

PMT3540 - Aula 11 - Corrosão-sob-tensão induzida por irradiação

Cláudio Geraldo Schön

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

28 de novembro de 2018

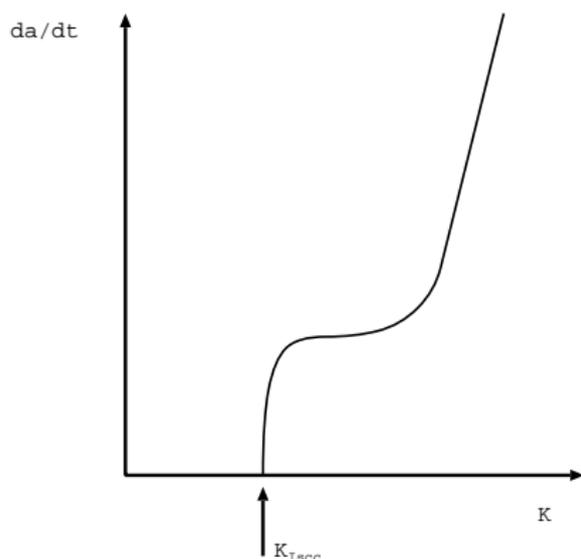
Corrosão-sob-tensão

Recordando

- Em inglês: *Stress corrosion cracking* (SCC) ou *Environmentally assisted cracking* (EAC)
- Fenômeno de degradação que ocorre em materiais sob a ação de tensões de tração na presença de um meio corrosivo específico
- A combinação material, meio corrosivo é específica, mas não há como saber previamente que condição causará SCC.
- Envolve a propagação estável de uma ou mais de uma trinca, atingindo, ou não, a criticalidade (a falha final pode resultar, por exemplo, no vazamento de líquido contido por um vaso de pressão)
- O modo de propagação pode ser intergranular, transgranular, ou misto

Corrosão-sob-tensão

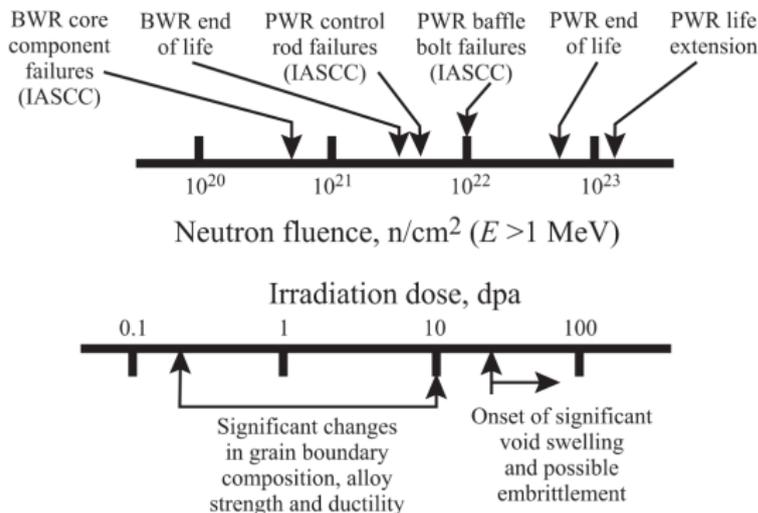
Fenomenologia



- Há um K crítico para início de propagação da trinca $\rightarrow K_{Isc}$
- Aços inoxidáveis austeníticos são particularmente sensíveis (em meios concentrados contendo Cl^-) \rightarrow papel do Ni
- Não se pode falar de resistência de um material à SCC, a resistência sempre está associada também ao meio corrosivo

