

Questões

- 1 . A Figura 1 apresenta resultados para a taxa de propagação de trincas em Zircaloy sujeito a um meio contendo iodo, como determinado por Park *et al.* (**Corr. Sci. Tech.** 6, 2007, 170 –176). Zircaloy é uma liga de zircônio usada no revestimento de combustíveis nucleares e, como a figura demonstra, sofre corrosão sob tensão em ambientes contendo iodo (por azar, iodo é um dos sub-produtos da fissão do urânio). A figura contém dados para a liga no estado “após alívio de tensão” (SR, como recebido), totalmente recristalizado (RX, 620°C/ 3h) e da liga com adição de nióbio (Nb) no estado “após alívio de tensão”. Com base nesses resultados, responda:
- Suponha que uma placa de Zircaloy 4, com 50 mm de espessura, possui uma trinca superficial ($Y = 1,12$) com $a = 0,5$ mm de profundidade, calcule qual é a tensão segura de trabalho em ambiente contendo iodo para as três condições indicadas na figura
 - Interprete os resultados. Qual condição apresenta a maior resistência à corrosão sob tensão em meio contendo iodo? Qual é o efeito da adição de nióbio sobre o fenômeno, e o do tratamento térmico? Como varia a taxa de crescimento da trinca quando essa é limitada pelo fornecimento de iodo?

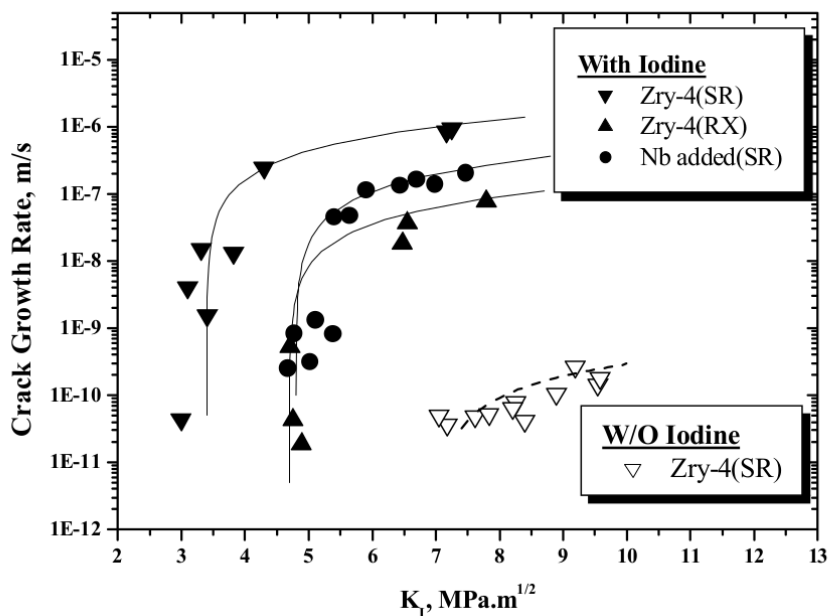


Figura 1: Resultados de Park *et al.* para a taxa de propagação de trincas em Zircaloy, sujeito a ambientes contendo iodo.

2. Hardie *et al.*¹ caracterizaram a suscetibilidade de aços API 5L das classes X65, X80 e X100 à fragilização por hidrogênio. Estes aços são empregados em tubulações petroquímicas (por exemplo, em oleodutos) e, por força da proteção catódica que se faz necessária para proteger o material contra a corrosão, podem sofrer carregamento em serviço (ou seja, absorvem hidrogênio nascente que se forma na superfície do tubo). O número que sucede o “X” na designação da classe representa a resistência do material (em ksi, ou seja 10³ libras por polegada quadrada). A Tabela 1 contém alguns dos dados publicados pelos autores, analise os dados apresentados e responda:

- O material é suscetível à fragilização por hidrogênio? Como você baseou sua conclusão?
- Há alguma correlação entre a resistência do material e sua suscetibilidade à fragilização por hidrogênio? O que isto pode implicar para o uso destes materiais em tubulações de transporte de petróleo?

