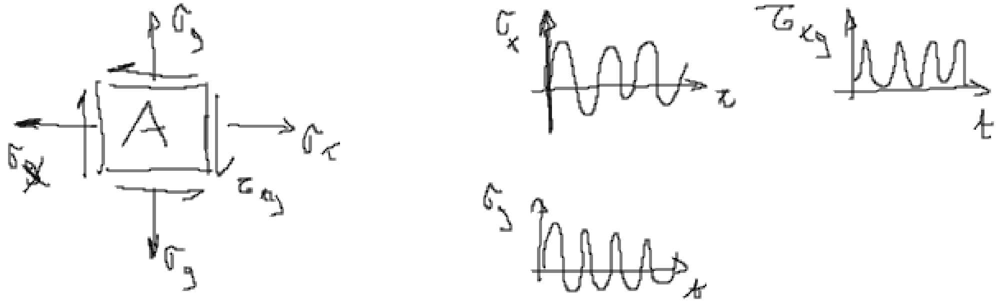
Ensaio convencional de fadiga - Estado de tensão uniaxial



Como usar o ensaio de fadiga no caso de estado de tensão qualquer?

$\Rightarrow$ Ideal: Ensaios reproduzindo o estado de tensão

$\Rightarrow$ Aproximação com critérios de falha

(I) ⇒ comportamento frágil

- Máxima tensão principal

$$\boxed{\sigma_1 \leq \sigma_{f_p}}$$

Só tensão alternada (simétrica)

(II) ⇒ comportamento dúctil

- Máxima energia de distorção

V $\boxed{\sigma_{VM} \leq \sigma_{f_p}}$

Só Tensão alternada (simétrica)

Se houver tensão média e alternada

(I) Material frágil

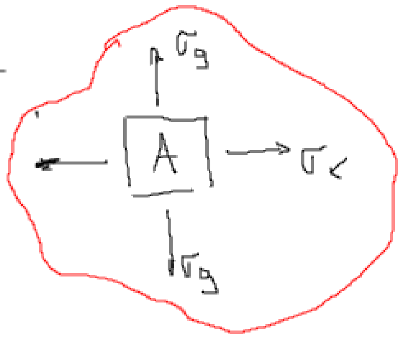
Calcular σ_{1a} e σ_{1m} $\Rightarrow$ critérios Goodman

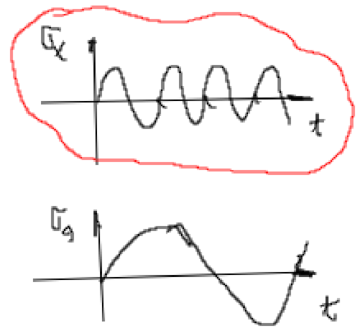
(II) Material comportamento dúctil

calcular σ_{vm_a} e σ_{vm_m} $\Rightarrow$ critérios
- Soderberg (elástico)
- Goodman (elástico)
- ASME (elástico)

• o que ocorre se a frequência de variação das tensões for diferente?

• P. ex





3,5 ciclos

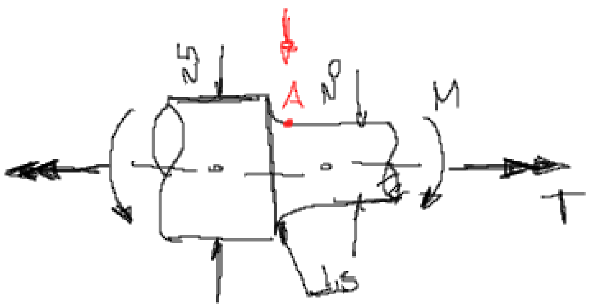
1 ciclo

ⓐ mesma intensidade

• pouco relevante a diferença entre frequência de variação das tensões.

