

# МІЦНІСТЬ ПРИ ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

---

Лекція 3.

проф. Шукаєв С.М.

Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

2012 р.

# Зміст лекції

---

- **БАГАТОЦИКЛОВА ВТОМА**

- Вплив експлуатаційних факторів на величину границі витривалості
- Вплив асиметрії циклу;

Граничні діаграми напружень:

- Діаграма граничних напружень циклу;
  - Діаграма граничної амплітуди циклу;
  - Діаграма Мора-Коммерса-Яспіра.
-

# Вплив конструкційних, експлуатаційних і технологічних факторів на величину границі витривалості

---

- Витривалість деталей машин та елементів конструкцій залежить не лише від властивостей матеріалу, з якого вони виготовлені, а й від виду деформації, асиметрії циклу, особливостей конструкції, розмірів, технології виготовлення, умов експлуатації та ін.
  - Кількісно вплив того чи іншого фактора оцінюється відповідним коефіцієнтом.
-

# Вплив експлуатаційних факторів на границю витривалості

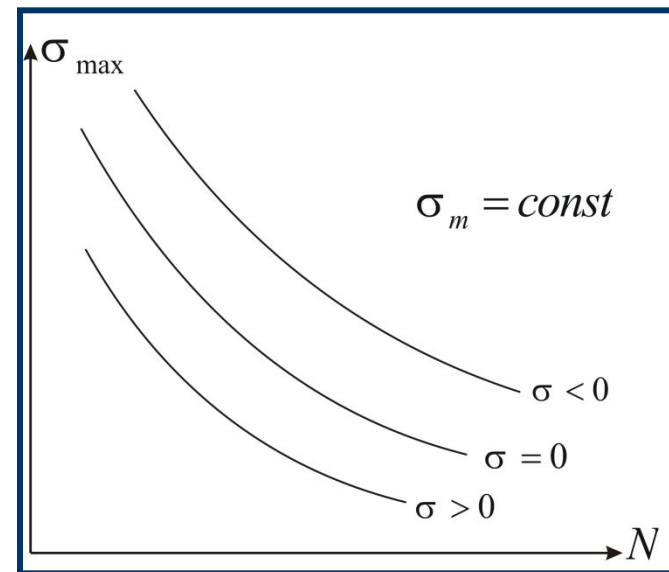
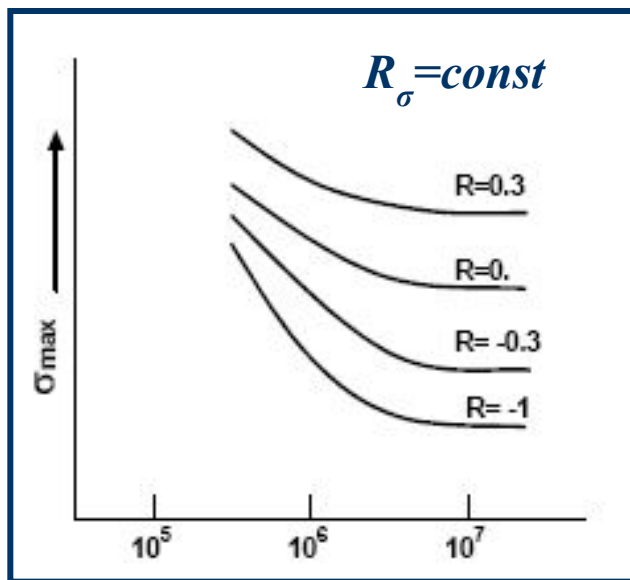
---

- До **експлуатаційних** відносять фактори, які характеризують силовий і температурний режими навантажування та агресивність зовнішнього середовища.
  - Змінні напруження, які діють на деталі машин та елементи конструкцій різняться частотою, формою циклу, асиметрією, послідовністю прикладання різноманітних навантажень. При цьому в елементах конструкцій виникають різні види напруженого стану. Всі ці фактори суттєво впливають на границю витривалості.
-

# Вплив асиметрії циклу

Асиметрія циклу напружень є одним з найбільш суттєвих факторів, що впливають на довговічність матеріалу при циклічному навантаженні.