Tabela 1: Extrato dos resultados de Hardie *et al.* para a fragilização por hidrogênio de aços API 5L, comparando materiais no estado como fornecido (não carregado) e carregado com uma densidade de corrente de 0,11 mA mm⁻².

Aço	Carregado?	σ_e [MPa]	σ_u [MPa]	ε_f
X60	Não	527	560	0,20
X60	Sim	489	545	0,08
X80	Não	614	650	0,19
X80	Sim	624	660	0,06
X100	Não	833	858	0,17
X100	Sim	830	843	0,06

3. O Prof. Luiz Cláudio Cândido, atualmente na Universidade Federal de Ouro Preto, defendeu em 1987 dissertação de mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), intitulada “Comportamento do Aço Inoxidável ABNT 304 à corrosão-sob-tensão em soluções aquosas neutras de NaCl à temperatura de ebulição utilizando a técnica de carga constante”² na qual ele avaliou a taxa de crescimento de trinca de CST em um aço 304 em meio aquoso contendo 20% de NaCl a 103°C, obtendo os resultados listados na Tabela 2 para um potencial anódico de -360mV na célula. No mesmo trabalho ele fornece um valor de K_{Isc} para esta condição experimental correspondente a 13 MPa m^{0.5}. Com base nestas informações:

- Estime os parâmetros de uma relação do tipo lei de potência para a função $\dot{a} = A(K_I)^m$ usando os dados do autor.

¹D. Hardie, E. A. Charles, A. H. Lopez, Hydrogen embrittlement of high strength pipeline steels, Corrosion Sci. 48 (2006) 4378 – 4385.

²Disponível em www.lume.ufrgs.br, acesso em 22/06/2011.

- b. Esquematize a curva $\dot{a} \times K_I$ para esta condição experimental.

Tabela 2: Resultados obtidos por Luiz Cláudio Cândido para a taxa de propagação de trincas de CST em aço inoxidável ABNT 304 em um meio aquoso contendo 20% de NaCl à temperatura de 103°C com um potencial anódico de -360mV na célula eletrolítica.

K_I [MPa m ^{0.5}]	\dot{a} [m s ⁻¹]
26	3×10^{-9}
43	1×10^{-8}

4. Ensaio de corrosão-sob-tensão³ em meio aquoso e em metanol efetuados em cerâmicas piezoelétricas de Zirconato - Titanato de Chumbo (PZT) resultaram respectivamente em K_{Isc} de 0.88 e 0.98 MPa m^{0.5}. Assumindo-se que o material apresenta tenacidade à fratura no estado plano de deformação (K_{Ic}) de 1.34 MPa m^{0.5} e supondo-se que componentes feitos desta cerâmica trabalham a uma tensão máxima constante de 48 MPa e ainda, que apresentam defeitos típicos na forma de trincas superficiais com $a = 0.10$ mm (assuma $Y = 1.12$) determine:
- Se é seguro trabalhar com este material em meio contaminado com água.
 - Se é seguro trabalhar com este material em meio contendo Metanol.
 - Qual será a queda de limite de resistência a longo termo esperada quando a cerâmica trabalha em meios contendo água e em meios contendo metanol.

Respostas

1. a. A tensão segura de trabalho é dada por:

$$\sigma_f = \frac{K_{Isc}}{Y\sqrt{\pi a}} \quad (1)$$

como $a = 5 \times 10^{-3}$ m temos

$$\sigma_f = 7,124 \times K_{Isc} \quad (2)$$

Para as três condições dográfico temos, portanto, as tensões seguras indicadas na Tabela 3.

- b. Notamos que o tratamento térmico de recristalização e a adição de Nb à liga tem efeitos semelhantes sobre a resistência à corrosão sob tensão do Zircaloy. O comportamento do material recristalizado é um pouco superior ao do material contendo Nb pois a taxa de propagação estabiliza em um valor um pouco inferior quando a velocidade da trinca é limitada pelo fornecimento de lodo.

³Y. Wang, W. Y. Chu, Y. J. Su, L. J. Qiao, Materials Letters, vol. 57 (2003) 1156 – 1159.

