

Efeito do níquel, cromo e manganês na resistência à corrosão dos aços inoxidáveis

Zehbourn Panossian

Palestra on-line apresentação na SEMINÁRIO BRASILEIRO DE AÇOS INOXIDÁVEIS COM SOLUÇÃO CONTRA A CORROSÃO – INOXCORR., 2021., on-line. 18 slides

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. REPRODUÇÃO PORIBIDA

Efeito do níquel, cromo e manganês na resistência à corrosão dos aços inoxidáveis



Por que usar aços inoxidáveis?

- ✓ Os aços inoxidáveis são ligas de Fe-Cr que apresentam alta resistência à **corrosão generalizada** decorrente da formação de uma camada passiva que funciona como uma barreira entre a liga e o meio de exposição. As taxas de corrosão generalizada são muito baixas em meios como atmosferas (incluindo as marinhas), ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido nítrico, bases fortes, ácidos orgânicos como acético ou fórmico
- ✓ Para a formação e a manutenção da **camada passiva**, é necessário um **meio oxidante**.
- ✓ Essas ligas são susceptíveis à **corrosão localizada** em certas condições (meios contaminados com cloreto).
- ✓ A resistência à **corrosão** tanto **generalizada** como **localizada** depende fortemente da quantidade de Cr e de outros **elementos de liga** utilizados para conferir propriedades adicionais, sendo a resistência à corrosão uma das mais importantes.
- ✓ Foco: além do Cr (principal constituinte), Ni e Mn.

Algumas aplicações dos aços inoxidáveis



Algumas aplicações dos aços inoxidáveis



Pier de concreto, estrutura em barras de aço inoxidável
(2 km + com 4,5 km = 6,5 km)

Ano: 1941

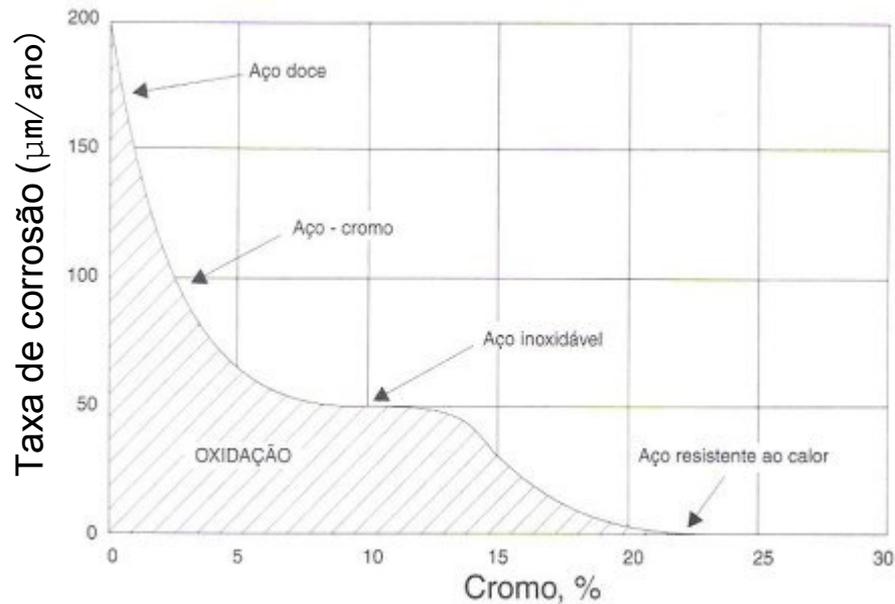


Pier de concreto, armaduras de aço-carbono

Ano: 1969



Efeito do Cr na resistência à corrosão dos aços inoxidáveis



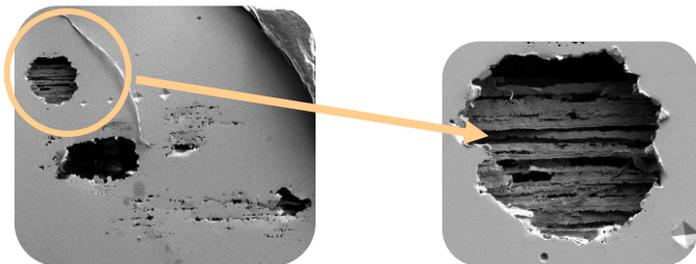
- ✓ O **chromo** metálico apresenta excelente resistência à corrosão em meios oxidantes, devido à formação de um filme protetor rica em Cr_2O_3 (passivação).
- ✓ Em soluções neutras e ácidas aeradas, a camada passiva tem composição próxima à CrOOH e $\text{Cr}(\text{OH})_3$.
- ✓ Pequenas adições de Cr, já diminuem as taxas de corrosão do aço-carbono.
- ✓ Acima de 10,5 %, as taxas de corrosão diminuem drasticamente: aço inoxidáveis.

