



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
PMT 2200
Exercícios-Fratura

1. Um aço tem um limite de escoamento σ_e de 1100 MPa, um limite de resistência σ_r de 1200 MPa e uma tenacidade à fratura K_{Ic} de $90 \text{ MPa(m)}^{1/2}$.

a) Uma placa com a configuração da figura abaixo, tem uma trinca passante de 2mm de comprimento. Ela vai quebrar antes de escoar ou escoar antes de quebrar?

b) Qual é o tamanho máximo de trinca que pode estar presente sem que a chapa fracture antes de deformar?

($K_{Ic} = Y \cdot \sigma \cdot (\pi \cdot a)^{1/2}$, onde Y é um fator geométrico igual a 1,1 para chapas carregadas em tração como na figura abaixo).

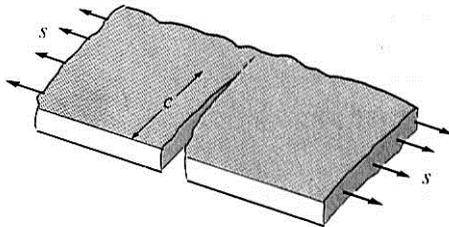


FIG. 8-4.6

Fracture Stresses (Mode I). Stresses that open an edge crack in tension introduce an intensity factor, K_I , that increases with $\sqrt{\pi c}$ as indicated in Eq. (8-4.1). If K_I exceeds a critical value, K_{Ic} , the crack will advance catastrophically.

Gabarito:

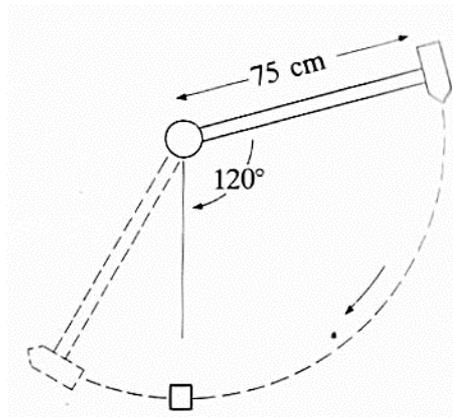
- a) $\sigma = (90 \text{ Mpa.m}^{1/2}) / \{1,1 \cdot (0,002 \cdot \pi \text{ m})^{1/2}\} = 1030 \text{ Mpa}$, que é menor do que o limite de escoamento de 1100 Mpa, portanto a placa vai fraturar antes de quebrar.
- b) $a \cdot \pi = \{(90 \text{ Mpa.m}^{1/2}) / (1100 \text{ Mpa}) \cdot (1,1)\}^2$
 $a = 0,0017 \text{ m}$ ou 1,7mm (Pergunta extra: porque a resposta deve ser arredondada para baixo e não para cima?)

2. Um pêndulo de uma máquina de ensaio de impacto pesa 10kg e tem um centro de massa a 75cm do fulcro. Ele é elevado a 120° e liberado. Após a quebra do corpo de prova (à temperatura ambiente) o pêndulo sobe 90° no lado oposto. No ensaio do mesmo material, resfriado a -196°C em um banho de nitrogênio líquido, o pêndulo elevou-se até 110° .

Calcule quanta energia o material absorveu na ruptura, nos dois casos e discuta as razões da diferença?



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
PMT 2200
Exercícios-Fratura



Gabarito:

$\Delta E_{temp\ amb} = 10\text{kg} \cdot (9,8\text{m/s}^2) \cdot (0,75\text{ m}) [\cos(-120^\circ) - \cos 90^\circ] = -36,8\text{ J}$ (perdidos pelo pêndulo) ou $+36,8\text{ J}$ absorvidos pela amostra)

$\Delta E_{-196^\circ\text{C}} = 10\text{kg} \cdot (9,8\text{m/s}^2) \cdot (0,75\text{ m}) [\cos(-120^\circ) - \cos 110^\circ] = -11,6\text{ J}$ (perdidos pelo pêndulo) ou $+11,6\text{ J}$ absorvidos pela amostra)

A explicação para esta diferença é a transição dúctil /frágil que ocorre nos aços com a diminuição da temperatura.

3. Os dois problemas básicos resolvidos pela mecânica da fratura podem ser resumidos em:

I- Dado o valor da tenacidade à fratura (K_{Ic}) e do tamanho de defeito crítico, calcular a tensão de ruptura do componente ou

II- Dado um componente que rompeu a uma dada tensão e o valor de sua tenacidade à fratura, calcular o tamanho de defeito crítico que provocou a falha.

Para ilustrar este procedimento, vamos nos concentrar em um problema prático:

- Suponha que uma barra de seção quadrada (com área $A = 0,1\text{ cm}^2$) e feita de alumina de alta qualidade ($K_{Ic} = 3,5\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) rompeu com uma carga $F = 2000\text{ N}$. Calcule o tamanho do defeito crítico (assumindo $Y = 1$).
- Uma boa aproximação para o tamanho do defeito crítico em cerâmicas é que ele tem o comprimento de seu tamanho de grão (que é igual à granulometria do pó usado na sinterização do componente). Baseando-se nesta hipótese, calcule qual seria o incremento de resistência no componente (ou seja, qual a nova carga que ele iria resistir) se o tamanho de grão for reduzido em 5 vezes? Qual seria a granulometria do pó necessária para se fabricar este componente?