⇒ Vida em ciclos

• Exemplo



$K_\sigma = 1{,}75$

$K_\tau = 1{,}70$

$\sigma_f = 873 \text{ MPa}$

$\sigma_{esc} = 750 \text{ MPa}$

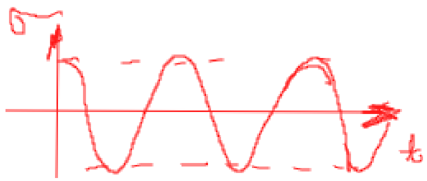
$\sigma_t = 900 \text{ MPa}$

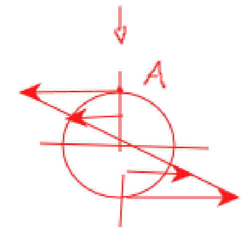
$M = 60 \text{ Nm}$

$T = 50 \text{ Nm}$ (1º caso constante)

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32 \cdot 60 \cdot 10^3}{\pi (20)^3} = \underline{76{,}4 \text{ MPa}}$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} = \frac{16}{\pi} \cdot \frac{50 \cdot 10^3}{(20)^3} = \underline{31{,}8 \text{ MPa}}$$





Separar o estado de tensão em alternado e permanente

Alternado

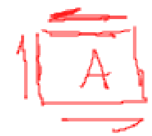
$\sigma \times K_\sigma$

$$\sigma_{VM_a} = \sqrt{\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2}{2}}$$

$$\sigma_{1_a} = \sigma \qquad \sigma_{2a} = \sigma_{3_a} = 0$$

$$\sigma_{VM_a} = 76{,}4\ \text{MPa} \times 1{,}75$$
$$= 133{,}7\ \text{MPa}$$

Permanente



τ

$$\sigma_{VM_M} = \sqrt{\frac{(\sigma_{1m}-\sigma_{2m})^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_{2m}-\sigma_{3m})^2}{2}}$$

$$\sigma_{1_m} = \tau \qquad \sigma_{2_m} = -\tau \qquad \sigma_{3_m} = 0$$

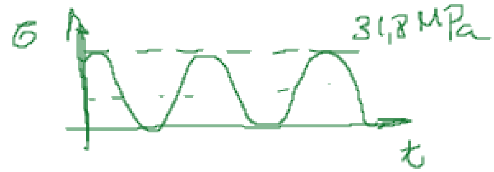
$$\sigma_{VM_m} = \sqrt{\frac{(2\tau)^2+\tau^2+\tau^2}{2}} = \sqrt{3}\,\tau$$
$$= 55{,}1\ \text{MPa}$$

$$\text{Sod} \Rightarrow \frac{\sigma_a}{\sigma_f} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{esc}} = \frac{1}{FS}$$

$$\frac{133,7}{273} + \frac{55,1}{750} = \frac{1}{FS} \Rightarrow \boxed{FS = 1,78}$$

---

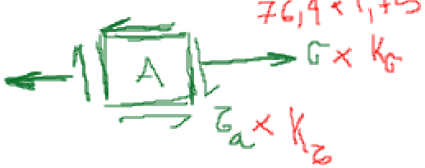
2 Tensão normal igual



$\tau_m = 15,9$ MPa

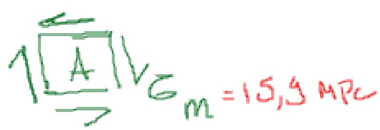
$\tau_a = 15,9$ MPa

Alternado



$\sigma_{VMa} = 141,7$ MPa

Permanente



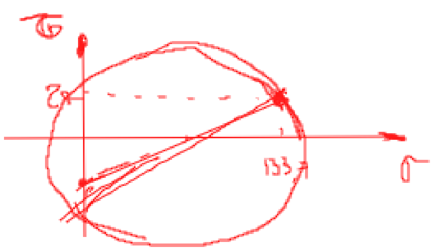
$\sigma_{VMm} = 27,5$ MPa

- Soderberg:

$$\frac{141,7}{273} + \frac{27,5}{750} = \frac{1}{FS}$$

$$\boxed{FS = 1,80}$$

Alternado



$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_3 = 0$$

$\sigma_a = 31{,}8\ MPa$ $\boxed{\sigma_m = 0}$

$$\sigma_{vM_a} = \sqrt{(76{,}4 \times 1{,}75)^2 + 3(31{,}8 \times 1{,}70)^2}$$

$\sigma_{vM_a} = 163{,}2\ MPa$

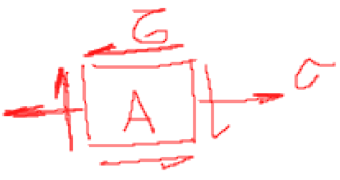
$$\frac{163{,}2}{273} + \frac{0}{750} = \frac{1}{FS} \qquad \boxed{FS = 1{,}67}$$

