

МІЦНІСТЬ ПРИ ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Лекція 5.

проф. Шукаєв С.М.

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

2015 р.

Зміст лекції

- **ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ НА ГРАНИЦЮ ВИТРИВАЛОСТІ**
 - Вплив абсолютних розмірів деталі
- **ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВЕЛИЧИНУ ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ**
 - Якість обробки поверхні, корозія
 - Поверхневе зміцнення
- **ЗАГАЛЬНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ЗНИЖЕННЯ ГРАНИЦІ ВИТРИВАЛОСТІ**
 - Вплив технологічної анізотропії матеріалу на зниження границі витривалості

Врахування асиметрії циклу при складному напруженому стані

Модель втомного руйнування для умов складного напруженого стану і асиметрії циклу діючих напружень можна одержати шляхом узагальнення співвідношень, що були одержані при однокомпонентному навантажуванні (розтягання-стискання, кручення).

Для цього відповідні напруження (нормальні або дотичні) замінюють на еквівалентні.

$$\sigma_{екв} = (\sigma_{екв})_a + \psi (\sigma_{екв})_m = \sigma_{-1}$$

$(\sigma_{екв})_a$ і $(\sigma_{екв})_m$ - еквівалентні амплітудне і стале напруження.

Врахування асиметрії циклу при складному напруженому стані

- Експериментальні дослідження свідчать про те, що середнє напруження при крученні значно менше впливає на втомну міцність ніж середнє напруження при розтяганні-стисканні.
- Зробивши заміну $(\sigma_{екв})_m = \sigma_{1m}$ можна отримати наступне рівняння

$$\sigma_{екв} = (\sigma_{екв})_a + \psi (\sigma_1)_m = \sigma_{-1}$$

Наприклад, для четвертої теорії міцності це буде виглядати так

$$\sigma_{екв}^{IV} = \sigma_{ia} + \psi \sigma_{1m} \leq \sigma_{-1}$$

Врахування асиметрії циклу при складному напруженому стані

- Другим шляхом врахування асиметрії циклу при складному напруженому стані є **підхід Серенсена**.
- Метод полягає у приведенні асиметричних циклів напружень до еквівалентних їм симетричних шляхом лінійного перетворення.

$$\sigma_x = \sigma_{xa} + \psi_\sigma \sigma_{xm}$$

$$\sigma_y = \sigma_{ya} + \psi_\sigma \sigma_{ym}$$

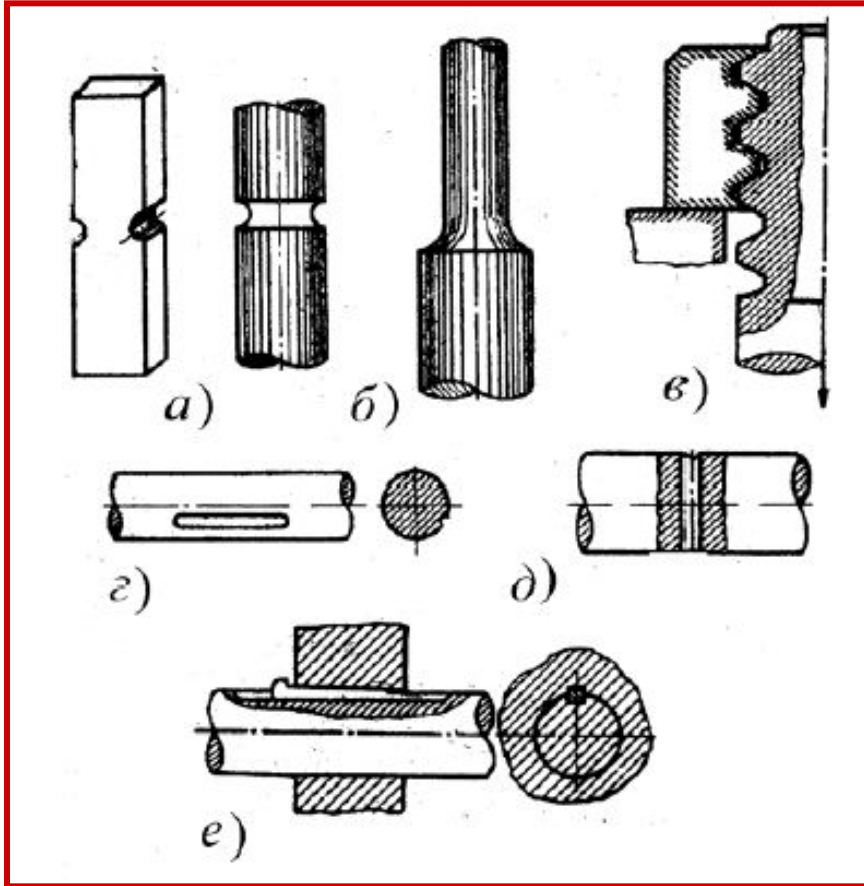
$$\sigma_z = \sigma_{za} + \psi_\sigma \sigma_{zm}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xya} + \psi_\tau \tau_{xym}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{yza} + \psi_\tau \tau_{yzm}$$

