

# 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

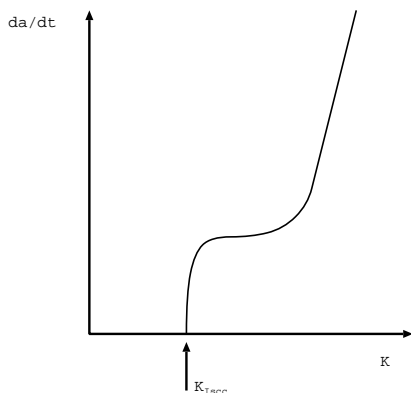
# Corrosão-sob-tensão

## 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

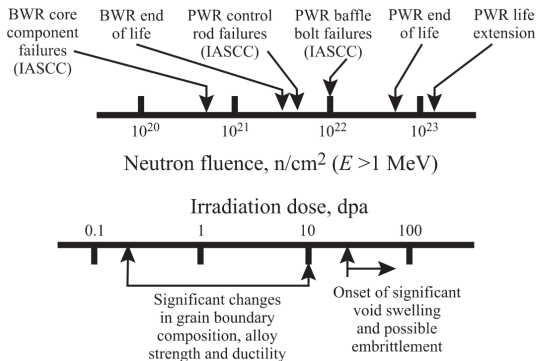
## Fenomenologia



- 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

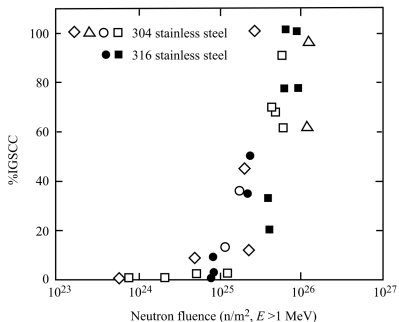
# Corrosão-sob-tensão e irradiação

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

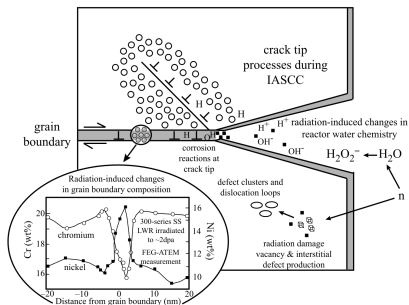
Aços inoxidáveis austeníticos em meio contendo água fervente (*Boiling water reactor*, BWR, provavelmente também no reator de vapor supercrítico), sob ação de irradiação por nêutrons.



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

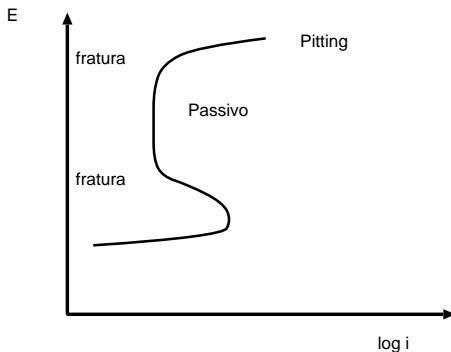
Em meios oxidantes:

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

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).

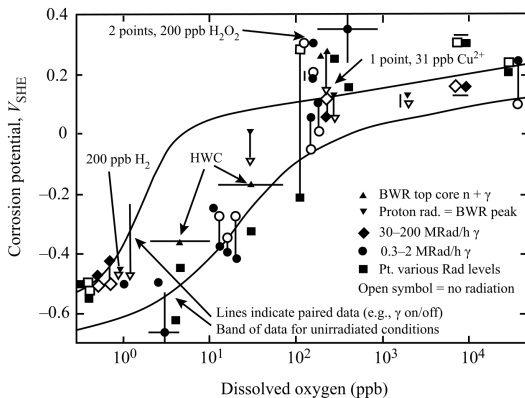
# Irradiação e água

## No ambiente do BWR

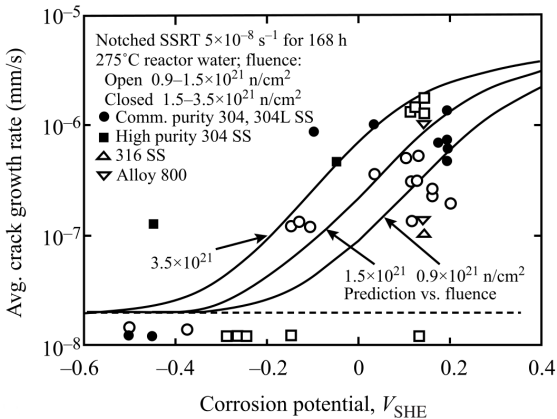
- No BWR a água está em contato com a fase vapor:  $H_2$  particiona para a fase vapor e  $H_2O_2$  particiona para a fase líquida
- O líquido recirculante no BWR é altamente oxidante
- Em LWRs o hidrogênio recombina com o peróxido de hidrogênio e o efeito é pequeno

# Potencial de corrosão em experimentos com irradiação

Aço AISI 304 em água a 288 °C



# Irradiação e crescimento de trincas

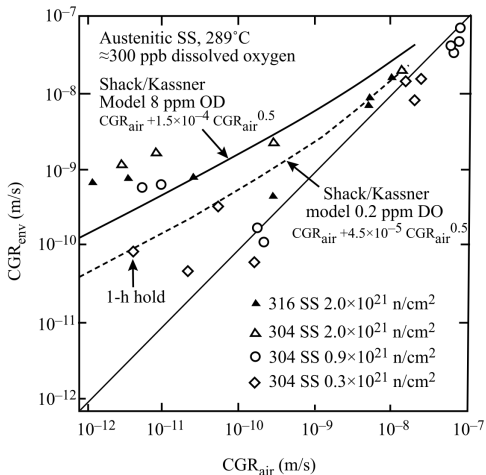


# Histórico

- 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



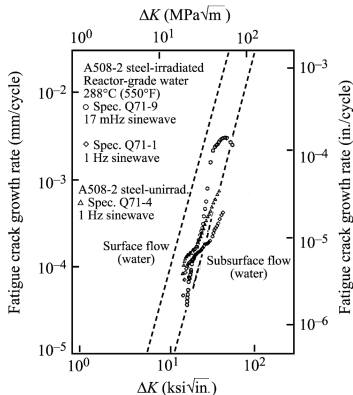
# Observações

- 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 (-)