Існує два принципових типи випробувань при дослідженні впливу асиметрії циклу на довговічність матеріалу:

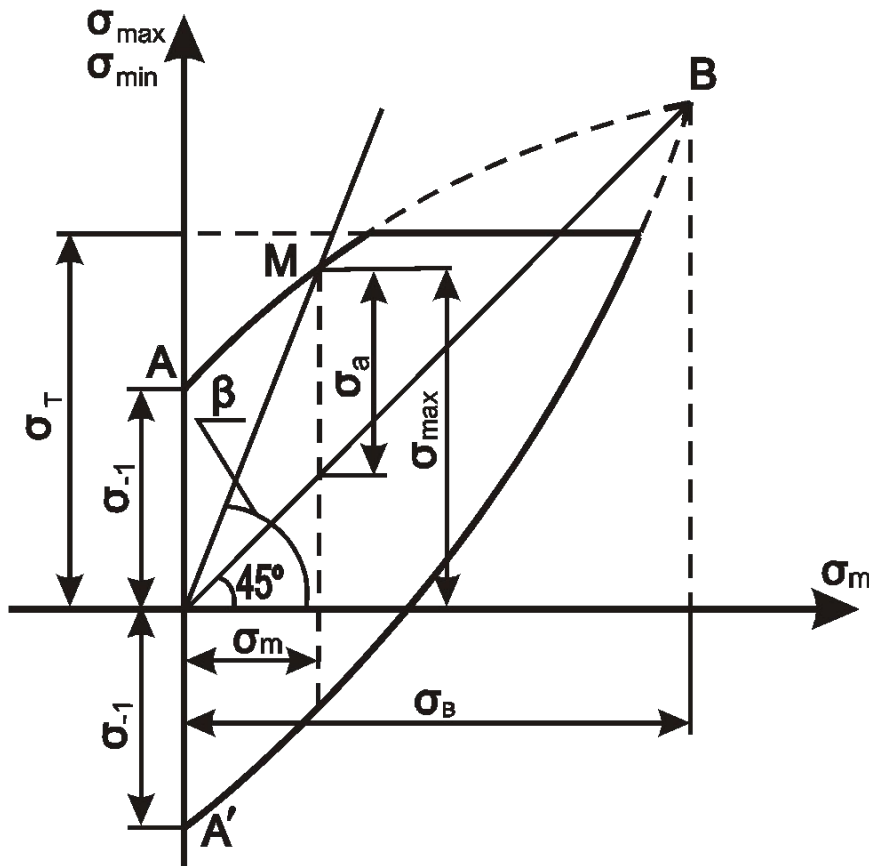


# Вплив асиметрії циклу

---

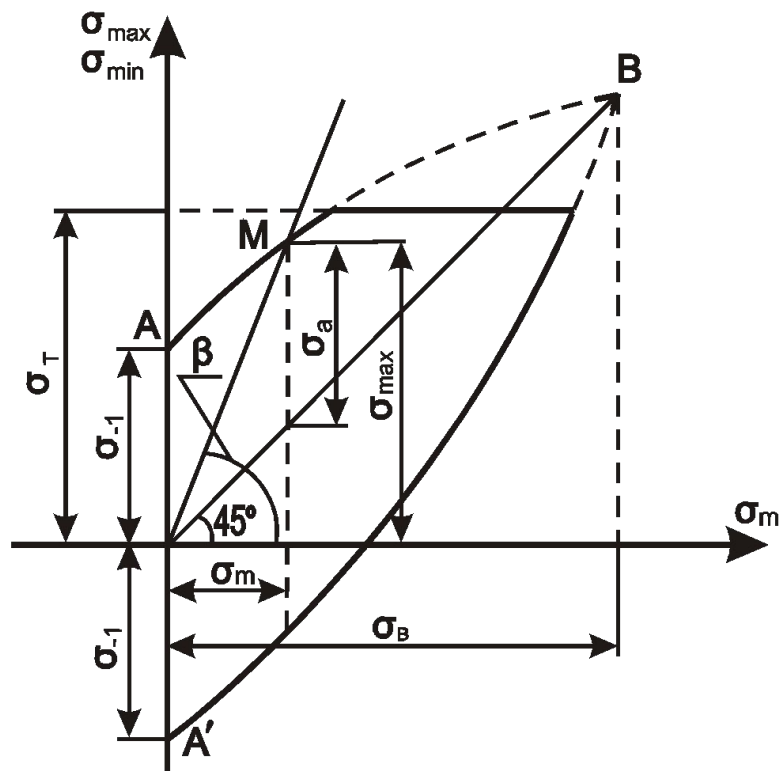
- Для аналітичного описання залежності границі витривалості від асиметрії циклу застосовують **граничні діаграми напружень**.
-

# Діаграма граничних напружень циклу - діаграма Сміта



Графік, що характеризує залежність між значеннями граничного напруження і значеннями середнього напруження циклу для заданої довговічності, зветься діаграмою граничних напружень циклу

# Діаграма граничних напружень циклу - діаграма Сміта



Пряма, що проходить через початок координат діаграми граничних напружень, є геометричним місцем точок з однаковою асиметрією циклу.