Efeito do Cromo na resistência à corrosão dos aços inoxidáveis



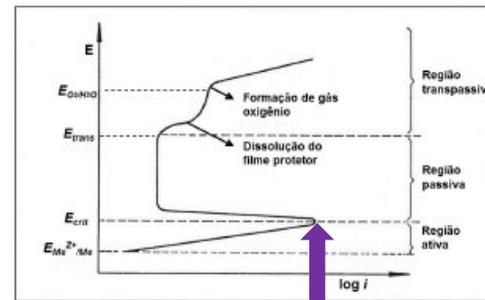
- ✓ O Cr é, sem dúvida, o elemento mais importante no que diz respeito à resistência à corrosão de ligas de ferro.
- ✓ A camada passiva de Cr_2O_3 mantém-se íntegra e cresce com tempo de exposição em ambientes oxidantes.
- ✓ Tipos de aços inoxidáveis: martensíticos, **ferríticos**, **austeníticos**, duplex e superduplex (ferrítico/austenítico), os fundidos e os resistentes ao calor.

Efeito do Cr na resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis



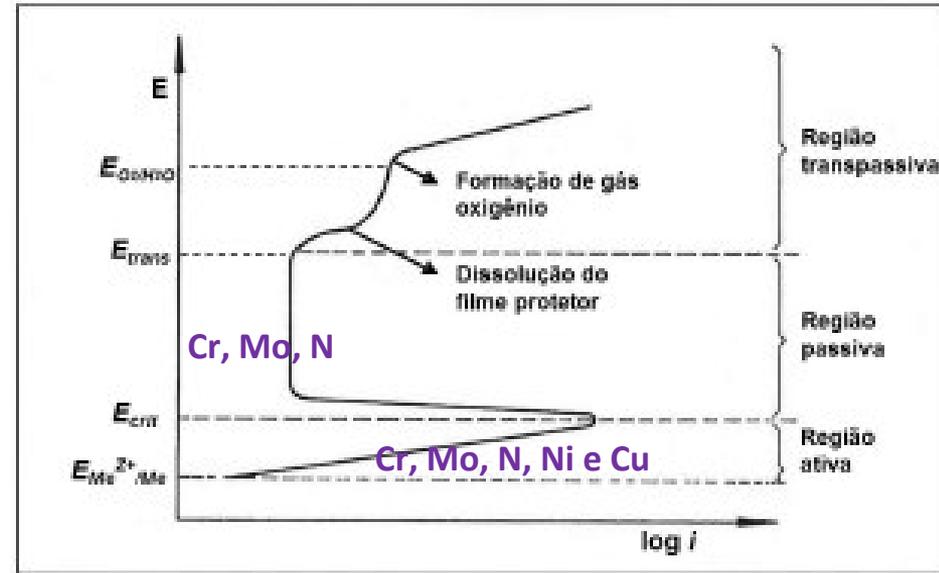
Influência do Cr nos ferríticos	Teor de Cl ⁻ para dar pites em meio ácido (mol/L)
Fe	0,0003
Fe + 5,6 % Cr	0,017
Fe + 11,6 % Cr	0,069
Fe + 20 % Cr	0,1
Fe + 24,5 % Cr	1,0
Fe + 29,5 % Cr	1,0

- ✓ A corrosão por pite é um dos mecanismos mais importantes da corrosão dos aços inoxidáveis. Principal espécie causador: íons cloreto (Cl⁻).
- ✓ O aumento do teor de Cr determina:
 - camadas passivas mais finas e mais compactas (eficientes);
 - diminuição da corrente de passivação (taxa de corrosão generalizada);
 - diminui a **corrente crítica de passivação**.