Solução:



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
PMT 2200
Exercícios-Fratura

(a)

Temos $\sigma_c = F/A = 2000 \text{ N} / (0,1 \times 10^{-4}) \text{ m}^2 = 200 \times 10^6 \text{ Pa}$ ou ainda 200 MPa .

Como para a fratura instável $K_{Ic} = Y\sigma_c \sqrt{\pi a_c}$, teremos $a_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{Ic}}{Y\sigma_c} \right)^2$, portanto:

$$a_c = [(3,5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1/2}) / (200 \text{ MPa})]^2 / 3,14158 = 9,75 \times 10^{-5} \text{ m}$$
 ou ainda $a_c = 97,5 \cdot \mu\text{m}$.

Como o tamanho do defeito é 2^a , então $2a = 195 \cdot \mu\text{m}$.

(b)

Supondo que o novo tamanho do defeito crítico seja $a'_c = 195 / 5 = 39 \cdot \mu\text{m}$, teremos $a'_c = 19,5 \cdot \mu\text{m}$.

$$\sigma'_c = \frac{K_{Ic}}{Y\sqrt{\pi a'_c}}, \text{ portanto:}$$

$$\sigma'_c = (3,5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{-1/2}) / [(3,14158 \times 19,5 \times 10^{-6} \text{ m})^{-1/2}] = 447 \text{ MPa}, \text{ ou ainda } F = 4470 \text{ N}.$$

O tamanho de grão do pó que deverá ser usado para fabricar esta cerâmica é $2a = 39 \mu\text{m}$.

4. Experimentalmente sabe-se que a clivagem de metais ocorre em uma família de planos cristalinos bem definida, sob a ação de uma tensão normal crítica (que iremos chamar σ_c). Com base nesta afirmação derive uma expressão para a tensão normal projetada em um dado plano cristalino (hkl) de um monocristal cilíndrico, quando este é solicitado em tração por uma tensão σ_0 ao longo de seu eixo, que corresponde à direção [uvw] e estabeleça um critério numérico para a fratura por clivagem deste corpo.

Solução:

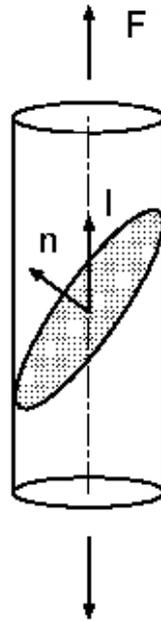
A tensão normal σ_N será dada por $\sigma_N = \frac{F_N}{A_N}$, onde F_N é a força F projetada na direção normal e A_N

é a área da seção normal (vide a figura abaixo), assim:

$$\sigma_N = F \cos \phi \times \frac{\cos \phi}{A_0} = \sigma \cos^2 \phi$$



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
PMT 2200
Exercícios-Fratura



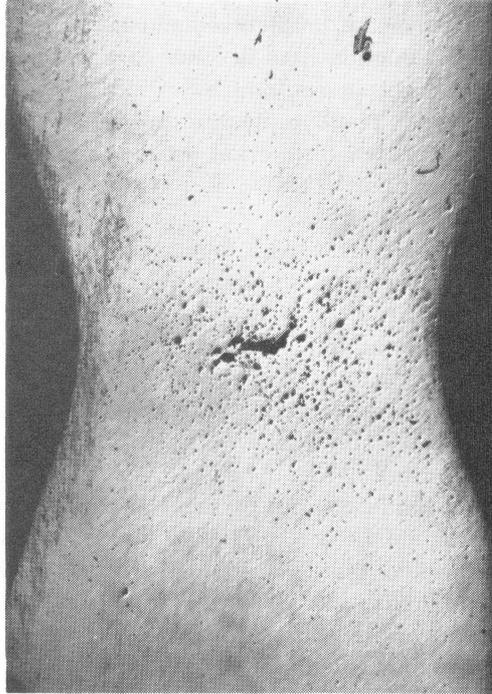
13-A Figura apresenta a seção longitudinal (ou seja, o eixo do corpo de prova cilíndrico corresponde à vertical da figura) de um corpo de prova de tração de cobre que foi ensaiado até o início do desenvolvimento da estricção. Com base nesta figura podemos afirmar que:

- Este corpo de prova iria se romper por clivagem caso o ensaio não tivesse sido interrompido.
- Este corpo de prova iria se romper por fratura intergranular caso o ensaio não tivesse sido interrompido.
- A seção longitudinal do corpo de prova apresenta um estágio intermediário do mecanismo de fratura por coalescimento de microcavidades, onde se observam algumas microcavidades dispersas e uma grande trinca central, proveniente do coalescimento de cavidades previamente existentes.
- Não se pode afirmar nada sobre o modo de fratura que este corpo de prova iria desenvolver, caso o ensaio fosse continuado, apenas pela observação desta figura.



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
PMT 2200
Exercícios-Fratura

- e. Este corpo de prova iria se romper por colapso plástico, com a redução da seção transversal do corpo de prova na região da estrição até um diâmetro nulo (100% de redução de área), se o ensaio não fosse interrompido.



Seção longitudinal de um corpo de prova de tração de cobre que foi ensaiado até o início da estrição.