$$\tau_{zx} = \tau_{zxa} + \psi_\tau \tau_{zxm}$$

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

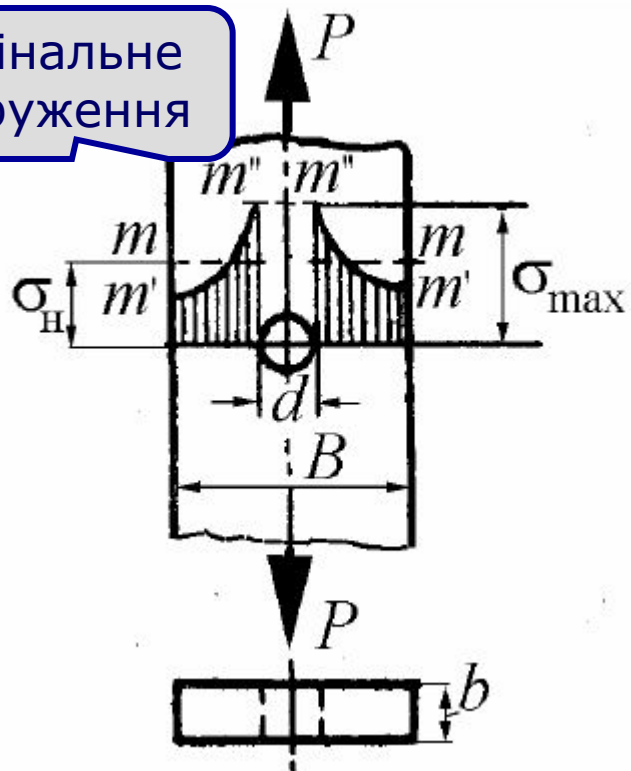


У місцях зміни форми і розмірів деталей виникають значні локальні напруження тобто напруження, які суттєво перевищують номінальні.

Номінальні напруження розраховуються для випадку при якому не передбачається збурення напруженого стану.

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

Номінальне
напруження



Явище локального підвищення напружень відносно номінальних напружень у зонах різкої зміни розмірів деталі називається **концентрацією напружень**.

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

- Для оцінки концентрації напружень використовують ряд характеристик.
- Найбільш поширеними є теоретичний і ефективний коефіцієнти концентрації напружень.
- **Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень** дорівнює відношенню максимального локального напруження в найбільш навантаженій точці в умовах пружної роботи матеріалу до номінального напруження яке визначається методами опору матеріалів без врахування ефекту концентрації.

$$\alpha_{\sigma} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_H}$$

$$\alpha_{\tau} = \frac{\tau_{max}}{\tau_H}$$

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

- ❑ Величину максимального локального напруження розраховують за методами математичної теорії пружності, чисельними методами або визначають експериментально за допомогою поляризаційно-оптичного метода, тензометрування і т. ін.;
- ❑ Теоретичний коефіцієнт концентрації напружень залежить від геометрії деталі, відносних розмірів зон концентрації і способу навантажування. Коефіцієнт не залежить від рівня номінальних напружень, модуля пружності, і трохи змінюється при зміні коефіцієнту Пуассона.

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

- ❑ Виявилось, що вплив локальних напружень на втому матеріалів при одному і тому ж значенні теоретичного коефіцієнту залежать від типу джерел концентрації напружень та самого матеріалу.
- ❑ Тому в умовах циклічного навантажування використовують інший показник для врахування впливу концентрації напружень на границю витривалості - **ефективний коефіцієнт концентрації напружень**.

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

Ефективні коефіцієнти концентрації напружень визначаються, як відношення границі витривалості при симетричному циклі зразків без концентрації напружень до границі витривалості зразків з концентрацією напружень, які мають такі самі розміри перерізу, що і гладкі зразки:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1K}}$$

$$K_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{-1K}}$$

σ_{-1}, τ_{-1} - границі витривалості зразків без концентрації напружень;

σ_{-1K}, τ_{-1K} - границі витривалості зразків з концентрацією напружень.

