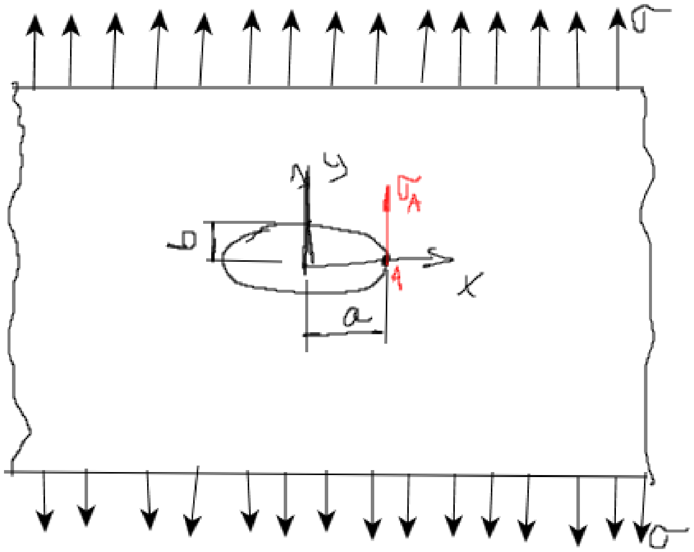
Mecânica da Fratura - Avaliação de fratura frágil

- Tensões (nominais) menores que as limites de resistência.
- Materiais cujo comportamento seria dúctil mas falham com mínima ou nenhuma deformação

Griffith (1921) - Estabeleceu o fundamento teórico para mecânica da fratura (vidros)

Falhas por fadiga - estágio final da falha é muitas vezes por fratura frágil, tensões nominais muito inferiores às limites.

Há um defeito (trinca) na peça. Sob tensão existe a possibilidade de propagação rápida da trinca. Capacidade do material em absorver energia é excedida.



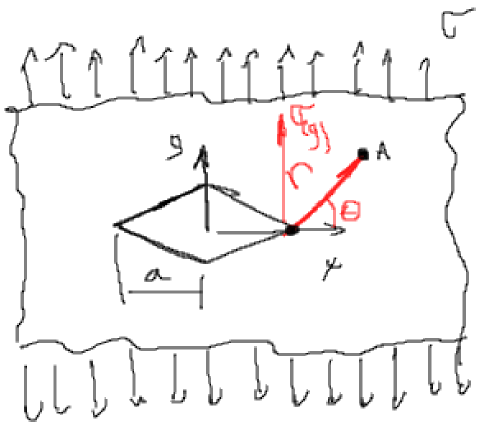
concentração de Tensão

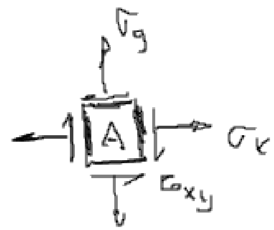
$$\sigma_{A(y)} = \left(1 + \frac{2a}{b}\right) \cdot \sigma$$

$b \to 0 \qquad \sigma_{A_y} \to \infty$

Plastificação no Ponto - A

- Modelo falho p/ o defeito





Teoria da elasticidade

$$\sigma_x = \sigma\sqrt{\frac{a}{2r}}\ \cos\frac{\theta}{2}\left(1 - \operatorname{sen}\frac{\theta}{2}\ \operatorname{sen}\frac{3\theta}{2}\right)$$

$$\Rightarrow \sigma_y = \sigma\sqrt{\frac{a}{2r}}\ \cos\frac{\theta}{2}\left(1 + \operatorname{sen}\frac{\theta}{2}\ \operatorname{sen}\frac{3\theta}{2}\right)$$

$$\tau_{xy} = \sigma\sqrt{\frac{a}{2r}}\ \operatorname{sen}\frac{\theta}{2}\ \cos\frac{\theta}{2}\ \cos\frac{3\theta}{2}$$

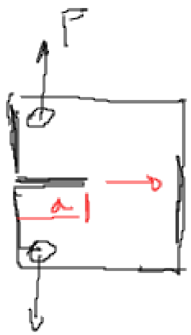
Sobre o eixo x: $\theta = 0$

$\sigma_y = \sigma\sqrt{a/2r}$ | $\sigma_y \cdot \sqrt{2r} = \sigma \cdot \sqrt{a}$ | $r \to 0$

$$\sigma_y \cdot \sqrt{2r} = cte = \underline{\sigma\sqrt{a}}$$

K = fator de intensidade de tensão $K = \sigma\sqrt{a}$

Ensaio



σ = tensão nominal

σ = aumenta até ocorrer propagação rápida do defeito ($\sigma_c = \sigma_c$)