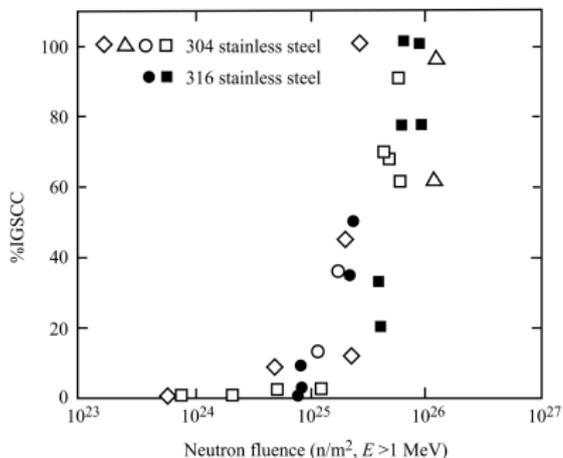
Corrosão-sob-tensão e irradiação

Aços inoxidáveis austeníticos em meio contendo água fervente (*Boiling water reactor*, BWR, provavelmente também no reator de vapor supercrítico), sob ação de irradiação por nêutrons.



Corrosão-sob-tensão e irradiação

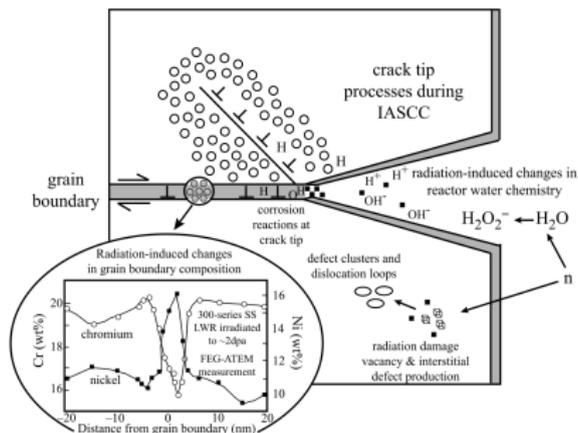
Aços inoxidáveis austeníticos em meio contendo água fervente (*Boiling water reactor*, BWR, provavelmente também no reator de vapor supercrítico), sob ação de irradiação por nêutrons.



IGSCC = Corrosão-sob-tensão intergranular

Corrosão-sob-tensão e irradiação

Aços inoxidáveis austeníticos em meio contendo água fervente (*Boiling water reactor*, BWR, provavelmente também no reator de vapor supercrítico), sob ação de irradiação por nêutrons.



Eletroquímica da corrosão

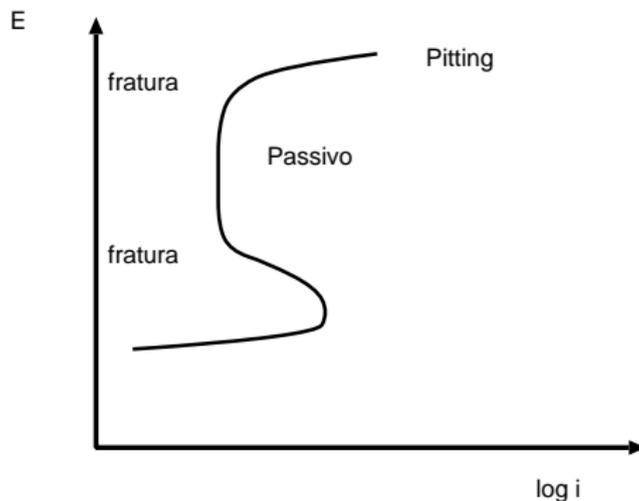
Em meios oxidantes:

$$E - E^0 = -\frac{k_B T}{nF} \ln \left(\frac{a_p}{a_r} \right)$$

onde $F = 96485 \text{ C mol}^{-1}$ é a constante de Faraday

$$\Delta G = nFE$$

Curva de polarização



O campo de tensão na ponta da trinca altera as características eletroquímicas do sistema material + eletrólito.

