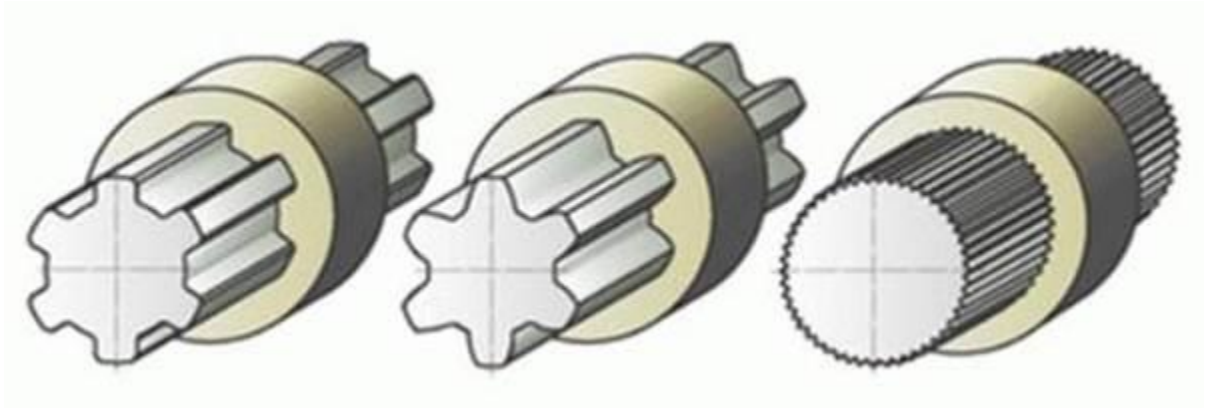


Рис. 12.14. Схема шліцьового з'єднання

**Класифікують шліцьові з'єднання таким чином:**

- за формою профілю шліців: **прямокутні, евольвентні та трикутні;**



- за центруванням: за внутрішнім діаметром  $d$ , за зовнішнім діаметром  $D$  та за бічними гранями шліців  $b$  ;
- за серіями: легкої, середньої та важкої.

Шліцьові з'єднання з прямокутним профілем шліців стандартизовані по ГОСТ 1139-80, з евольвентним профілем шліців стандартизовані за ГОСТ 6033-80, а з трикутним профілем шліців – нестандартизовані.

Розміри поперечного перерізу: внутрішній діаметр  $d$ , зовнішній діаметр  $D$ , ширина  $b$  і число  $z$  шліців приймаються залежно від діаметра вала і технологічних міркувань. Довжину шліців  $l$  вибирають залежно від довжини маточини  $l_m$ .

### Розрахунок шліцьових з'єднань



Шліци шліцьових з'єднань працюють на деформацію **зминання**, **зрізу** і **згину**. Найнебезпечнішою є деформація зминання. На рис. 12.15 показано розрахункову схему шліцьового з'єднання.

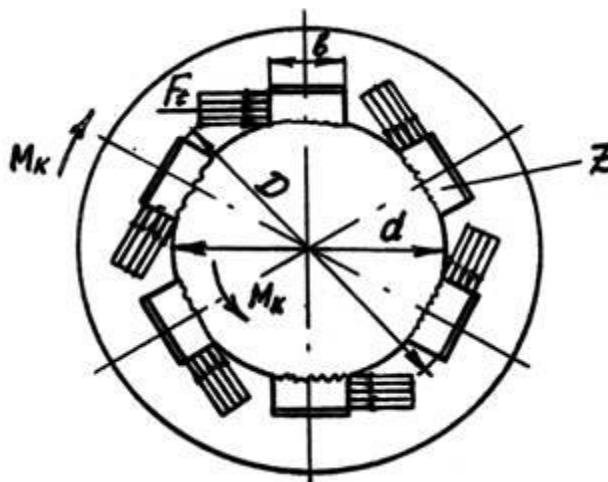


Рис. 12.15. Розрахункова схема шліцьового з'єднання

Для оцінювання роботоздатності шліцьового з'єднання визначають напруження **зминання**, **зрізу** і **згину** за формулами:

- на зминання 
$$\sigma_{зм} = \frac{8 \cdot M_k}{(D^2 - d^2) \cdot l \cdot z \cdot \psi} \leq [\sigma]_{зм}; \quad (12.5)$$

- на зріз 
$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot M_k}{(D + d) \cdot b \cdot l \cdot z \cdot \psi} \leq [\tau]_{зр}; \quad (12.6)$$

- на згин 
$$\sigma_{зг} = \frac{3 \cdot M_k \cdot (D - d)}{(D + d) \cdot b^2 \cdot l \cdot z \cdot \psi} \leq [\sigma]_{зг}. \quad (12.7)$$

В умовах міцності маємо  $\psi = 0,75 \dots 0,80$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження на шліци з'єднання.



### Запитання для самоконтролю

1. За допомогою чого утворюють шпонкові з'єднання?
2. Яку деталь називають шпонкою?
3. Які є жорсткі шпонки?
4. Які шпонки називають ненапруженими і напруженими?
5. За якою умовою перевіряють міцність ненапружених шпонкових з'єднань?
6. За якими умовами перевіряють міцність напружених шпонкових з'єднань?
7. Яке з'єднання називають шліцьовим?
8. Які є шліцьові з'єднання за формою профілю?
9. Які є шліцьові з'єднання за центруванням?
10. Як розподіляють шліцьові з'єднання за серіями?
11. За якими деформаціями перевіряють міцність шпонкових з'єднань?