

## Тема 2.3. Практичні розрахунки на зріз і зминання

### План

1. Чистий зсув
2. Закон Гука для зсуву. Модуль зсуву. Залежність між трьома пружними постійними для ізотропного тіла
3. Зріз. Основні припущення та розрахункові формули
4. Зминання, умовності розрахунку, розрахункові формули

[http://www.tsatu.edu.ua/tm/wp-content/uploads/sites/14/metod.vkaz.do-praktyc\\_hnoho-zanjattja-4\\_zriz-zmynannja.pdf](http://www.tsatu.edu.ua/tm/wp-content/uploads/sites/14/metod.vkaz.do-praktyc_hnoho-zanjattja-4_zriz-zmynannja.pdf)

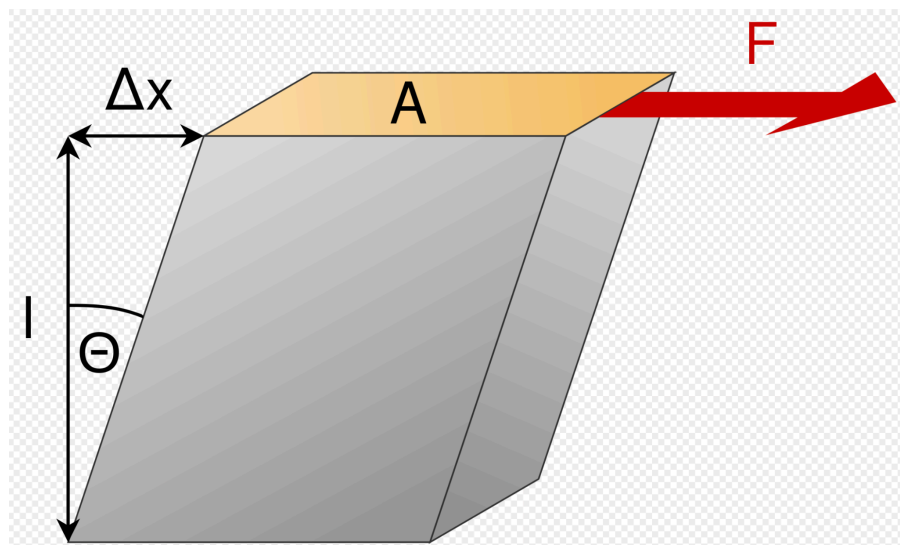
### 1. Чистий зсув

Зсувом називають такий вид деформації, за якої в будь-якому поперечному перерізі виникає лише поперечна сила  $Q$ , а решта внутрішніх силових факторів дорівнює нулю.

Деформацію зсуву можна спостерігати, наприклад під час різання ножицями металевих штаб або прутків.

На практиці багато деталей конструкцій зазнають деформацій, близьких до деформації зсуву, і в таких випадках міцнісні розміри їх визначають із розрахунку на зсув (зріз).

Якщо деталі конструкції, що передають значні стискаючі навантаження, мають невелику площу контакту, то може статися зминання поверхонь деталей. Це відбувається внаслідок того, що між поверхнею деталі, що з'єднується і стінками отвору виникає великий взаємний тиск, в результаті якого стінка отвору може зім'ятися, форма отвору зміниться і з'єднання зруйнується. Тиск, який виникає між поверхнями сполучної деталі і отвором, називається напруженням зминання.



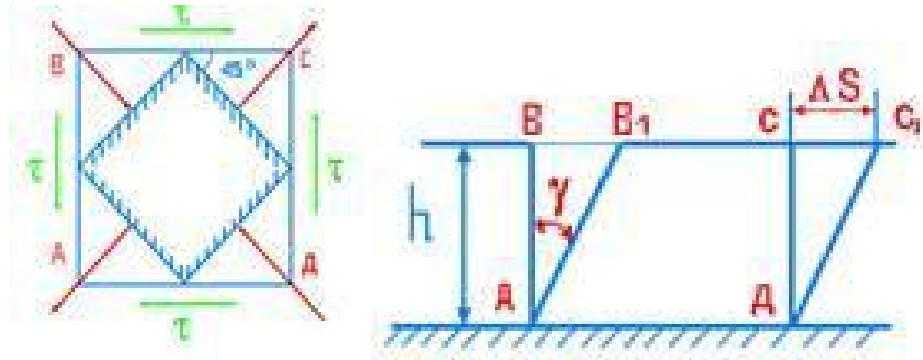


Рис. 1

Під час визначення напруг на похилих площадках у розтягнених або стиснених брусах визначено, що в цих перерізах виникають, крім нормальних, дотичні напруги. Останні намагаються зсунути одну частину бруса відносно другої.

Розглянемо паралелепіпед, який закріплений нижньою гранню і на який діє сила  $Q$  (рис. 1).

Під дією сили грань  $ab$  переміститься в положення  $a'b'$ .

Коли на площадки елемента діють тільки дотичні напруги, в ньому виникають деформації чистого зсуву.

