

# МІЦНІСТЬ ПРИ ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

---

Лекція 2.

проф. Шукаєв С.М.

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

2012 р.

# Зміст лекції

---

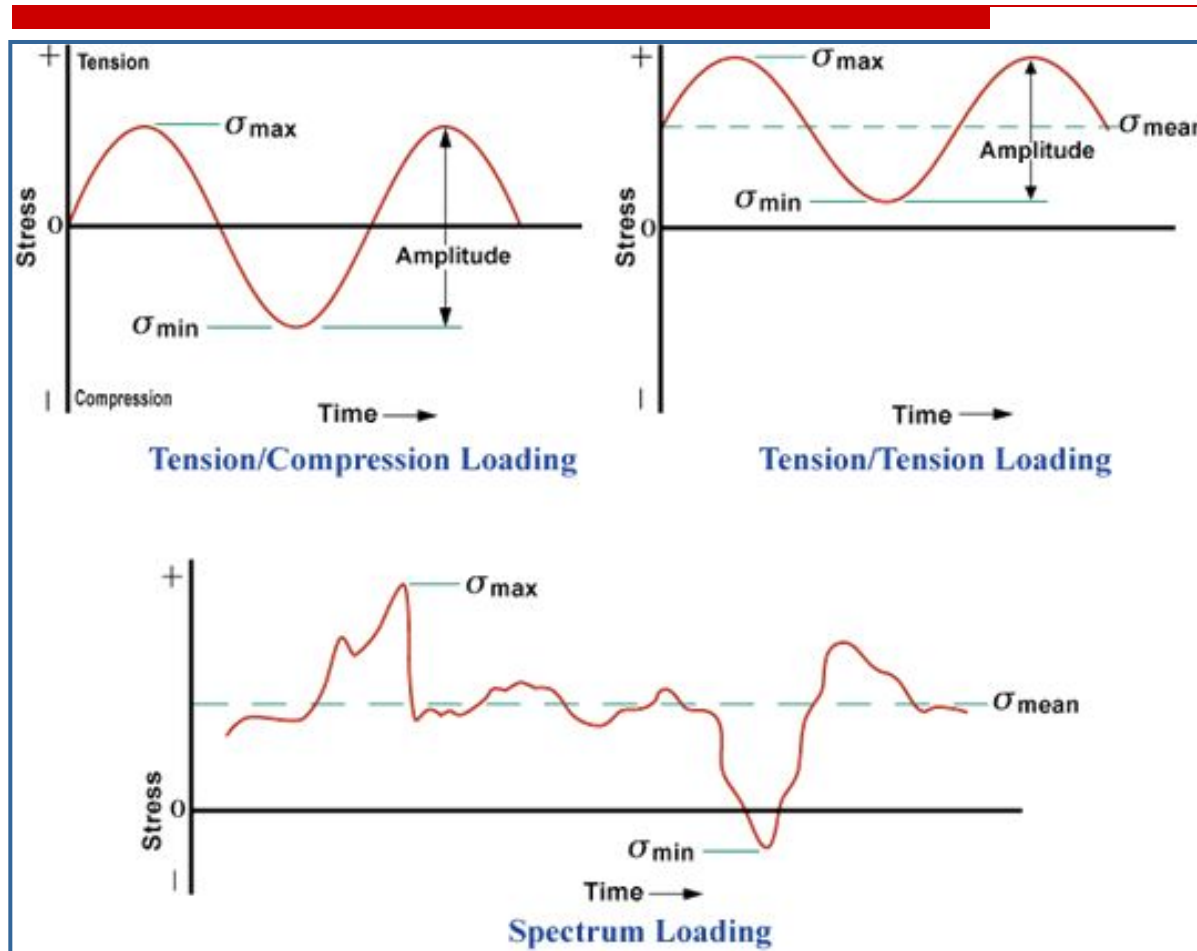
- **ВСТУП**
- Цикл напружень і його параметри
- **БАГАТОЦИКЛОВА ВТОМА**
- Характеристики опору втомному руйнуванню