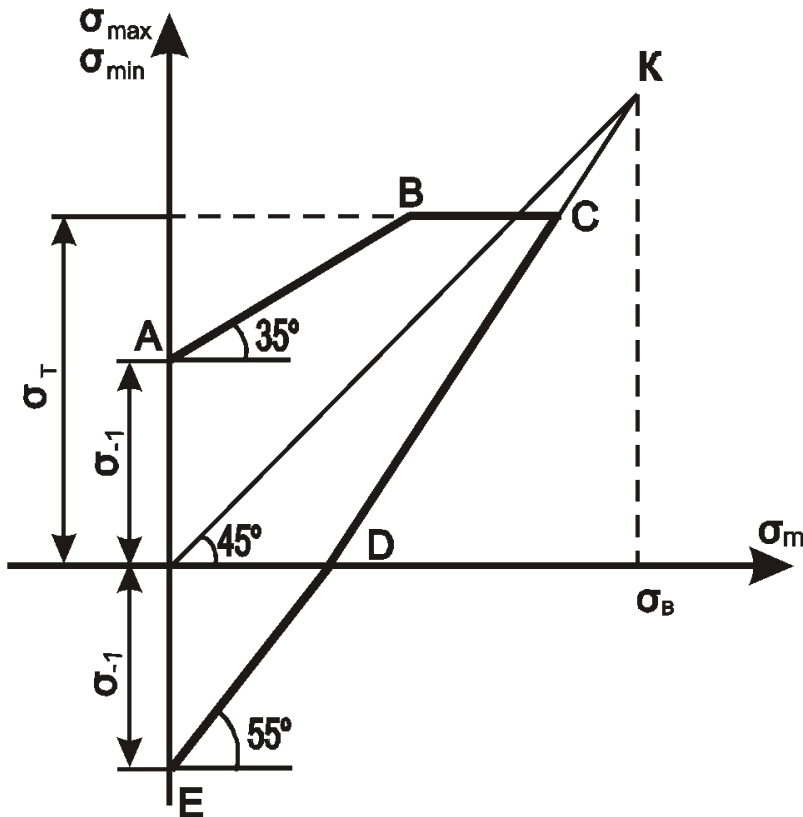
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_m} = \frac{2 \cdot \sigma_{\max}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} = \frac{2}{1 + R}$$

Ордината точки  $M$  - перетину прямої  $OM$  з кривою  $AB$  - дорівнює границі витривалості для циклів з коефіцієнтом асиметрії  $R$ .