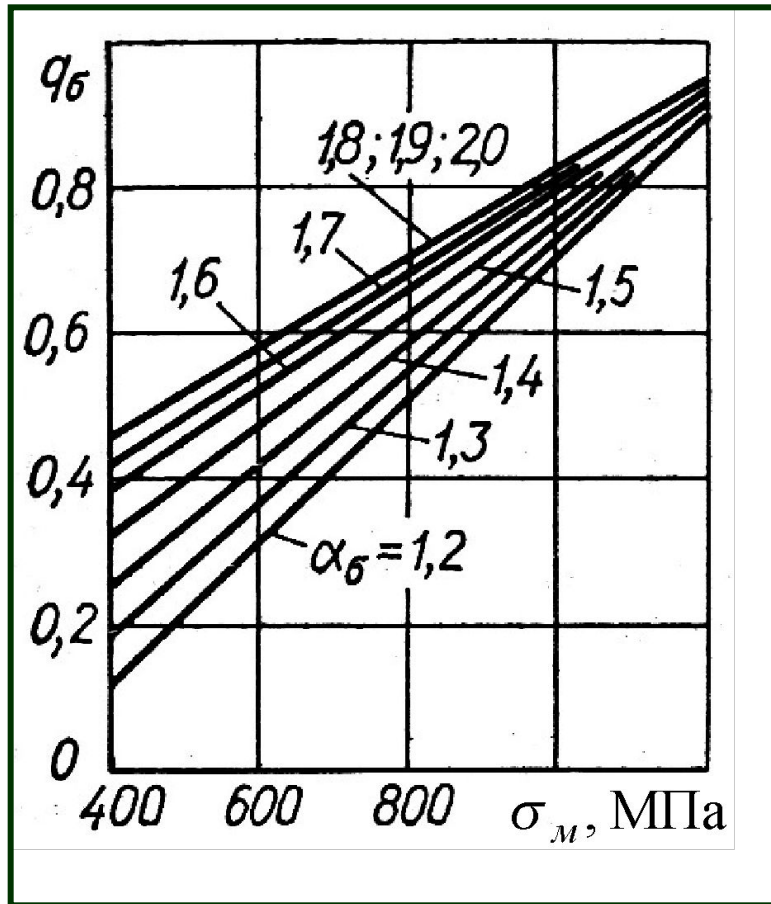
Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

- ❑ Ефективний коефіцієнт концентрації напружень завжди менший за теоретичний коефіцієнт.
- ❑ Це явище називають **не повною чутливістю матеріалу до концентрації напружень**.
- ❑ Ефективні коефіцієнти значно важче визначити ніж теоретичні коефіцієнти концентрації напружень, тому для приблизних розрахунків широко використовують експериментальні залежності, які їх зв'язують:

$$K_{\sigma} = 1 + q_{\sigma} (\alpha_{\sigma} - 1)$$
$$K_{\tau} = 1 + q_{\tau} (\alpha_{\tau} - 1)$$

q_{σ}, q_{τ} - коефіцієнти чутливості до концентрації напружень.

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень



Графіки коефіцієнтів чутливості до концентрації напружень для сталей в залежності від α_b та σ_m .

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

- ❑ Якщо матеріал не чутливий до концентрації напружень, то

$$K_{\sigma} = K_{\tau} = 1, \quad q_{\sigma} = q_{\tau} = 0.$$

- ❑ Якщо матеріал чутливий до концентрації напружень, то

$$q_{\sigma}, q_{\tau} \rightarrow 1; \quad K_{\sigma} \text{ і } K_{\tau} \rightarrow \alpha_{\sigma} \text{ і } \alpha_{\tau}.$$

- ❑ Коефіцієнт чутливості q залежить від матеріалу, геометричної конфігурації деталі, її абсолютних розмірів і теоретичного коефіцієнта концентрації.

Конструктивні фактори, вплив концентрації напружень

- ❑ Для **високоміцних легованих сталей** величина q близька до одиниці.
- ❑ Для **конструкційних сталей** в середньому $q = 0,6...0,8$, причому більш міцним сталям відповідають більші значення q , для маловуглецевих сталей q знижується до 0,5.
- ❑ Для **чавуну** $q = 0$, тобто чавун є малочутливим до концентрації напружень. Це пояснюється тим, що наявність великої кількості мікроскопічних включень графіту у чавуні є джерелом значної внутрішньої концентрації напружень, у порівнянні з чим концентрація, що викликана формою деталі, є незначною.