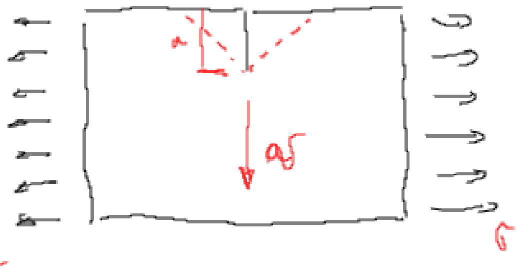
$\sigma_c \cdot \sqrt{a} = K_c$

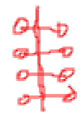
K_c = tenacidade à fratura

Haverá fratura frágil se $\boxed{\sigma\sqrt{a} > K_c}$

Griffith

liberada energia acumulada nessa área

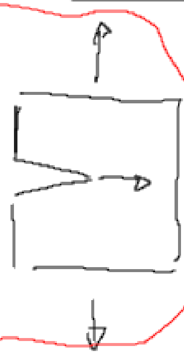




3 Modos de Propagação

I

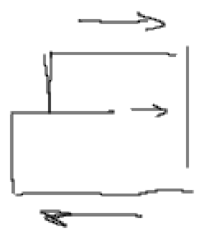
Tração



II

cis.

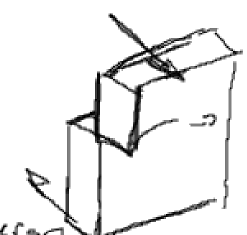
// ao defeito



III

cis

transversal à propagação



Modo I

$$K_I = \sigma_1 \cdot \sqrt{\pi a}$$

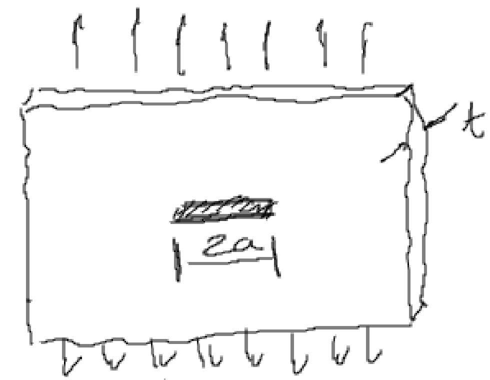
P/ que não ocorra fratura frágil

$$K_I < K_{I_C}$$

$K_{I_C} \Rightarrow$ Tenacidade à fratura (Modo I)
ou
Fator crítico de intensidade de tensão

$\Rightarrow$ Material homogêneo

$\Rightarrow$ Regime elástico linear



- Defeito longe das bordas da chapa e pontos de aplicação
- Passante

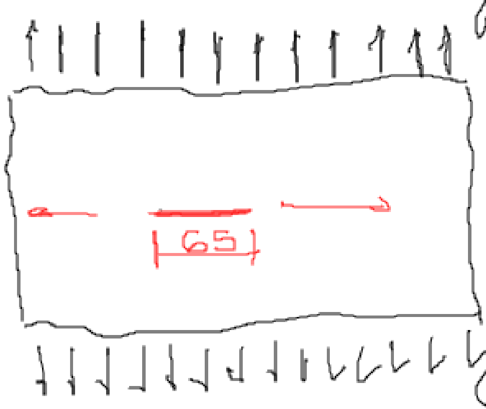
σ_1

$K_1 = C_1 \sigma \sqrt{\pi a}$ $(MPa\sqrt{m})$ ou $(MPa\sqrt{mm})$

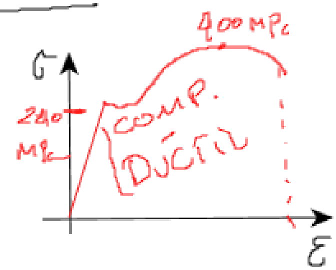
C_1 = fator de correção p/ localização do defeito (borda x dist. borda) e profundidade

a = comprimento característico da trinca

Fratura frágil se $K_I > K_{IC}$



$\sigma = 50\ \text{MPa}$



Prop. do Material

$$\left.\begin{aligned} \sigma_e &= 240\ \text{MPa} \\ \sigma_t &= 400\ \text{MPa} \end{aligned}\right\} \text{E.T}$$

$$K_{Ic} = 28{,}3\ \text{MPa}\sqrt{m}$$

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$$

$2a = 65\,\text{mm}$

$\sigma = 50\ \text{MPa}$

$$K_I = 50\sqrt{\pi \cdot 32{,}5 \cdot 10^{3}}$$

$$K_I \approx 16\ \text{MPa}\sqrt{m}$$

Não há f. frágil

$K_I < K_{Ic}$

$$FS = \frac{28{,}3}{16} \approx 1{,}77$$

Qual a máxima tensão nominal para não ocorrer f.f?