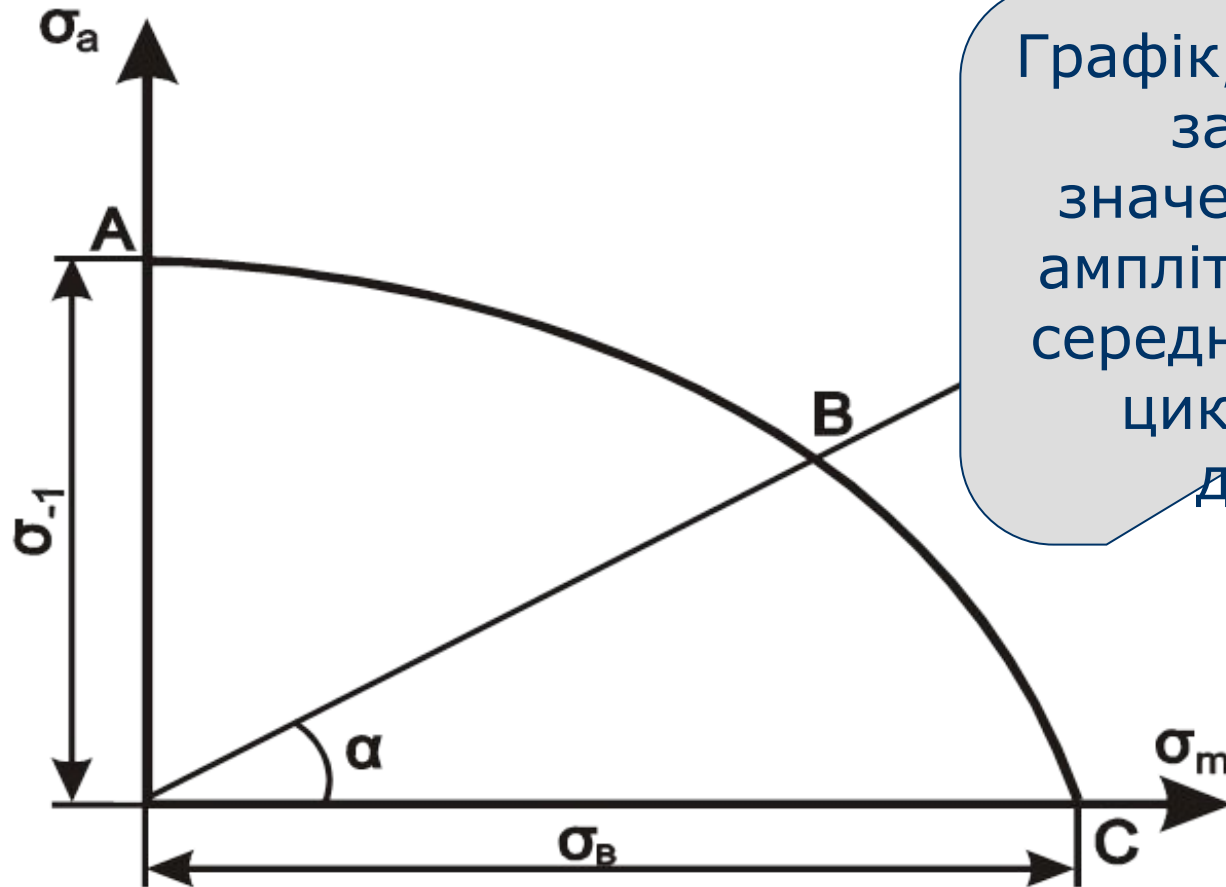
# Діаграма граничних напружень циклу, продовження

## Прискорена побудова діаграми Сміта для пластичних матеріалів



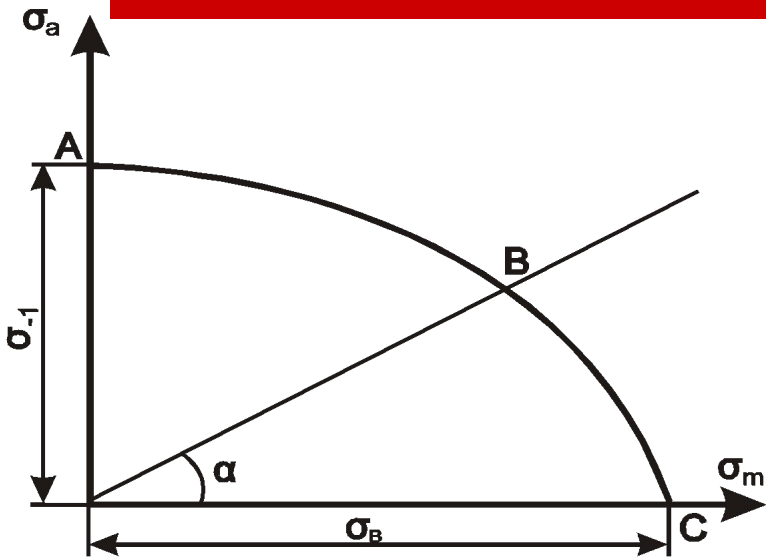
- 1) З випробувань  $\sigma_{-1}, \sigma_B, \sigma_T$  визначаються значення
- 2) Будується пряма ED під кутом  $55^\circ$  до горизонтальної вісі.
- 3) Будується точка K.
- 4) Сполучаємо точки D і  $K \rightarrow$  т.С.
- 5) Проводиться пряма AB під кутом  $35^\circ$  до горизонтальної вісі.
- 6) Сполучаємо точки A, B, C, D, E.