Конструктивні фактори

Вплив абсолютних розмірів деталі

Суттєвий вплив на опір втомі має так званий масштабний фактор під яким розуміють зниження втомної міцності при збільшенні розмірів деталі. Так при згинанні з обертанням при збільшенні діаметру від $d_0=7,5$ мм до 200-300 мм зниження границі втоми досягає 30-45%.

Вплив масштабного фактору пояснюється наступними причинами. **По-перше**, при збільшенні розмірів збільшується ймовірність появи дефектів і перенапружених зерен матеріалу, що призводить до збільшення ймовірності руйнування. **По-друге**, так званий технологічний фактор: при механічній обробці зразків в поверхневих шарах з'являється наклеп і залишкові напруження, які по різному впливають на границю витривалості великих і малих зразків. **По-третє**, так званий металургійний фактор: погіршення якості матеріалу із збільшенням розмірів деталі через те що при цьому збільшується неоднорідність металу, знижується степінь деформації при ковці.

Конструктивні фактори

Для оцінки впливу масштабного фактору вводять коефіцієнт впливу абсолютних розмірів:

$$K_{d\sigma} = \frac{\sigma_{-1d}}{\sigma_{-1}} \quad \text{або} \quad K_{d\tau} = \frac{\tau_{-1d}}{\tau_{-1}}$$

σ_{-1} - значення границі витривалості гладких лабораторних зразків $d_0 = 7,5 \text{ мм}$

σ_{-1d} - границя витривалості зразків із заданим діаметром d

Конструктивні фактори

ГОСТ 25.504-82 рекомендує приймати $K_{d\sigma} = K_{d\tau} = K_2$

$$K_2 = \begin{cases} 1 - \left(1 - \frac{\sigma_{-1}^P}{\sigma_{-1}} \right) 0,77 \lg \frac{d}{d_0}; & d \leq 150 \text{ мм} \\ \frac{\sigma_{-1}^P}{\sigma_{-1}} & ; \quad d > 150 \text{ мм} \end{cases}$$

σ_{-1}^P - границя витривалості при розтяганні-стисканні;

σ_{-1} - границя витривалості при згинанні.

Конструктивні фактори

За ГОСТ 25.504-82 металургійний фактор враховується коефіцієнтом K_1 .

Для легованих сталей K_1 визначають за формулою:

$$K_1 = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma'_{-1}} \quad K_1 = \begin{cases} 1 - 0,2 \lg \frac{d}{d_0} & ; d \leq 150 \text{ мм} \\ 0,74 & ; d > 150 \text{ мм} \end{cases}$$

Для вуглецевих сталей $K_1 = 1$

σ'_{-1} - границя витривалості гладких лабораторних зразків діаметром 7,5 мм, які виготовлені із заготовок з діаметром 10-20 мм.

σ_{-1} границя витривалості гладких лабораторних зразків діаметром 7,5 мм, які виготовлені із заготовок з діаметром, що дорівнює розміру деталі.

Технологічні фактори

До технологічних відносять фактори, пов'язані з режимом термічної обробки та технологією виготовлення конструктивних елементів.

Характеристики опору втомі металів і сплавів суттєво залежать від усієї сукупності операцій, що призводять до одержання деталей даної форми і розмірів.

Вплив якості обробки поверхні

У більшості деталей втомне руйнування починається з поверхні. Це пов'язано з впливом концентрації напружень, яка виникає внаслідок мікронерівностей поверхні, а також залишкових напружень і наклепу тонкого поверхневого шару, що з'являється в результаті механічної обробки деталі.

З погіршенням якості поверхні, з ростом висоти мікронерівностей збільшується концентрація напружень і знижується границя витривалості.

Дане зниження більш різко виражене у високоміцних сталей, так як вони є більш чутливими до концентрації напружень.

Вплив якості обробки поверхні, продовження

Вплив стану і якості обробки поверхні на витривалість деталі враховується коефіцієнтами впливу шорсткості поверхні:

$$K_{F\sigma} = \frac{\sigma_{-1}(R_z)}{\sigma_{-1}(R_z \leq 1)}$$

$$K_{F\tau} = \frac{\tau_{-1}(R_z)}{\tau_{-1}(R_z \leq 1)}$$

$\sigma_{-1}(R_z)$ -границя витривалості гладких зразків з шорсткістю поверхні R_z .

$\sigma_{-1}(R_z \leq 1)$ -границя витривалості гладких зразків з полірованою поверхнею.