• ATENÇÃO

É comum encontrar na bibliografia a expressão seguinte:

$$\boxed{\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}$$

Vale apenas para:



$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_3 = 0$$

$$\sigma_{VM}^2 = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2}$$

$$= \frac{1}{2}\left\{\left[4\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + 4\tau^2\right] + \left[\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + 2\left(\frac{\sigma}{2}\right)\sqrt{} + \left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2\right] + \left[\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 - 2\left(\frac{\sigma}{2}\right)\sqrt{} + \left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2\right]\right\}$$

$$\sigma_{vm}^2 = \frac{1}{2}\left\{ 8\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + 6\tau^2 \right\}$$

$$= \sigma^2 + 3\tau^2$$

$$\boxed{\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}$$

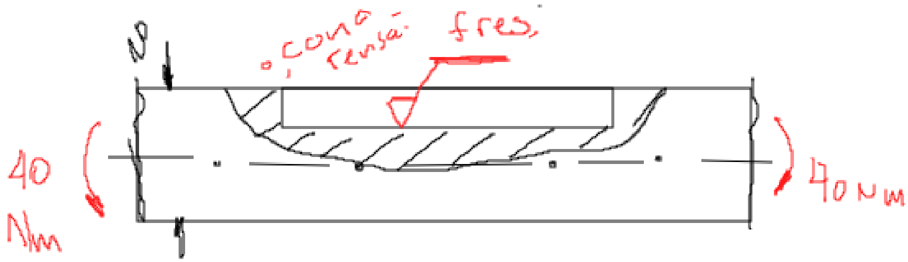
Estado de tensão qualquer:

Calcular as tensões principais
(Obs. Concentradores de tensão são aplicados nas tensões nominais calculadas)

Se material frágil: Usar a máxima tensão principal

Se material com comportamento dúctil: Calcular a tensão equivalente de Von Mises

Aplicar os critérios (Sodeberg, Goodman, ASME ou Gerber) conforme seja a situação.

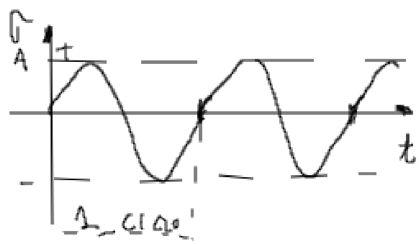


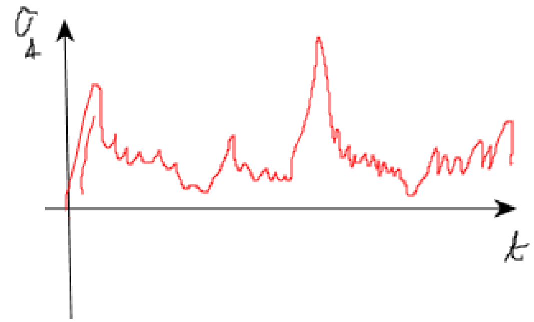
$\sigma_t = 500$ MPa

$\sigma_{esc} = 750$ MPa

Nem sempre a intensidade os esforços solicitantes é indicativa única para determinar se uma S.T. é mais crítica que outras.
Cuidados: Concentração de tensão
Acabamento Superficial
Dimensões

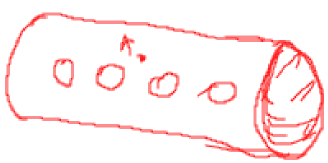
Tensão variável e não cíclica (regular)

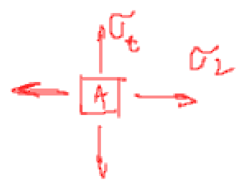


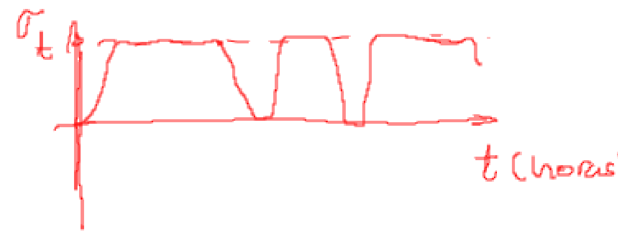


como resolver ?

Particular







A curva S-N obtida no ensaio permanece válida

Dano cumulativo

Lei de Palmgrem-Miner

$$\sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{N_i} = 1$$