# Діаграма граничної амплітуди циклу - діаграма Хейя



Графік, що характеризує залежність між значеннями граничної амплітуди і значеннями середнього напруження циклу для заданої довговічності

# Діаграма граничної амплітуди циклу - діаграма Хея



При знаходженні границі витривалості для заданого коефіцієнта асиметрії  $R$  на діаграмі граничних амплітуд необхідно через початок координат провести пряму  $OB$  під кутом  $\alpha$ , тангенс якого дорівнює

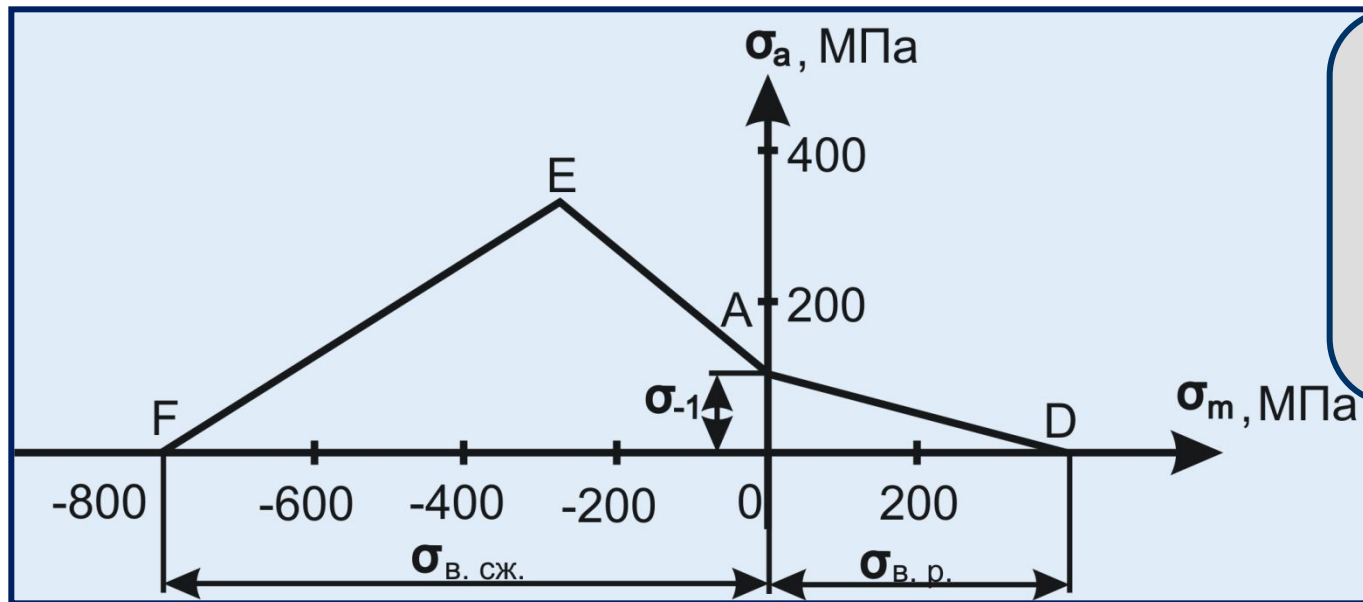
Сума абсциси та ординати точки  $B$  - перетину прямої з кривою  $AC$  - дає шукану величину границі витривалості  $\sigma_R$ .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} = \frac{1 - R}{1 + R}$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_a^B + \sigma_m^B = \sigma_R$$

