

МІЦНІСТЬ ПРИ ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Лекція 2.

проф. Шукаєв С.М.

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

2012 р.

Зміст лекції

- **ВСТУП**

- ☐ Цикл напружень і його параметри

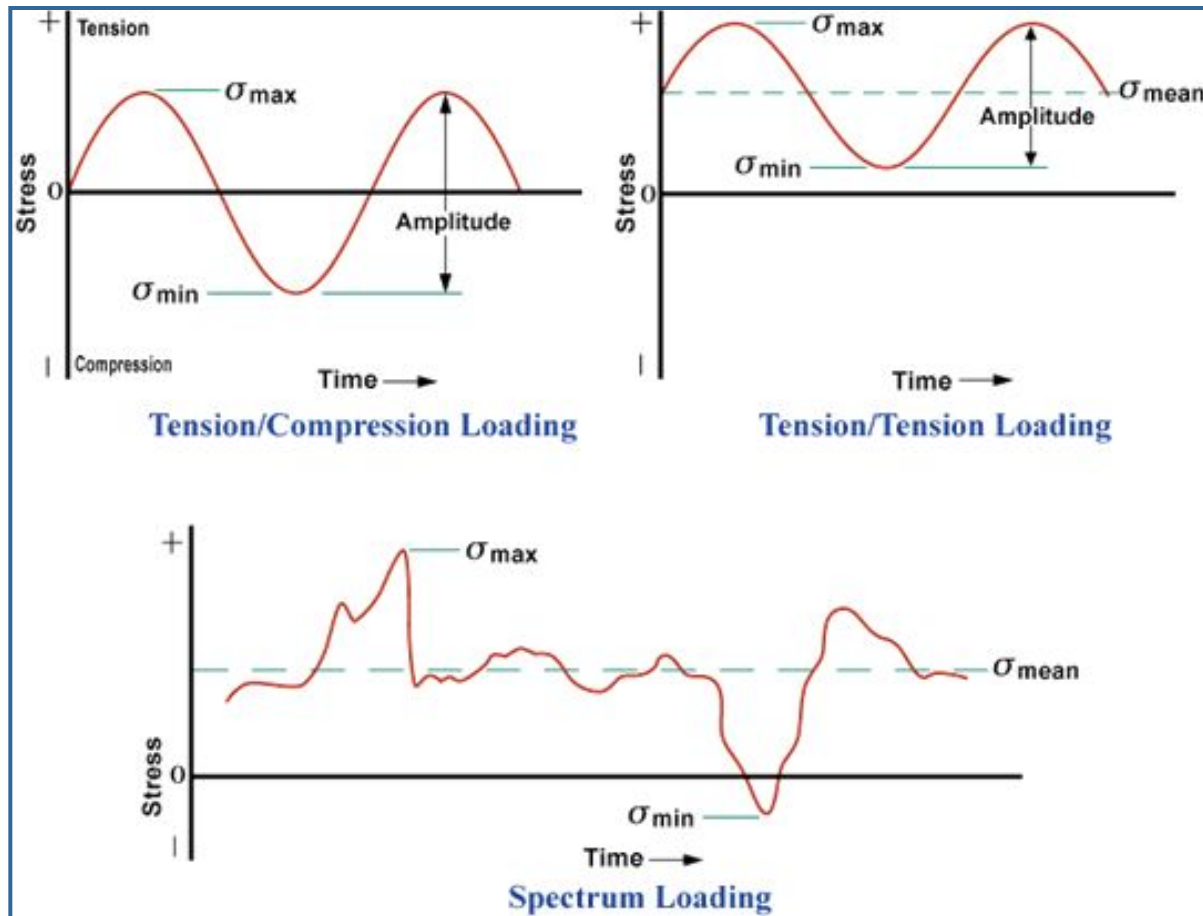
- ☐ **БАГАТОЦИКЛОВА ВТОМА**

- ☐ Характеристики опору втомному руйнуванню

Цикл напружень і його параметри

- ❑ За характером зміни у часі процес навантажування поділяють на регулярний та нерегулярний.
- ❑ **Регулярним** називається навантажування, яке характеризується періодичним законом змінювання навантажень з одним максимумом та одним мінімумом за один період при сталих параметрах циклу напружень протягом всього часу випробувань або експлуатації.
- ❑ Всі інші види навантажувань, які не задовольняють попередньому визначенню, називають **нерегулярними**.