# 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**.

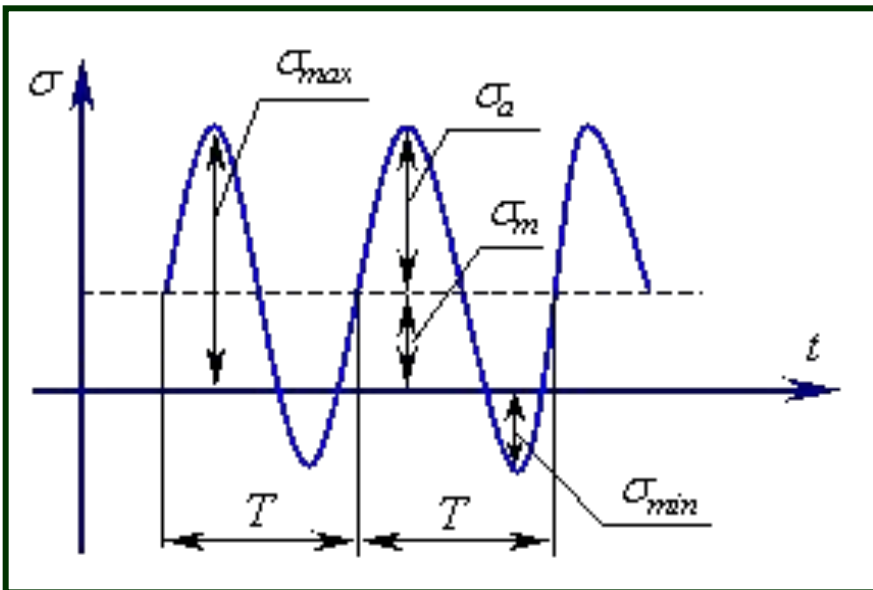
# Цикл напружень і його параметри, продовження



**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  $\sigma$  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  $\sigma_a$  ( $\tau_a$ )** – 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**:

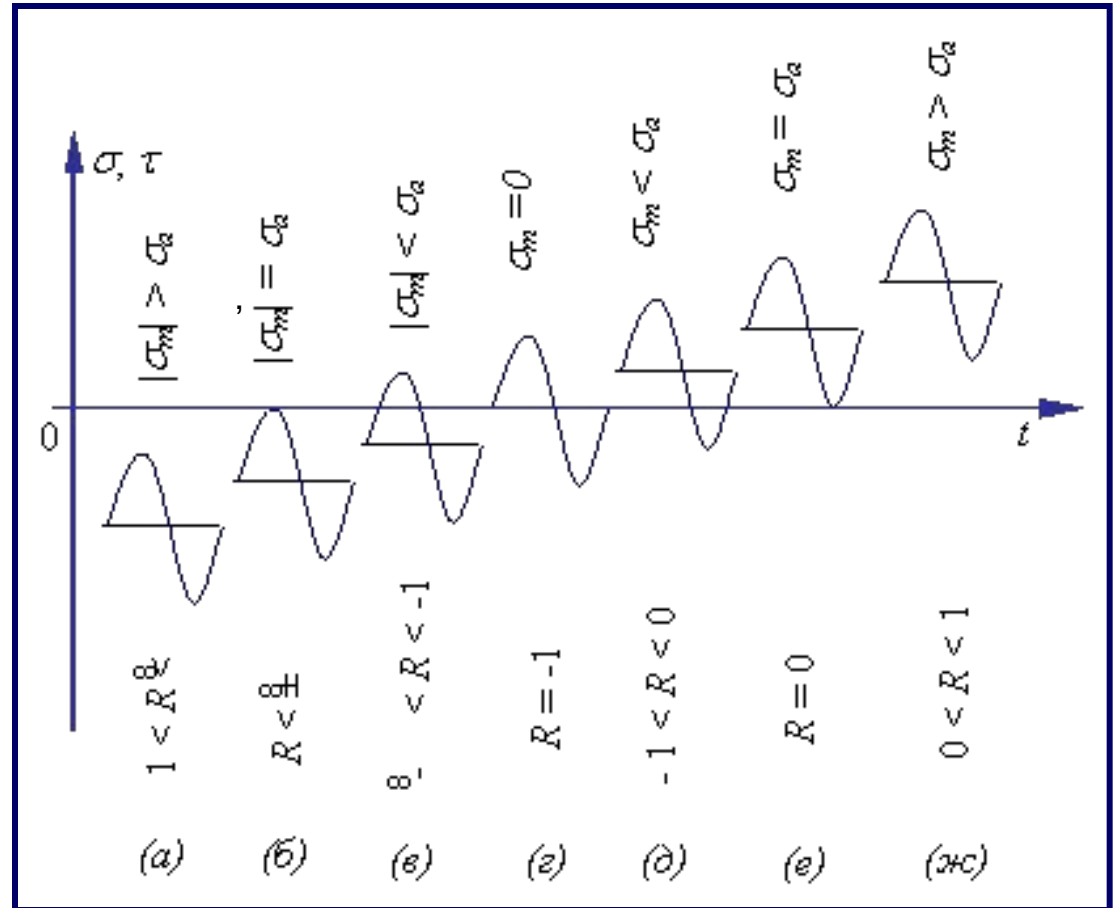
$$\Delta\sigma = 2\sigma_a$$

# 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*):

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

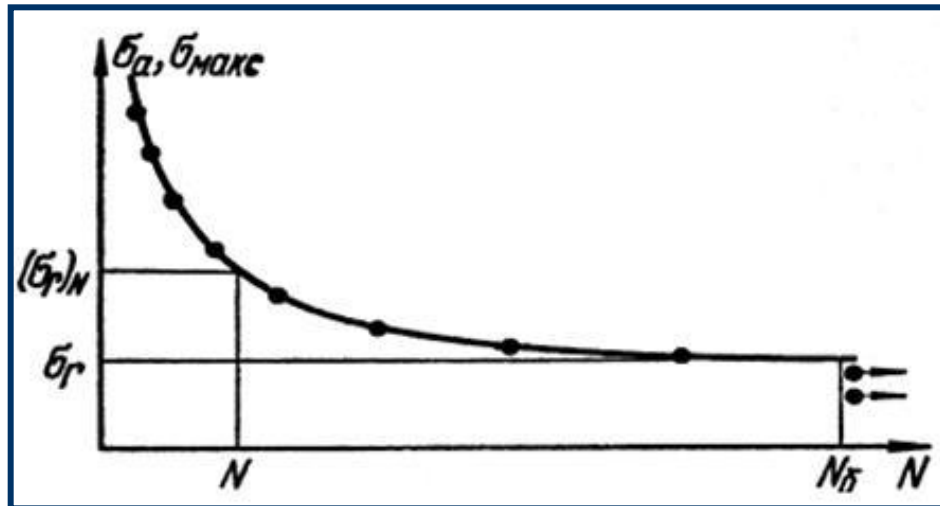
Так як величина амплітуди напружень  $\sigma_a$  завжди додатна, тому знак характеристики циклу визначається знаком середнього напруження  $\sigma_m$ .

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

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  $\sigma$  на  $\tau$ . У випадках коли при циклічному навантажуванні контроль здійснюється за деформаціями (жорсткий режим навантажування) ті самі формули використовуються для відповідних деформацій.

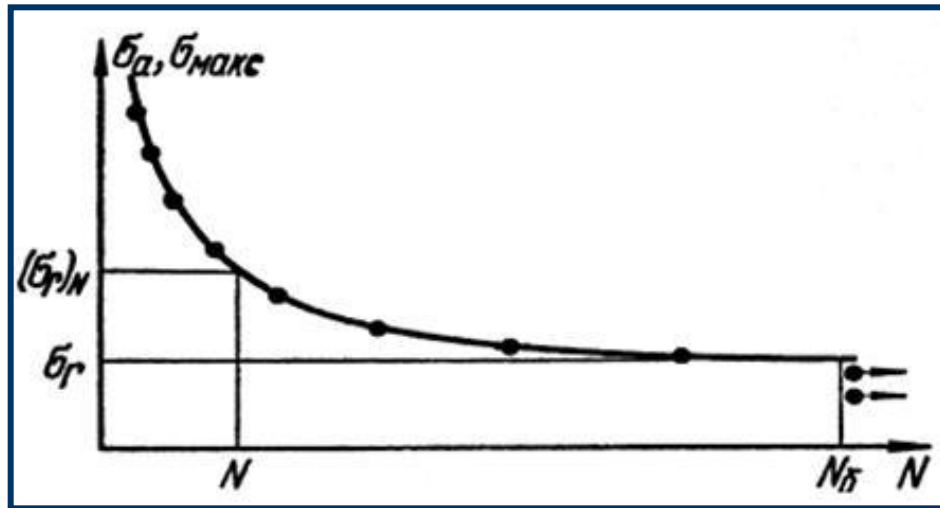
# Характеристики опору втомному руйнуванню



База випробувань - це наперед задана найбільша тривалість випробувань

- Основні характеристики опору втомі визначають з кривої втомі, 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).