Лінійне переміщення  $aa'$  називається абсолютним зсувом. Відношення абсолютного зсуву  $aa' = \Delta S$  до висоти паралелепіпеда  $h$  називається відносним зсувом, тобто:

$$\frac{\Delta S}{h} = \operatorname{tg} \gamma \quad \text{..} \quad (\operatorname{tg} \Theta = \frac{\Delta x}{l})$$

Внаслідок малої величини кута тангенс можна замінити кутом. Отже, мірою відносного зсуву є кут  $\gamma$ .

## 2. Закон Гука для зсуву. Модуль зсуву. Залежність між трьома пружними постійними для ізотропного тіла

На основі дослідних і теоретичних досліджень встановлено, що для багатьох матеріалів у границях пружності існує лінійна залежність між дотичними напругами і відносним зсувом. Цю залежність називають законом Гука для зсуву, її записують у такому вигляді:

$$\tau = G \cdot \gamma$$

$G$  – модуль пружності за зсуву (модуль зсуву).

Орієнтовні значення модуля зсуву:

- для сталі –  $8 \cdot 10^4$  МПа;
- для чавуну –  $4,5 \cdot 10^4$  МПа.

Отже, дотичні напруги за зсуву прямопорційні куту зсуву:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$$

Ця формула виражає теоретичну залежність між модулем пружності за зсуву та модулем пружності за розтягу через коефіцієнт Пуассона.

### 3. Зріз. Основні припущення та розрахункові формули

Деталі, які служать для з'єднання окремих елементів машин чи будівельних конструкцій (штифти, заклепки, болти, шпонки (рис. 2а,б,в,г), у багатьох випадках сприймають навантаження, перпендикулярні до їх поздовжньої осі.

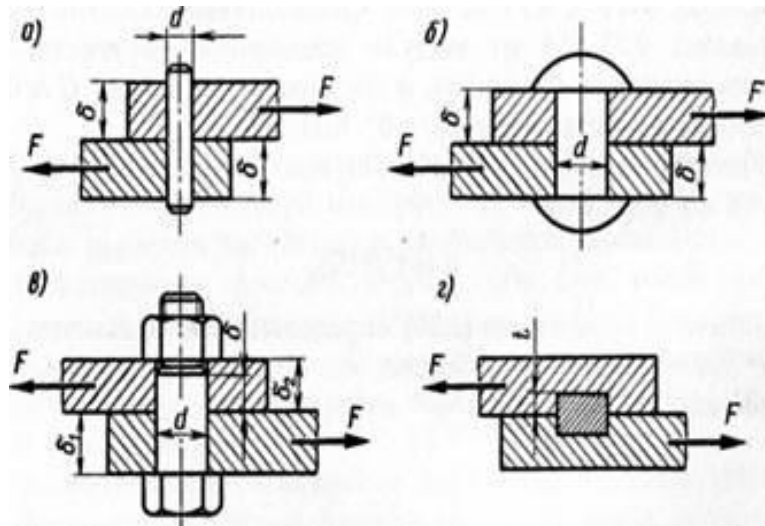


Рис. 2

Практичні розрахунки таких деталей базуються на таких припущеннях:

- 1) в поперечному перерізі виникає тільки один внутрішній силовий фактор – поперечна сила  $Q$ ;
- 2) дотичні напруги, які виникають у поперечному перерізі розподіляються на його площі рівномірно;
- 3) у випадку, якщо з'єднання виконане кількома однаковими деталями, вважаємо, що всі вони навантаженні однаково.

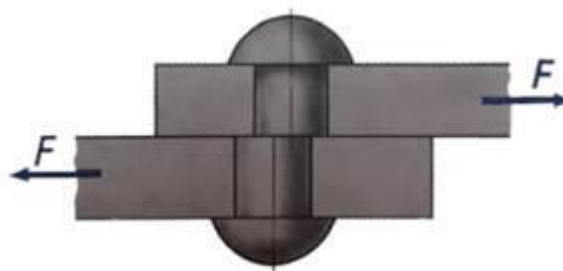


Рис. 3

Руйнування з'єднувальних деталей (у випадку недостатньої міцності) відбувається як результат перерізання вздовж площини, яка співпадає з поверхнею дотикання з'єднуваних деталей (рис. 3). Тому говорять, що ці елементи працюють на зріз.

Умова міцності на зріз:

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{A_{зр}} \leq [\tau_{зр}]$$

де:  $\tau_{зр}$  – розрахункова напруга зрізу;  
 $Q$  – поперечна сила;  
 $A_{зр}$  – площа зрізу однієї деталі;  
 $[\tau_{зр}]$  – допустима напруга зрізу.

У машинобудуванні під час розрахунків штифтів, болтів, шпонок тощо приймають

$$[\tau_{зр}] = (0,25 \div 0,35) \cdot \sigma_{т} = (0,6 \div 0,8) \cdot [\sigma_{р}]$$

де  $\sigma_{т}$ ,  $[\sigma_{р}]$  – границя текучості та допустима напруга розтягу відповідно для матеріалу деталі.