Вплив якості обробки поверхні, продовження

Ці коефіцієнти залежать від границі міцності і шорсткості поверхні:

$$\begin{cases} K_{F\sigma} = 1 - 0,22 \lg R_z \left(\lg \frac{\sigma_m}{20} - 1 \right) \text{ при } R_z > 1 \text{ мкм} \\ K_{F\sigma} = 1 \text{ при } R_z \leq 1 \text{ мкм} \end{cases}$$

$$K_{F\tau} = 0,575 K_{F\sigma} + 0,425$$

Увага! Границя міцності підставляється у МПа.

Вплив корозії на границю витривалості

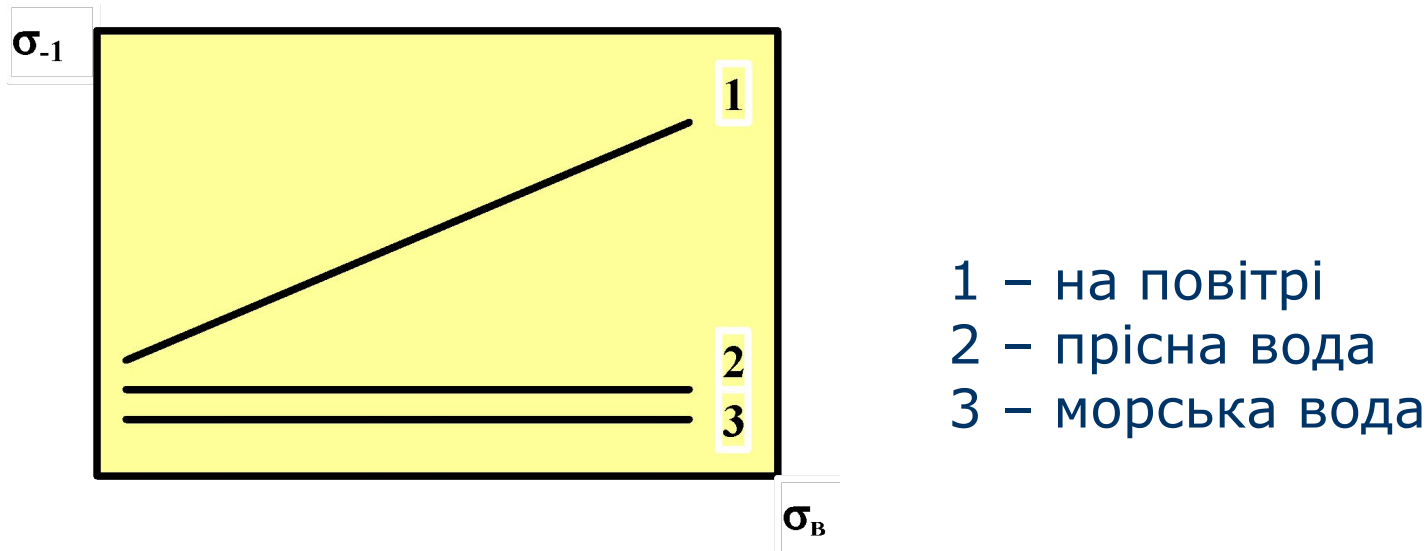
Різке зменшення границі витривалості має місце при дії корозійного середовища, наприклад прісної або морської води.

В умовах корозійного середовища, так як і при підвищенні температури, відсутня фізична границя витривалості. Тобто матеріал може бути зруйнованим при дуже низьких напруженнях але при значній кількості циклів навантажування.

Границя витривалості через вплив корозійного середовища знижується у 3÷6 разів і більше.

Вплив корозії на границю витривалості, продовження

При дії корозійного середовища застосування високоміцних сталей без спеціальних методів захисту не приводить до помітного збільшення границі витривалості.



Вплив корозії на границю витривалості, продовження

Вплив корозії на границю витривалості характеризується відповідним коефіцієнтом:

$$K_{кор} = \frac{\sigma_{-1кор}}{\sigma_{-1}}$$

$\sigma_{-1кор}$, σ_{-1} - границі витривалості лабораторних зразків відповідно у корозійному середовищі і на повітрі.

Значення коефіцієнта $K_{кор}$ в залежності від границі міцності для сталей наведені у ГОСТі 25.504-82.

Увага! ГОСТ рекомендує враховувати вплив корозії через заміну K_F на $K_{кор}$, так як в умовах корозії вплив якості обробки поверхні перекривається коефіцієнтом $K_{кор}$.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