Irradiação e água

Efeitos da radiação em água:

- Produção de radicais livres: e^- , H^+ , OH^- , O_2H^{-3}
- Produção de moléculas: H_2O_2 , O_2 , H_2

Irradiação e água

Efeitos da radiação em água:

- Produção de radicais livres: e^- , H^+ , OH^- , O_2H^{-3}
- Produção de moléculas: H_2O_2 , O_2 , H_2

Algumas espécies são:

- Oxidantes: e^- , OH^- , H_2O_2 , O_2H^{-3}
- Redutoras: H^+ , H_2

Espécies que tem meia-vida superior a alguns segundos são H_2 e H_2O_2 (com O_2 resultando da decomposição do peróxido de hidrogênio).

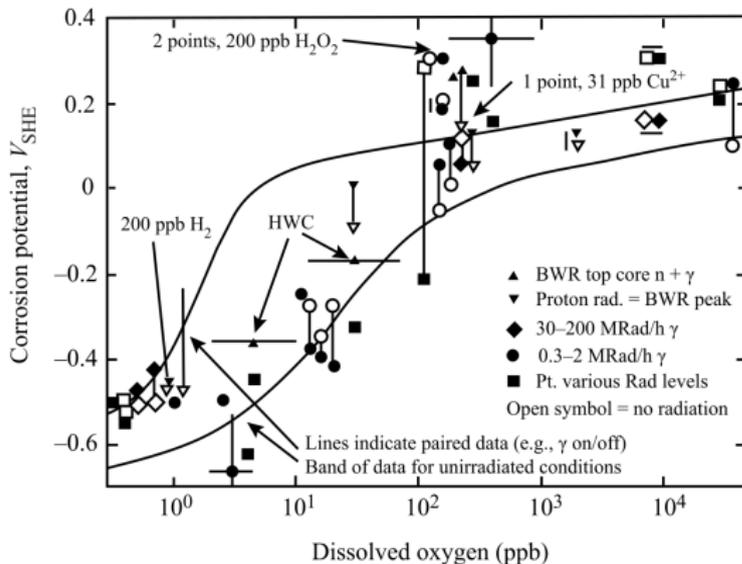
Irradiação e água

No ambiente do BWR

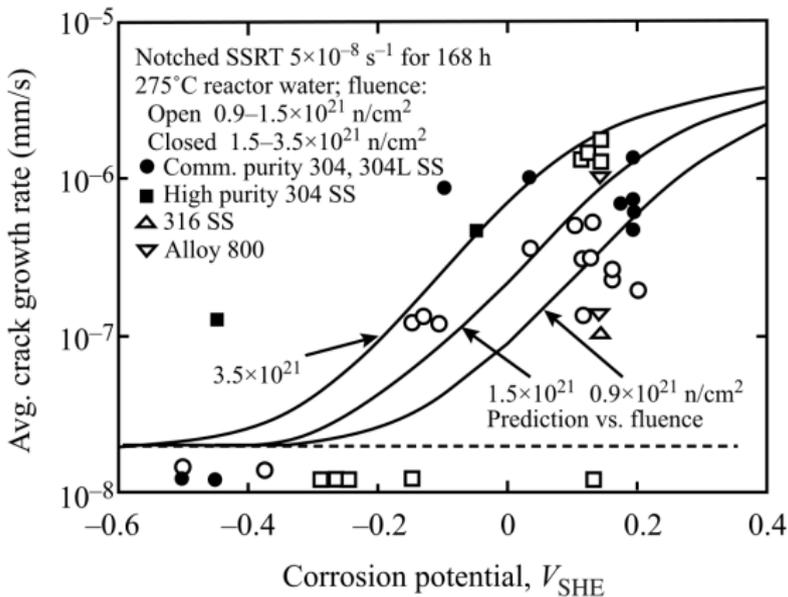
- No BWR a água está em contato com a fase vapor: H_2 particiona para a fase vapor e H_2O_2 particiona para a fase líquida
- O líquido recirculante no BWR é altamente oxidante
- Em LWRs o hidrogênio recombina com o peróxido de hidrogênio e o efeito é pequeno