Tabela 3: Tensões seguras de trabalho do Zircaloy-4 em ambientes contendo lodo

Condição	Tensão [MPa]
Zry-4(SR)	21,4
Zry-4(RX)	32,1
Nb-added(SR)	32,1

2. a. Sim, notamos que para os três materiais o carregamento com hidrogênio reduz significativamente o alongamento do material, no caso dos aços X60 e X100 há ainda uma redução do limite de escoamento e do limite de resistência.
- b. Notamos que aparentemente a redução do alongamento é maior para aços mais resistentes, como o objetivo de trabalhar com um aço de maior resistência é trabalhar com a estrutura em um nível de tensão maior (no caso do oleoduto, reduzindo a espessura da parede do tubo), com isso o aço se torna mais suscetível à falha na presença de hidrogênio (que é inevitável em uma aplicação petroquímica).
3. a. Os dados para estimativa da relação solicitada estão na Tabela 4, com isso obtemos

$$\ln \dot{a} = -27,423 + 2,394 \times \ln K_I \quad (3)$$

Tabela 4: Exercício 3, resolução.

K_I [MPa m ^{0.5}]	\dot{a} [m s ⁻¹]	$\ln K_I$	$\ln \dot{a}$
26	3×10^{-9}	3,258	-19,625
43	1×10^{-8}	3,761	-18,421

portanto a relação solicitada é:

$$\dot{a} = 1,23 \times 10^{-12} (K_I)^{2,394} \quad (4)$$

- b. A função está representada na Figura 2.
4. O K_I aplicado no componente é:

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a} = 0,953 \quad (5)$$

- a. Em água $K < K_{Isc}$ portanto é seguro trabalhar em meio contendo água (ignoramos fatores de segurança)
- b. Em metanol temos $K > K_{Isc}$ portanto não é seguro trabalhar em meios contendo metanol

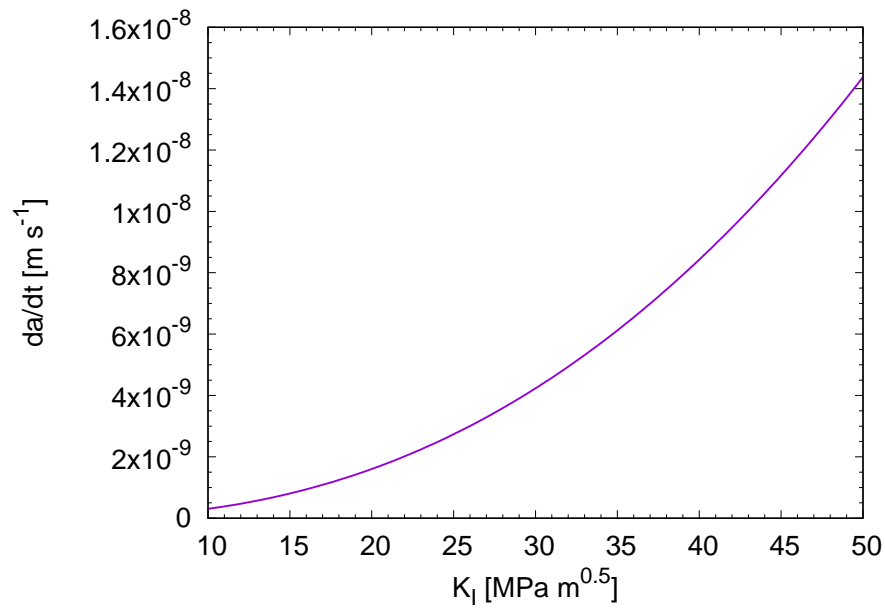


Figura 2: Função solicitada.

- c. O limite de resistência intrínseco da cerâmica é dado por:

$$\sigma_f = \frac{K_{Ic}}{Y\sqrt{\pi a}} = 67,5 \quad (6)$$

em água essa resistência cairia para 49,4 MPa (75%) e em metanol essa resistência cairia para 44,4 MPa (68%).