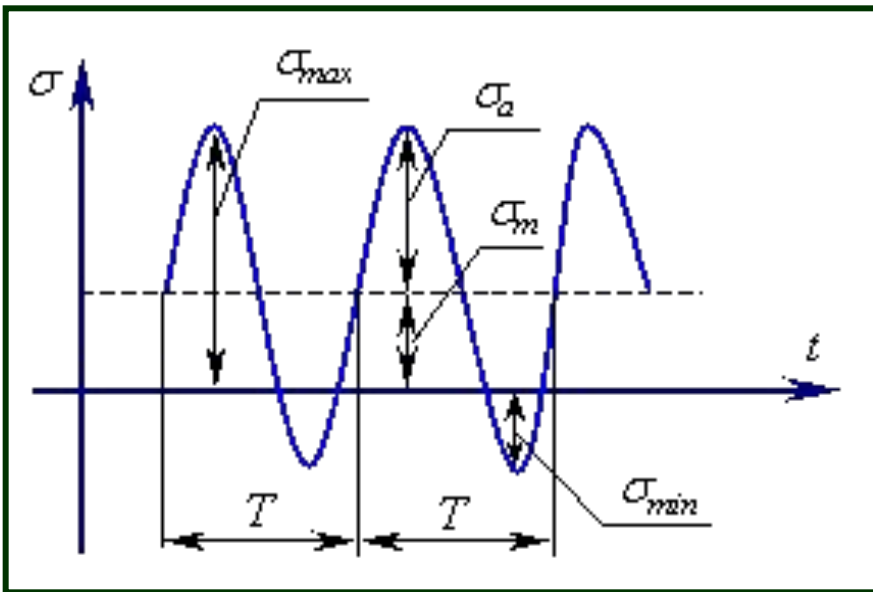
Цикл напружень і його параметри, продовження



Регулярне
навантажування

Нерегулярне
навантажування

Цикл напружень і його параметри, продовження



На практиці найбільше поширення має синусоїдальний цикл.

Відповідно до визначення, при регулярному навантажуванні змінні напруження σ мають циклічний характер. Тобто через деякий час T , що називається **періодом**, величина і знак напруження повторюються.

Сукупність послідовних значень напружень за один період їх зміни називається **циклом зміни напружень**.

Цикл напружень і його параметри, продовження

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ:

Частота циклів f – відношення числа циклів до інтервалу часу їх дії.

Період циклу T – тривалість одного циклу напружень, $T=1/f$.

Максимальне напруження циклу $\sigma_{max} (\tau_{max})$ – найбільше за алгебраїчною величиною напруження циклу.

Мінімальне напруження циклу $\sigma_{min} (\tau_{min})$ – найменше за алгебраїчною величиною напруження циклу.

Середнє напруження циклу $\sigma_m (\tau_m)$ – стала (додатна або від'ємна) складова циклу напружень, яка дорівнює алгебраїчній напівсумі максимального і мінімального напруження.

Цикл напружень і його параметри, продовження

Амплітуда напружень циклу σ_a (τ_a) – найбільше числове додатне значення змінної складової циклу напружень, яка дорівнює алгебраїчній половині різниці максимального і мінімального напруження.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$$

Подвійну величину амплітуди називають **розмахом напружень**:

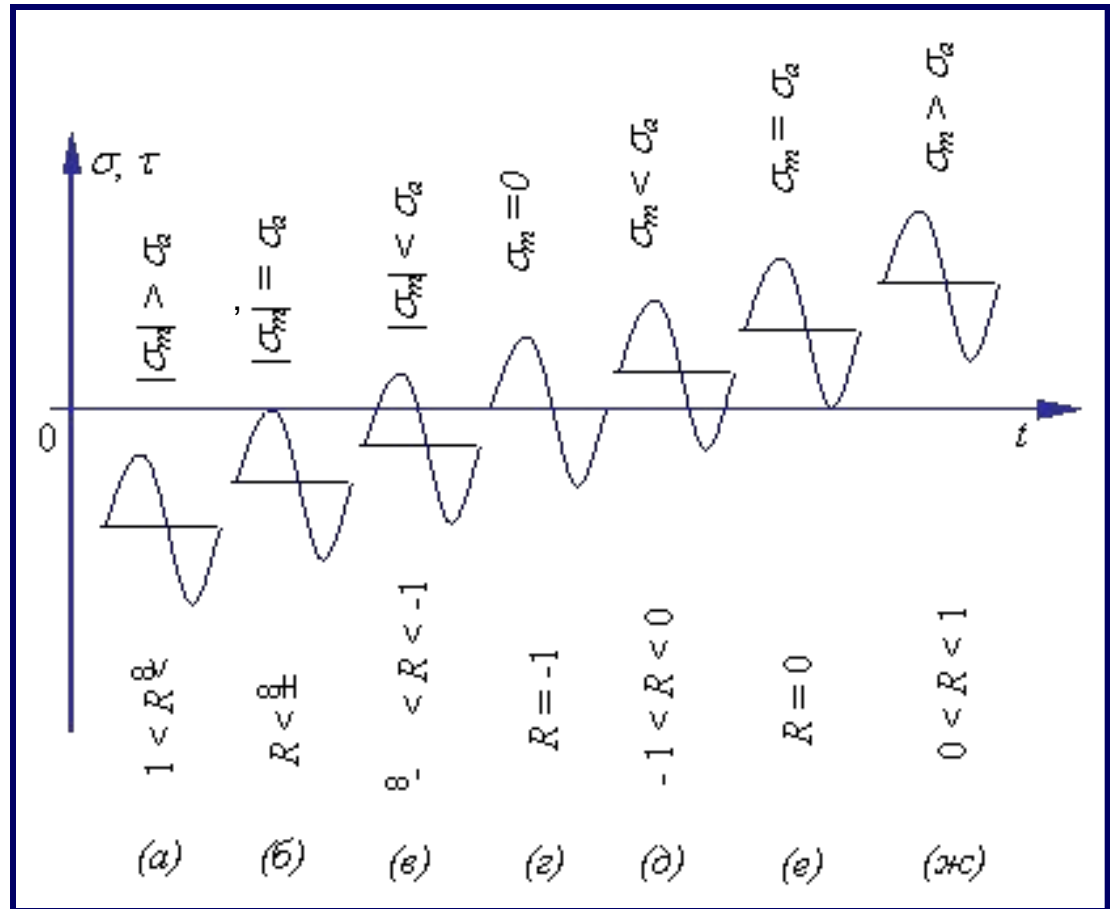
$$\Delta\sigma = 2\sigma_a$$

Цикл напружень і його параметри, продовження

Характеристиками асиметрії циклу є **коефіцієнти асиметрії** :

$$r_{\sigma} = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}},$$

$$r_{\tau} = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}}.$$



Цикл напружень і його параметри, продовження

Коефіцієнт асиметрії є найбільш поширеною характеристикою, але не єдиною. Використовують також **характеристику циклу** (іноді це відношення називають *коефіцієнтом амплітуди циклу*):

$$\rho = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1 - r_\sigma}{1 + r_\sigma}$$