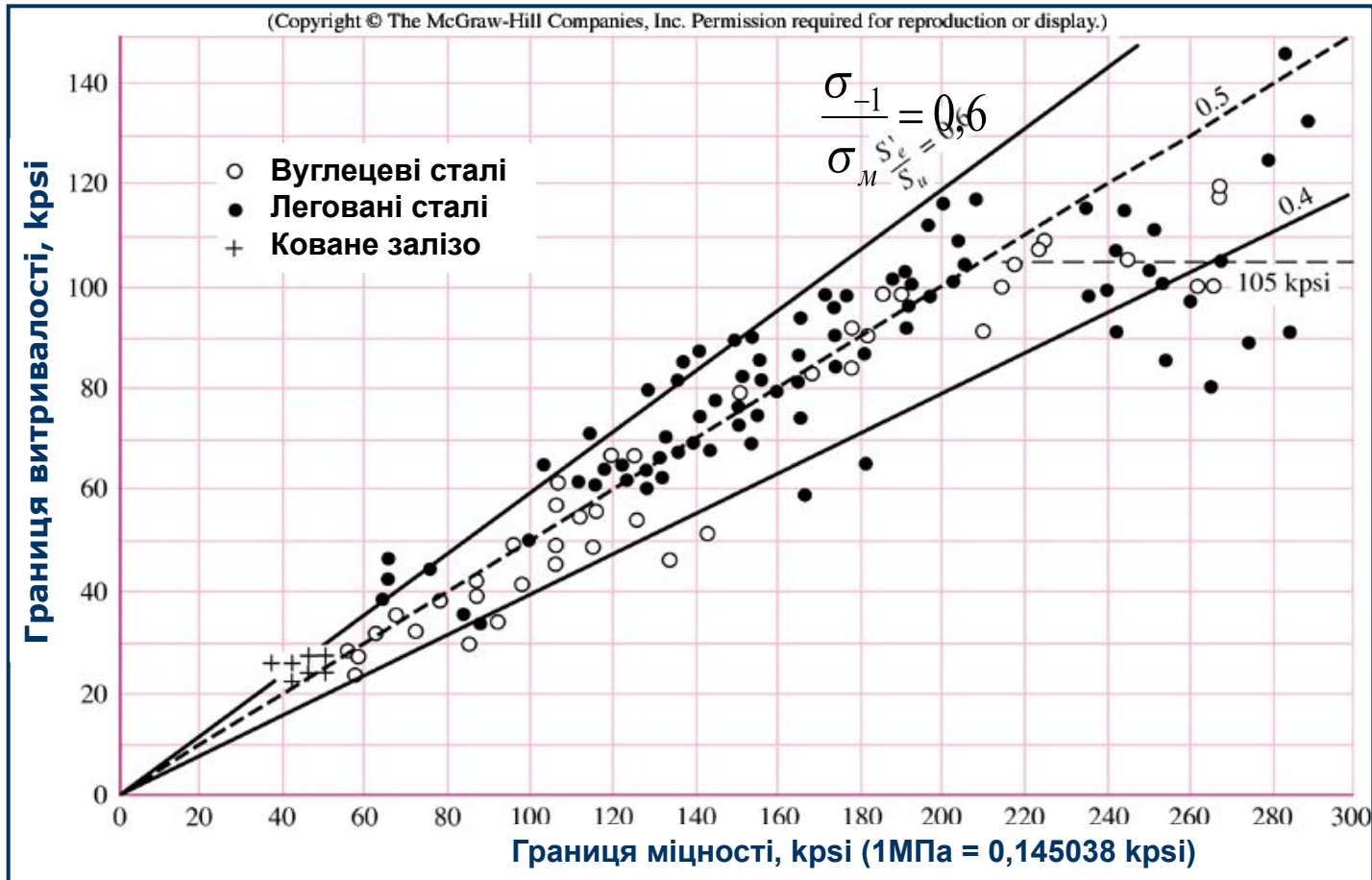
# Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження



База випробувань - це наперед задана найбільша тривалість випробувань

- **Границею витривалості ( $\sigma_r$ )** 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  $\sigma_{-1}$  до  $\sigma_M$  змінюється у ширшому діапазоні.