$K_I = K_{Ic}$ (Limite)

$\sigma_{max}\sqrt{\pi a} = K_{Ic}$

$\sigma_{max} \cdot \sqrt{\pi \, 32{,}5 \cdot 10^{-3}} = 28{,}3 \text{ MPa}\sqrt{m}$

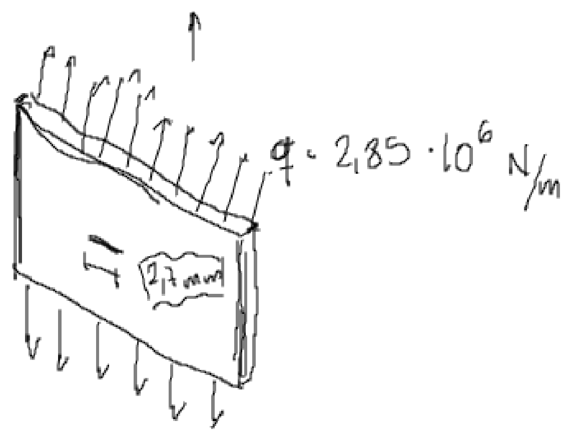
$\boxed{\sigma_{max} \cong 88{,}6 \text{ MPa}}$

Ensaios não-destrutivos - Técnicas experimentais para detecção de defeitos e estimativa das dimensões sem que seja preciso destruir a peça.
Qual o máximo nível de tensão admissível para evitar fratura frágil?
Líquido penetrante, raio-X, ensaios por vibração, Ultrassom

	Material	K_{Ic} (MPa $\sqrt{m}$)	σ_{esc} (MPa)
Al	2024	26	455
	7075	24	495
	7178	33	490
Aços	4340	99	860
	4340 (Temp & Rev.)	60	1515
	52100	14	2070
Ti	6Al-4V	115	910

Exercício

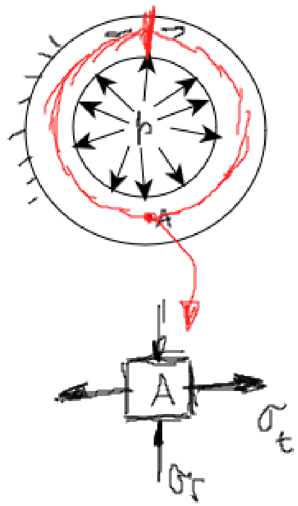
Placa de aço sujeita a tensão normal uniforme - a técnica de inspeção usada permite encontrar defeitos cujo comprimento é maior que 2,7 mm. Determinar a espessura da chapa para que o coeficiente de segurança à fratura frágil seja igual a 3.



- Aços 4340
  4340 T & R
  52100

Verificar se o critério com K_{Ic} é o mais crítico.

- $2a < 2{,}7$ mm é indetectável
- $C_1 = 1$ (Defeito longe da borda)



Qual o modo?

(I), (II), (III)

- Defeito radial

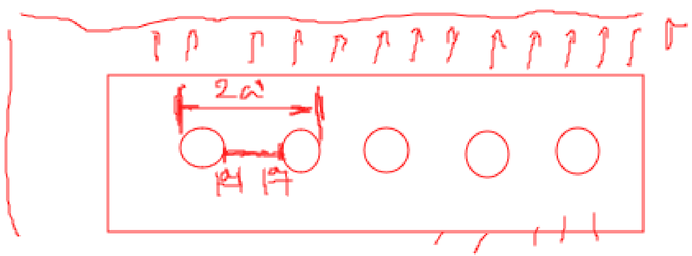
$\boxed{\text{Modo I}}$

• Propagação radial por conta da Tensão Normal Tangencial

σ_t = tangencial

σ_r = radial

Coord. cilíndricas



$$\boxed{K_I = C_I\sqrt{\pi a}}$$

Shigley / Norton