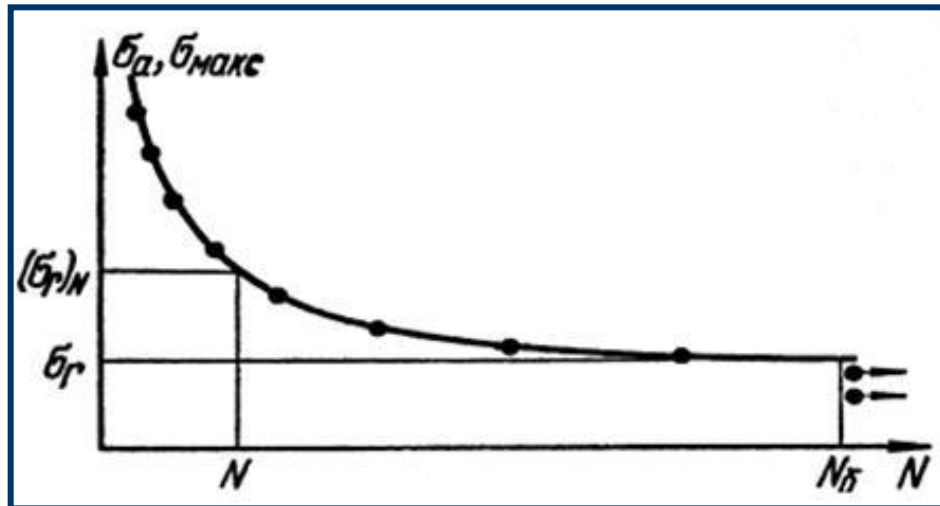
Так як величина амплітуди напружень σ_a завжди додатна, тому знак характеристики циклу визначається знаком середнього напруження σ_m .

$$a = \frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_m}{\sigma_a}$$

Більш зручною характеристикою асиметрії циклу є обернена величина. Для симетричного циклу $a=0$, для циклів де переважним є стиск $a<0$, для циклів де переважним є розтяг $a>0$ ($a=1$ - розтяг, $a=-1$ - стиск).

УВАГА! Всі наведені вище формули є справедливими і для кручення, якщо в них замінити σ на τ . У випадках коли при циклічному навантажуванні контроль здійснюється за деформаціями (жорсткий режим навантажування) ті самі формули використовуються для відповідних деформацій.

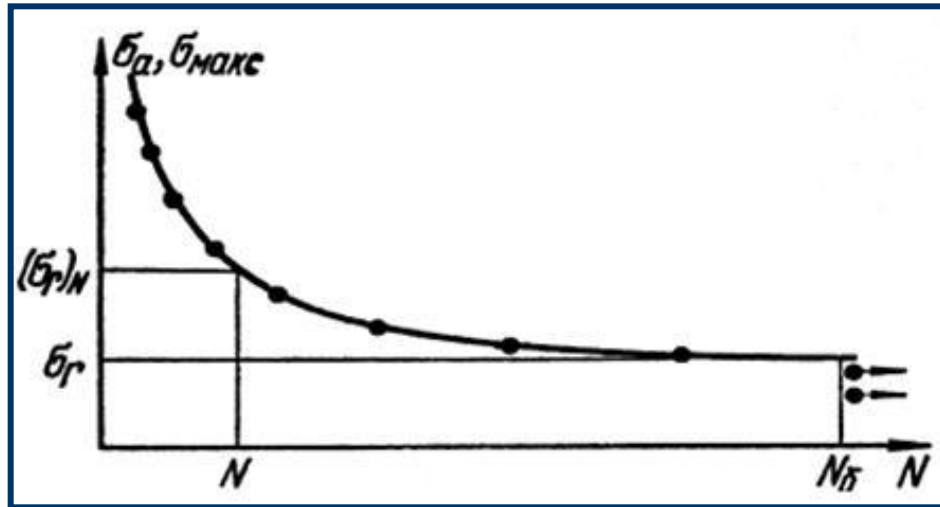
Характеристики опору втомному руйнуванню



База випробувань - це наперед задана найбільша тривалість випробувань

- ❑ Основні характеристики опору втомі визначають з кривої втоми, яка характеризує залежності між максимальними напруженнями або амплітудами циклу та циклічною довговічністю зразків.
- ❑ Під **циклічною довговічністю** розуміють кількість циклів напруження чи деформації, витриманих об'єктом, що навантажується, до граничного стану (утворення втомної тріщини визначеної довжини або повне руйнування).