# Характеристики опору втомному руйнуванню, продовження

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

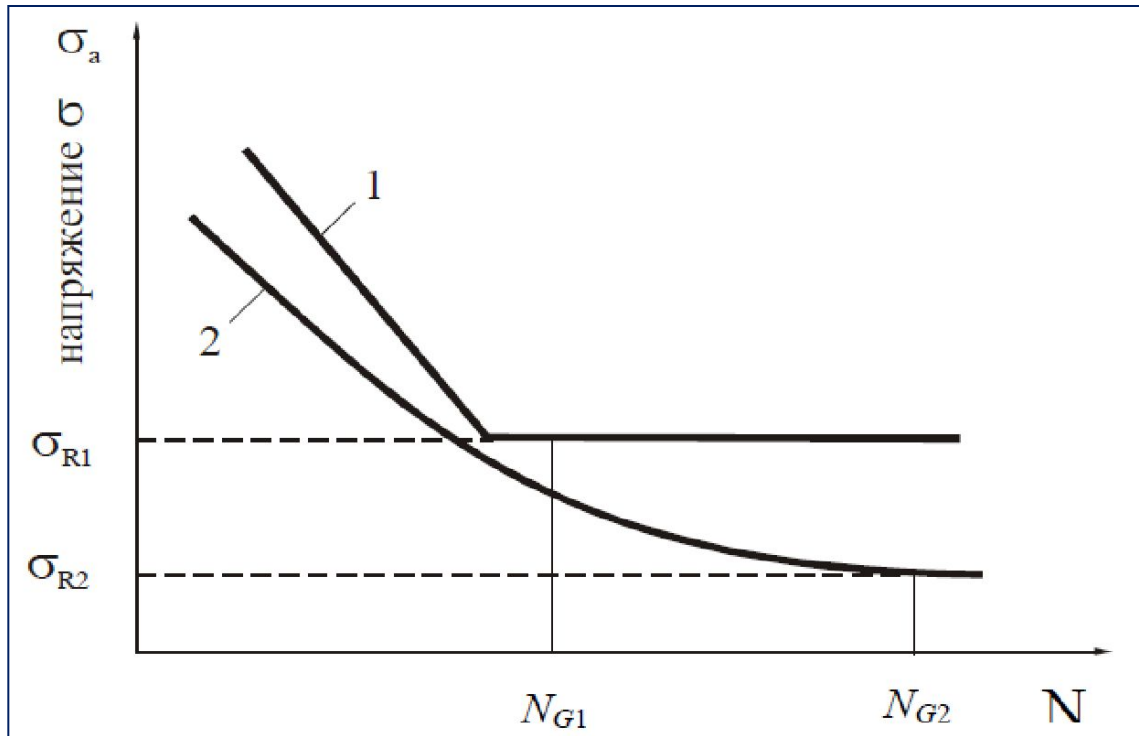
ГОСТ 25.504-82 рекомендує для оцінки границь витривалості сталей використовувати наступні співвідношення.