# Діаграма граничної амплітуди циклу, продовження

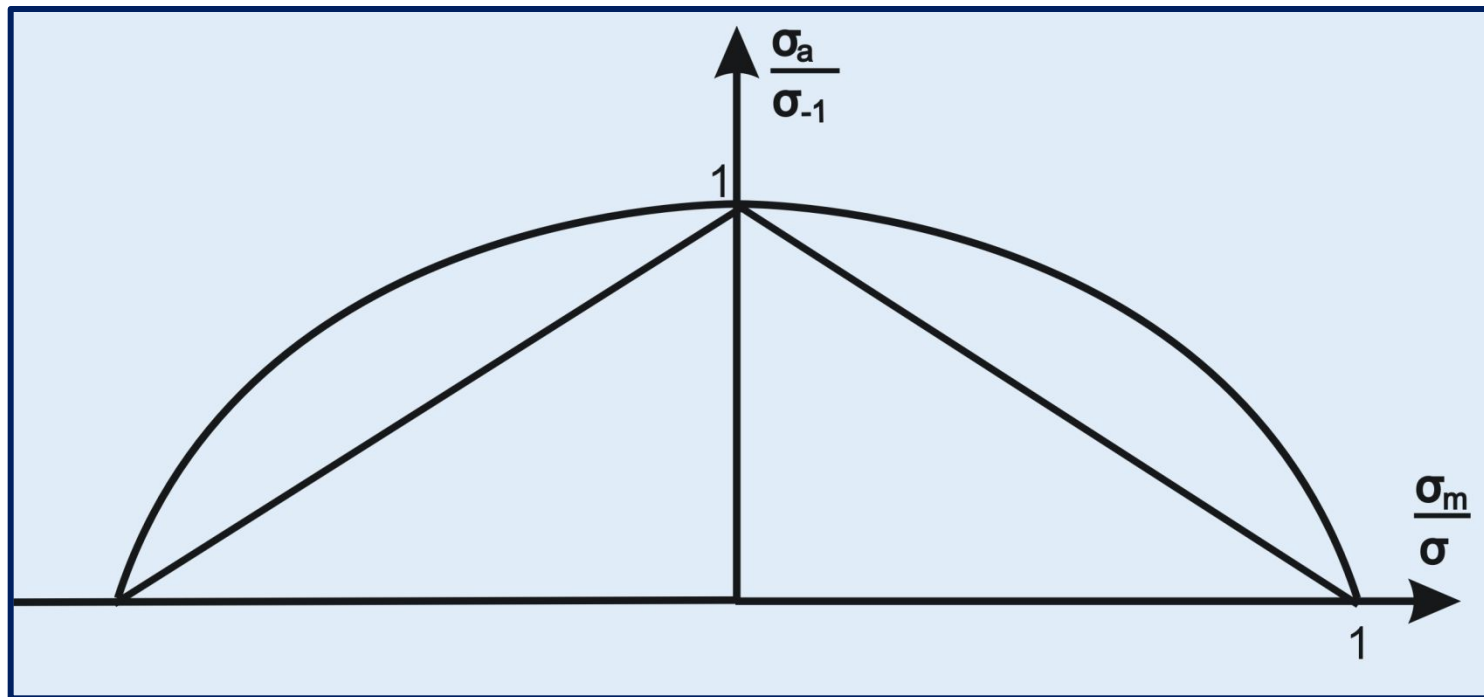
В області стискуючих напружень граничні амплітуди спочатку зростають, що особливо помітно у крихких матеріалів, наприклад, у сірого чавуну, границя міцності якого при стиску значно перевищує границю міцності при розтягу.



Типова  
діаграма  
граничних  
амплітуд  
напружень для  
сірого чавуну

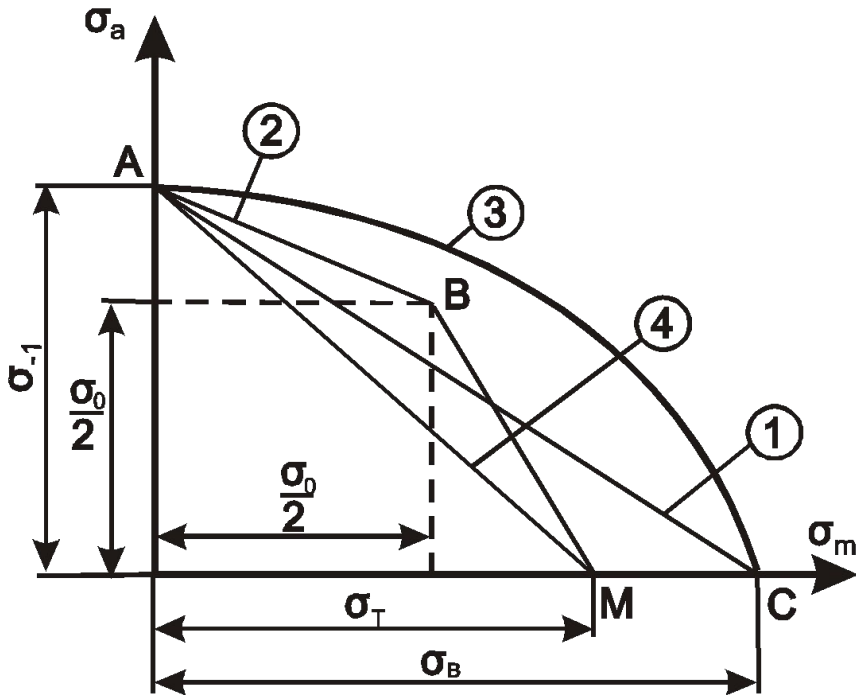
# Діаграма граничної амплітуди циклу, продовження

Діаграму граничних амплітуд часто будують у відносних координатах.