Potencial de corrosão em experimentos com irradiação

Aço AISI 304 em água a 288 °C



Irradiação e crescimento de trincas

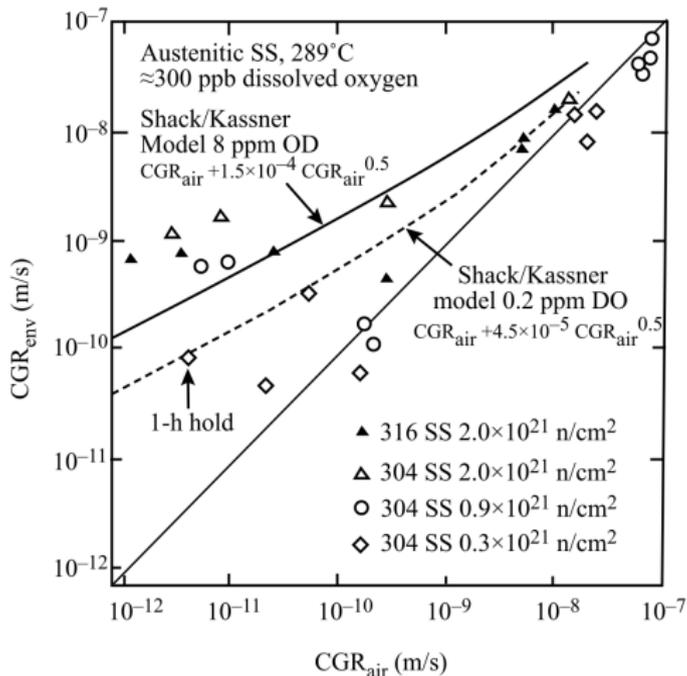


Histórico

- Primeiras observações no início da década de 1960 em revestimentos de bastões combustíveis feitos de aços austeníticos → compreensão da gravidade da observação
- Consciência da importância do fenômeno para futuras falhas em serviço
- Fratura intergranular predominava, com múltiplas trincas nucleadas no lado exposto à água
- Carbonetos não eram observados no CG
- Correlações entre tempo para falha e nível de tensão (fonte: inchamento)
- Não é limitado a qualquer tipo de reator particular (tabela 15.2 do Was)

Taxa de crescimento da trinca

Ensaio de laboratório

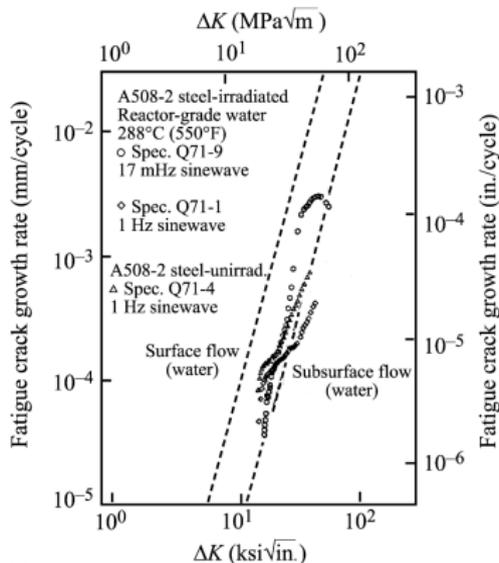


Observações

- Não há um limiar
- Fluência de radiação nem sempre correlaciona
- Inicialmente altas tensões estavam envolvidas, mas o fenômeno já foi observado em tensões e concentrações de tensão baixas
- O potencial de corrosão é fator predominante
- Presença de cloretos e sulfatos também acelera o fenômeno
- Desenhos com cavidades, deformação, temperatura, presença de carbonetos e CG aceleram o fenômeno

Fadiga de aço A533B

Fadiga não é afetada por irradiação, mas é afetada pelo ambiente (efeito secundário da irradiação sobre a água).



Mecanismos

Não há consenso

- Redução do teor de cromo no CG (RIS) (+)
- Endurecimento por irradiação (+)
- Deformação localizada (+)
- Oxidação interna seletiva (+)
- Fluência por irradiação (-)