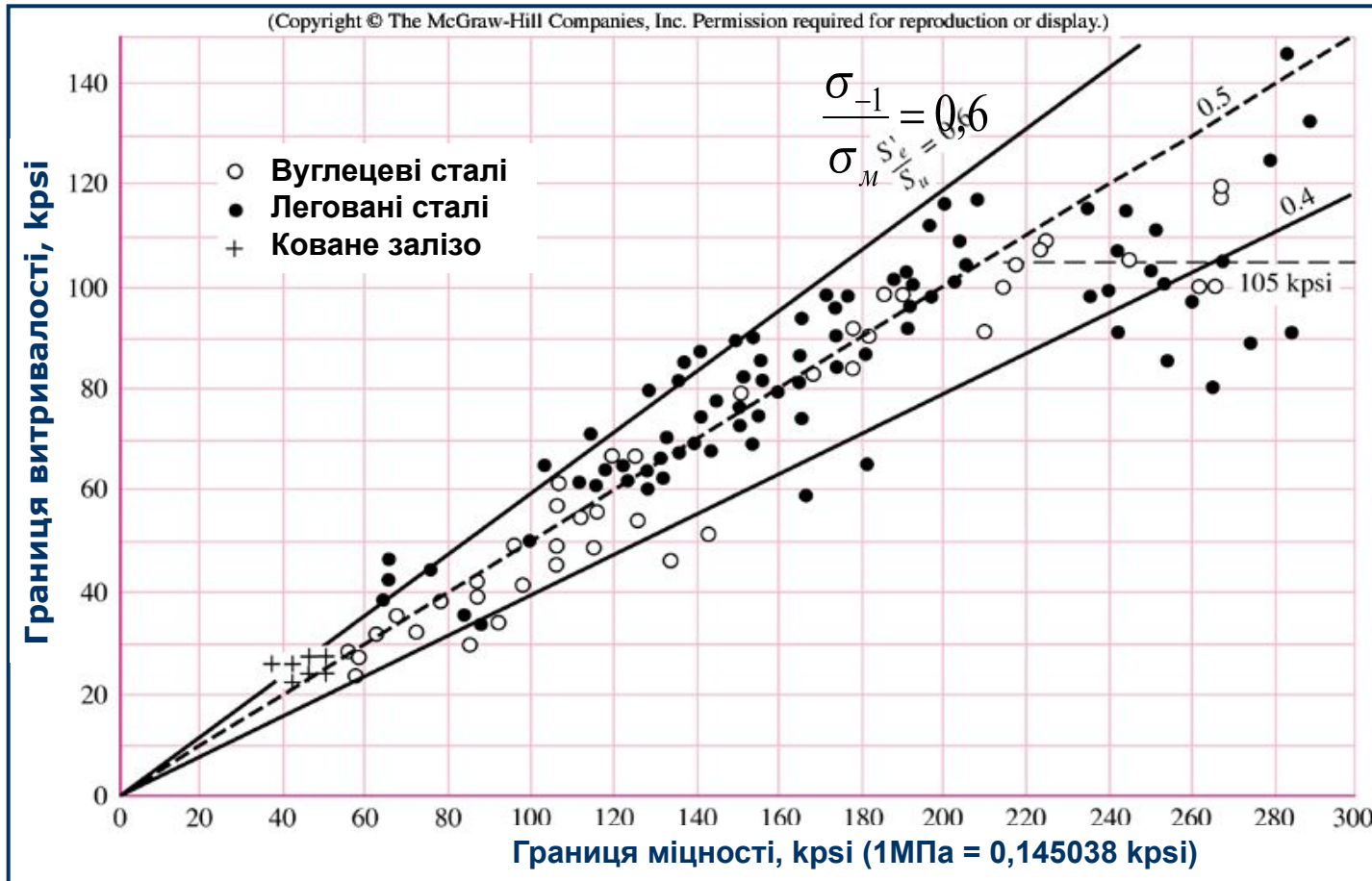
Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження



База випробувань - це наперед задана найбільша тривалість випробувань

- **Границею витривалості (σ_r)** називається максимальне за абсолютною величиною напруження циклу при якому ще не відбувається втомне руйнування до бази випробувань.
- **Границею обмеженої витривалості $(\sigma_r)_N$** називають максимальне, за абсолютною величиною, напруження циклу, яке відповідає заданій довговічності N .

Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження



Для сталей з границею Міцності від 300 до 1200 МПа можна прийняти:

$$\sigma_{-1} \approx 0,5\sigma_m$$

Для кольорових металів відношення σ_{-1} до σ_m змінюється у ширшому діапазоні.

Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження

Якщо експериментальних даних щодо витривалості матеріалу немає, то використовують емпіричні залежності.

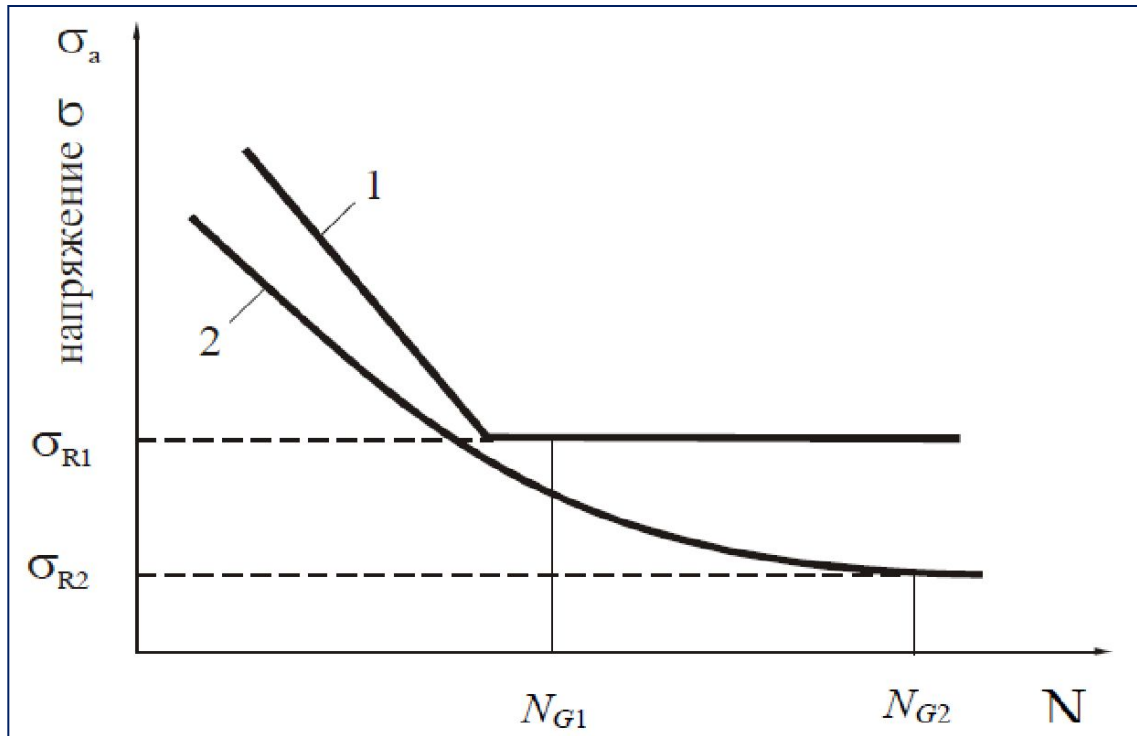
ГОСТ 25.504-82 рекомендує для оцінки границь витривалості сталей використовувати наступні співвідношення.

$$\sigma_{-1} = (0,55 - 0,0001 \cdot \sigma_m) \cdot \sigma_m$$

де σ_m - середнє значення границі міцності зразків, що виготовлені із заготовок з діаметром, який дорівнює абсолютному розміру деталі, яка розраховується, у МПа.