Розрахунок на зріз забезпечує міцність з'єднання елементів але не гарантує надійність конструкції взагалі.

#### 4. Зминання, умовності розрахунку, розрахункові формули

**Зминанням** називається місцева деформація стиснення по майданчиках передачі тиску.

Коли деталі конструкцій, які передають значне стискальне навантаження, мають невелику площу контакту, то поверхні цих деталей можуть зминатися. Щоб не сталося зминання, під гайки і головки болтів, наприклад, підкладають шайби. Для спрощення розрахунків вважають, що за площинного контакту виникають нормальні напруги зминання, що рівномірно розподілені на площі контакту. Розрахункове рівняння на зминання має вигляд:

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{i \cdot A_{зм}} \leq [\sigma_{зм}]$$

де:  $F$  – стискальна сила;

$[\sigma_{зм}]$  – допустима напруга на зминання;

$A_{зм}$  – площа зминання;

$i$  – кількість деталей у з'єднанні.

Якщо дотичні деталі виготовлені з різних матеріалів, то на зминання перевіряють м'якший матеріал.

Для двох деталей, які контактують циліндричними поверхнями (наприклад, заклепочне з'єднання), закон розподілу напруг зминання на поверхні контакту складний, рис. 4.

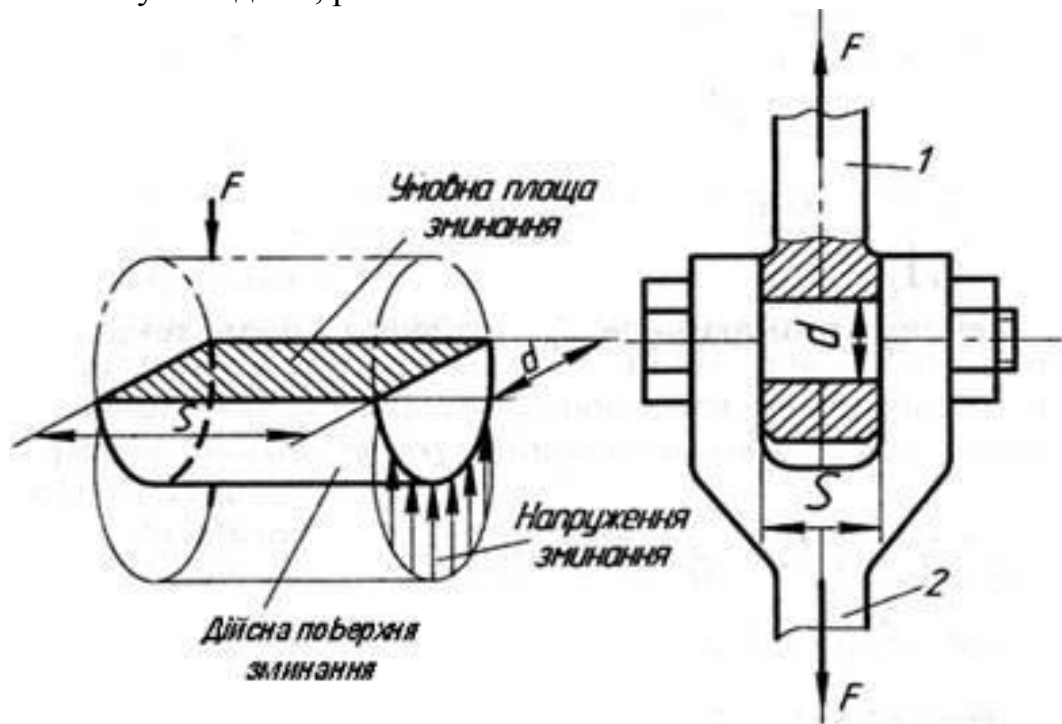


Рис. 4

Тому в розрахункову формулу зминання циліндричних отворів підставляють не площу бокової поверхні півциліндра, за якою контактують деталі, а значно меншу площу діаметрального перерізу отвору (умовна площа зминання); тоді  $A_{зм} = d \cdot s$ ,

де:  $d$  – діаметр отвору;

$s$  – товщина з'єднуваної деталі (висота циліндра).

Якщо з'єднувальні деталі мають різну товщину, то в розрахункову формулу підставляють меншу.

У машинобудуванні допустимі напруги на зминання для болтових, штифтових і шпонкових з'єднань з маловуглецевої сталі беруть у межах  $[\sigma_{зм}] = 100 \dots 120$  МПа, для заклепочних з'єднань  $[\sigma_{зм}] = 240 \dots 320$  МПа, для деревини (сосна, дуб) –  $[\sigma_{зм}] = 2,4 \dots 11$  МПа залежно від сорту деревини і напрямку стискальної сили відносно напрямку волокон.

Умови міцності на зріз і зминання використовують для перевірки міцності з'єднання. Залежно від ставлення завдання вони можуть бути перетворені для визначення допустимого навантаження або необхідної площі перерізу (проектний розрахунок).