# Діаграма граничної амплітуди циклу, продовження

## Аналітичні апроксимації діаграми Хей



### 1. Гудман

$$\sigma_a = \sigma_{-1} - \psi \cdot \sigma_m \quad \psi = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B}$$

### 2. Серенсен

$$\sigma_a = \sigma_{-1} - \psi \cdot \sigma_m \quad \psi = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}$$

### 3. Гербер

$$\sigma_a = \sigma_{-1} [1 - (\sigma_m / \sigma_B)^2]$$

### 4. Зоденберг

$$\sigma_a = \sigma_{-1} [1 - (\sigma_m / \sigma_T)]$$

# Діаграма граничної амплітуди циклу, продовження

---

## ГОСТ 25.504-82

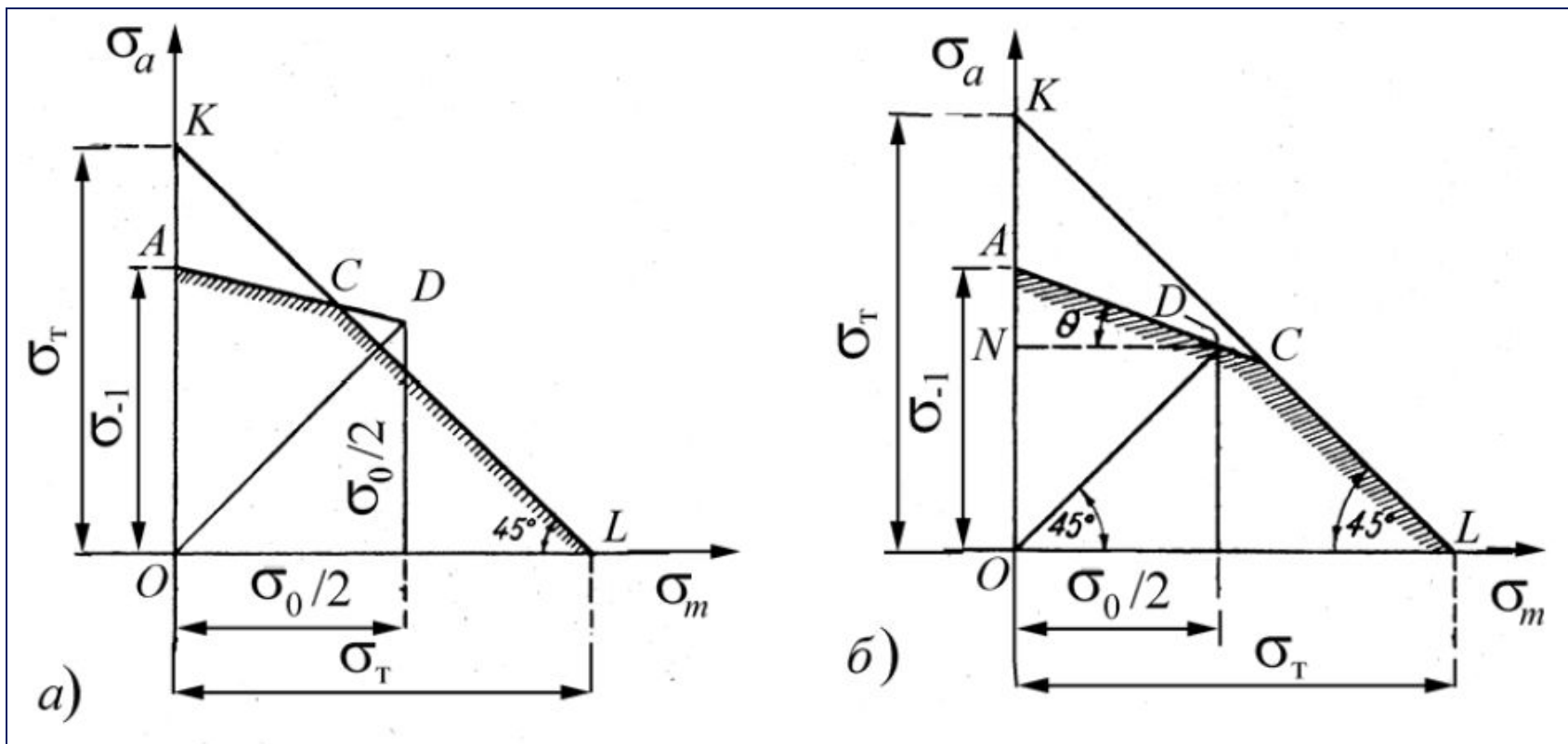
$\psi$  коефіцієнт впливу асиметрії циклу на граничні амплітуди напружень

$$\psi_{\sigma} = 0,02 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_B$$

При крученні:

$$\psi_{\tau} = 0,01 + 10^{-4} \cdot \sigma_B$$

# Діаграма граничної амплітуди циклу, продовження



Схематизовані діаграми Серенсена-Кінасшвілі



# Діаграма граничної амплітуди циклу, продовження

## Біргер, Степнов:

$$\sigma_a = \sigma_{-1} [1 - (\sigma_m / \sigma_B)^m] \quad m = 0,5 \dots 2,0$$

## Голуб:

$$\sigma_a = \sigma_{-1} \left[ 1 - k_1 \left( \frac{\sigma_a}{\sigma_{cm}} \right)^{k_3} - k_2 \left( \frac{\sigma_m}{\sigma_{cm}} \right)^{k_4} \right]$$

$\sigma_{cm}$  значення граничного напруження в умовах статичного навантаження

$k_1, k_2$  коефіцієнти пропорційності, які змінюються в залежності від типу матеріалу від нуля до одиниці

$k_3, k_4$  експериментальні коефіцієнти, які характеризуються типом матеріалу та рівнем температури

# Діаграма граничної амплітуди циклу, продовження

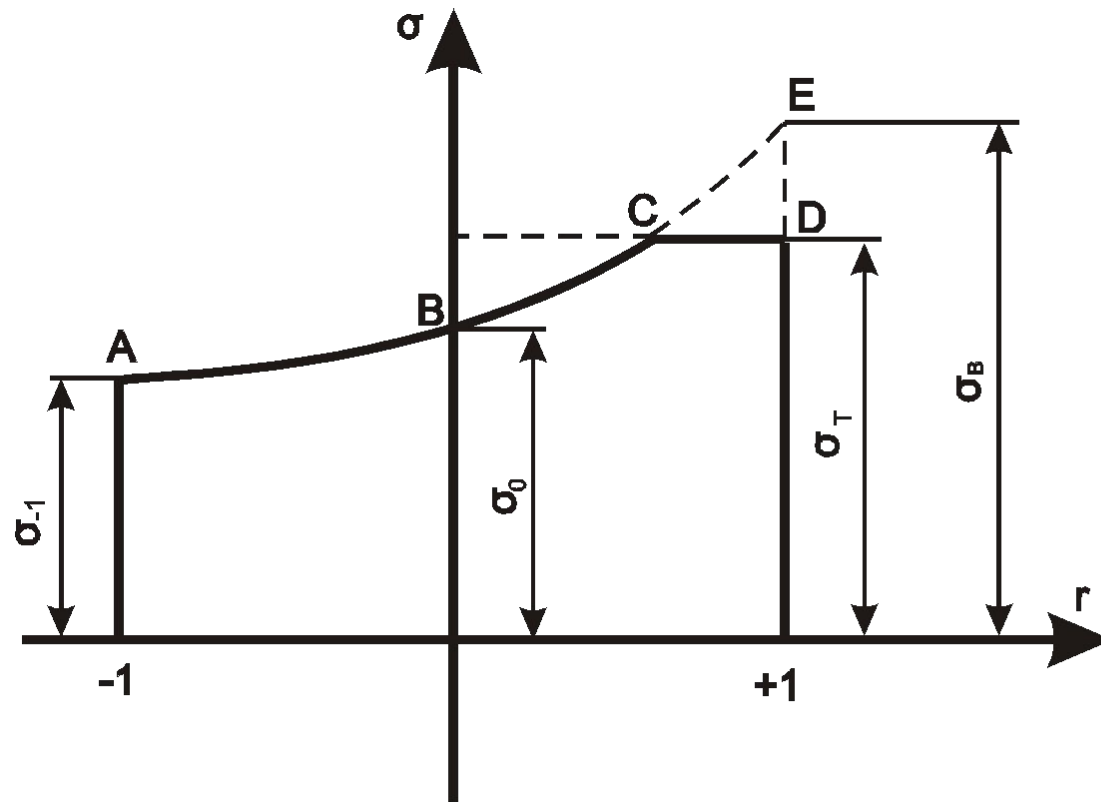
---

Результати випробувань впливу середніх напружень циклу на величину границі витривалості свідчать про наступне:

- для сталей експериментальні дані у більшості випадків лежать між прямою Гудмана і параболою Гербера;
- для алюмінієвих сплавів має місце значне розсіювання, але основна їх сукупність концентрується симетрично параболі Гербера;
- для мідних та магнієвих сплавів більшість результатів знаходиться поблизу прямої Гудмана.

# Діаграма Мора-Коммерса-Яспіра

---



---

# ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