$$\tau_{-1} = 0,6 \cdot \sigma_{-1}$$

Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження

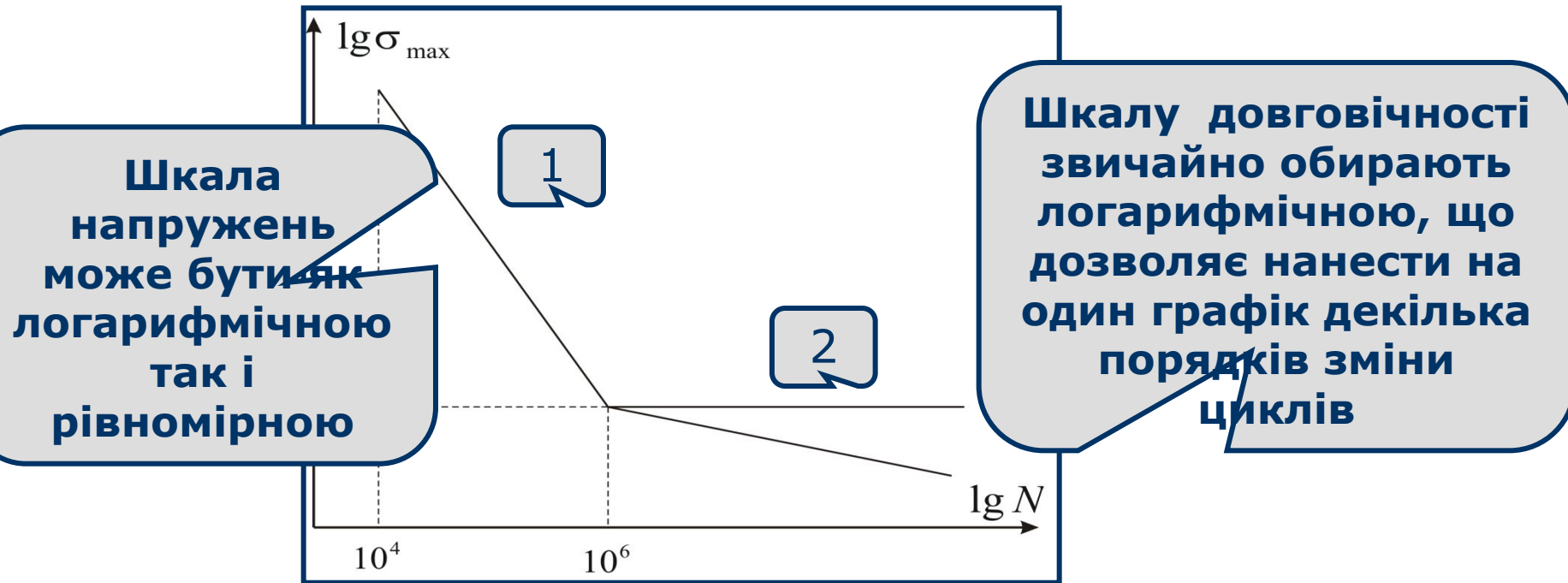


Перший тип кривої втоми є характерним для ОЦК-металів і сплавів, а другий - ГЦК-металів (алюмінієві сплави, мідні сплави і т.ін.)

Рис. Криві втоми:

**1 – крива втоми для зразків з границею витривалості;
2 – крива втоми без границі витривалості.**

Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження



В обох випадках криві втоми апроксимуються двома прямими лініями. **1-а** є нахиленою у діапазоні числа циклів $10^4 - 10^6$ і **2-а** горизонтальна або слабо нахилена при $N > 10^6$ циклів.

Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження

Для апроксимації числа циклів до руйнування в залежності від рівня напружень запропоновано багато рівнянь.

- Перше таке рівняння апроксимації було запропоновано Велером у 1870 році:

$$\sigma_{max} = a - b \cdot \lg N_p$$

- У 1910 році Басквін запропонував:

$$\sigma_a = \sigma'_f (2N)^b$$

де σ_a - амплітуда напружень;
 $2N=N_p$ - кількість змін знаку деформацій;
 σ'_f - коефіцієнт циклічної міцності;
 b - показник циклічної міцності.

Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження

- Рівняння Штрмейєра (1914 р.):

$$\sigma_{max} = a - b \cdot \lg N_p$$

де σ_R – границя витривалості за коефіцієнта асиметрії R.

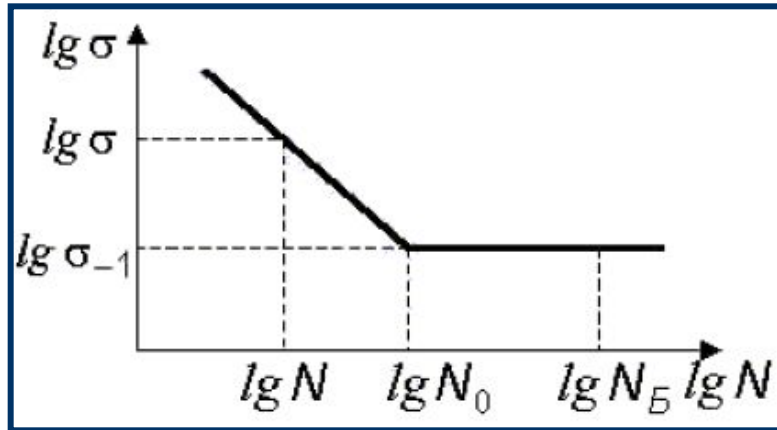
- Рівняння Пальмгрена (1924 р.):

$$\sigma_{max} = a - b \cdot \lg N_p$$

- Рівняння Вейбулла (1949 р.):

$$\sigma_{max} = a - b \cdot \lg N_p$$

Характеристики опору втомі матеріалів



Для вуглецевих сталей при нормальній температурі і відсутності корозії використовують для описання кривої втоми різновид рівняння Басквіна.

N_0 - Абсциса точки зламу кривої втоми.
 $10^6 < N_0 < 3 \cdot 10^6$

$$N \cdot \sigma_a^m = N_0 \cdot \sigma_{-1}^m = \text{const}_{\text{при } N \leq N_0; N = \infty \text{ при } N > N_0}$$

де m - показник нахилу лівої вітки кривої втоми, який змінюється в межах від $3 \div 25$. Показник наближено можна визначити також за формулою:

$$m = \frac{c}{K}$$

де

$$c = 5 + \frac{\sigma_B}{80}$$

σ_m - границя міцності в МПа;

K - сумарний коефіцієнт, який враховує вплив різних факторів на втому матеріалів (для гладких лабораторних зразків $K=1$).

Характеристики опору втомі матеріалів

- ❑ Рівняння Велера і Басквіна описують тільки III-ю ділянку на повній кривій втоми.
- ❑ Рівняння Штрмейєра та модифіковане рівняння Басквіна описують III-ю і IV-у ділянки повної кривої втоми.
- ❑ Рівняння Пальмгрена та Вейбулла охоплюють ділянки як малоциклової, так і багатоциклової втоми.
- ❑ Параметр **B** у рівняннях Пальмгрена і Вейбулла визначає положення кривої втоми тільки у малоцикловій зоні, тому підчас описання кривої багатоциклової втоми, без втрати точності приймають **$B=0$** .

Характеристики опору втомі матеріалів

- Для оцінки характеристик опору втомі здійснюють випробування гладких полірованих лабораторних зразків.
- Найчастіше зразки (діаметром 7,5 мм) випробують на згинання з обертанням. Вимоги до виготовлення таких зразків, їх конструкція та методи випробувань викладені у ГОСТ 25.502-79.
- У зв'язку із значним розсіюванням характеристик витривалості виявилось, що при побудові кривих втоми крім напружень і числа циклів до руйнування необхідно враховувати ймовірність руйнування.
- Тому, в залежності від вимог до точності та повноти характеристик, які необхідно отримати, застосовують або звичайну методику побудови кривої втоми за результатами випробувань 10-15 зразків, або випробують достатньо велику кількість зразків (більше ніж 50-100), і за результатами цих випробувань будують повні імовірнісні діаграми втоми.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