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

де  $\sigma_m$  - 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

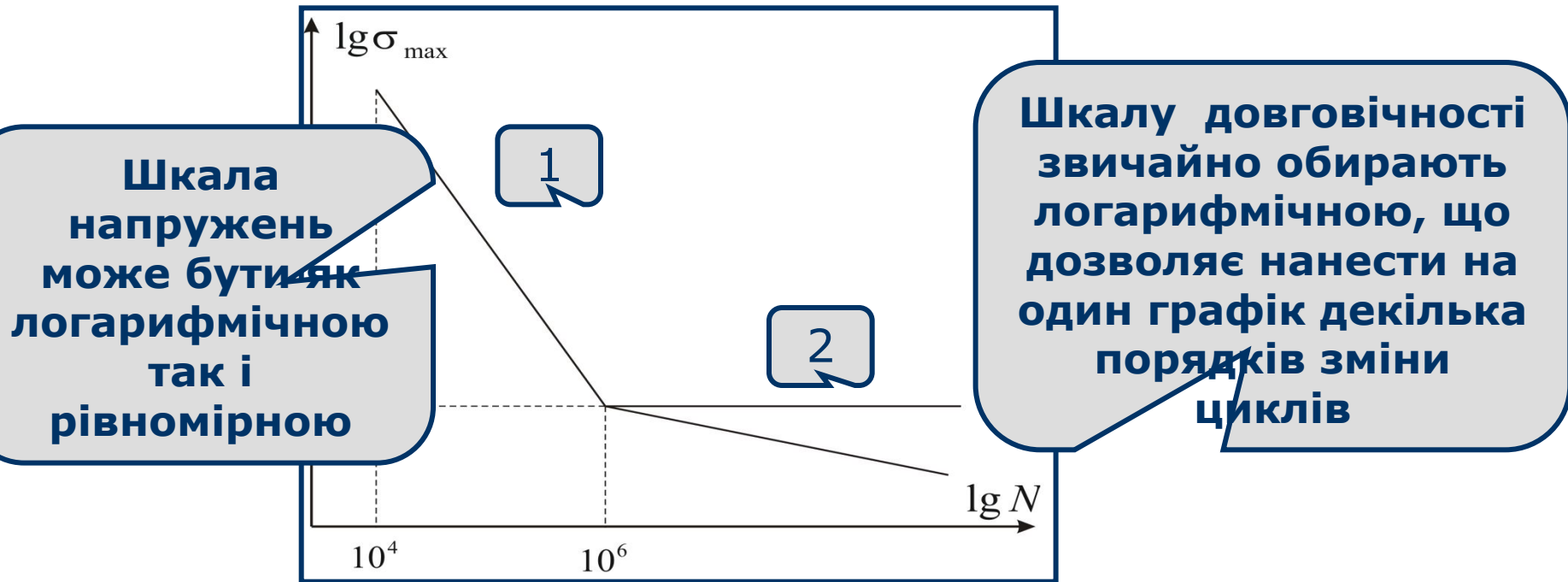


Перший тип кривої втоми є характерним для ОЦК-металів і сплавів, а другий - ГЦК-металів (алюмінієві сплави, мідні сплави і т.ін.)

**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  $\sigma_a$  - амплітуда напружень;  
 $2N = N_p$  - кількість змін знаку деформацій;  
 $\sigma'_f$  - 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  $\sigma_R$  – границя витривалості за коефіцієнта асиметрії R.

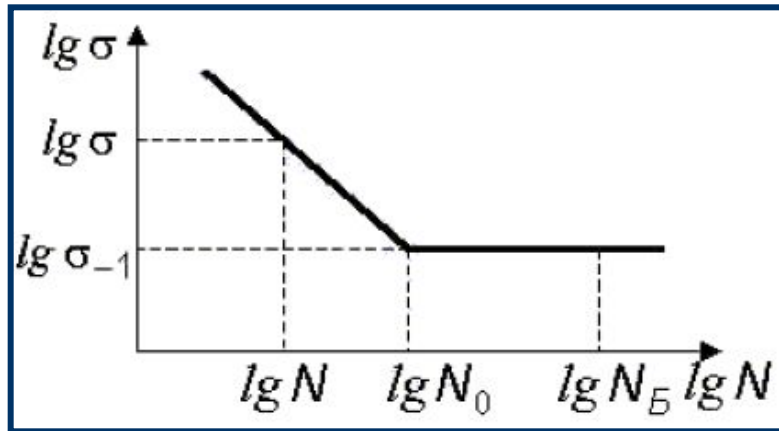
- Рівняння Пальмгрена (1924 р.):

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

- 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

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

$\sigma_M$  - 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  **$V$**  у рівняннях Пальмгрена і Вейбулла визначає положення кривої втоми тільки у малоцикловій зоні, тому під час описання кривої багатоциклової втоми без втрати точності приймають  **$V=0$** .

# 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 ймовірнісні діаграми втоми.

---

# ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