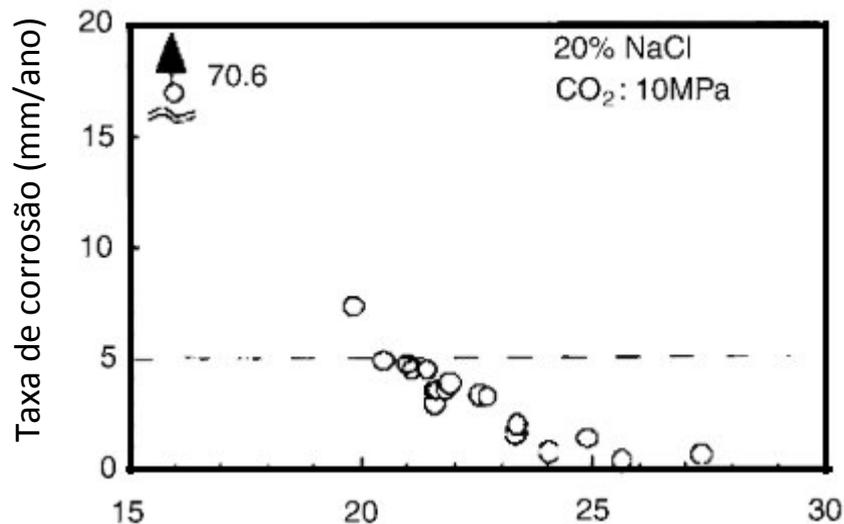
Efeito do Ni na resistência à corrosão generalizada dos aços inoxidáveis austeníticos

- ✓ O **níquel** é um elemento autenizante: está presente no aços inoxidáveis austeníticos.
- ✓ O **níquel** reduz a densidade de **corrente crítica para passivação** sem contribuir diretamente para a estabilidade do filme passivo.
- ✓ Reduz a taxa de corrosão na região ativa (generalizada).



Efeito do Ni na resistência à corrosão generalizada dos aços inoxidáveis austeníticos

- ✓ O **níquel** reduz as taxas de corrosão generalizada dos aços inoxidáveis no setor de Óleo & Gás, onde se tem meios com CO₂.
- ✓ A Figura mostra a influência dos elementos de liga em solução de NaCl a 20 % contendo CO₂:



Índice de corrosão pelo CO₂: Cr + **0,65Ni** + 0,6 Mo + 0,55Cu

Efeito do Ni na resistência à corrosão generalizada dos aços inoxidáveis austeníticos

- ✓ **Ácido clorídrico diluído (1 %)** é muito agressivo aos aços inoxidáveis. Nem o aço AISI 304 é resistente:
 - o aumento do teor de Ni é mais benéfico do que o aumento do teor de Cr.
Informação importante: muitos meios ácidos que não atacam os aços inoxidáveis podem ser contaminado com cloreto!!!! Nesses casos, a seleção adequada da liga pode evitar problemas de uso!
- ✓ **Meios alcalinos**: o Cr é responsável pela alta resistência à corrosão, pois nesses meios os aços inoxidáveis se passivam e a função do Ni não se manifesta!

Efeito do Ni na resistência à corrosão generalizada dos aços inoxidáveis austeníticos

Corrosão por pite

- ✓ O PREN, parâmetro empírico para previsão da resistência à corrosão por pites dos aços inoxidáveis, não inclui o **níquel**:

- ✓ **austeníticos**

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo} + 30\text{N}$$

- ✓ **ferríticos**

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo}$$

No entanto, o **níquel** reduz a taxa de crescimento dos pites formados.

Corrosão em frestas

- ✓ Frestas constituem locais extremamente favoráveis para o estabelecimento de corrosão, incluindo corrosão por pite, decorrente do ambiente com baixo acesso de oxigênio.
- ✓ O **níquel** aumenta a resistência à corrosão em frestas por aumentar a resistência à corrosão generalizada (em meio pobre em oxigênio a camada passiva não se sustenta)

Efeito do Ni na resistência à corrosão generalizada dos aços inoxidáveis austeníticos

- ✓ A resistência à **corrosão atmosférica** dos aços inoxidáveis é indiscutível quando se compara aos aços-carbono comuns:
 - em ambientes não contaminados com cloretos, os aços ferríticos e os austeníticos com baixos teores de Ni podem apresentar resistência à corrosão aceitáveis!!!



Efeito do Ni na resistência à corrosão generalizada dos aços inoxidáveis austeníticos

Em ambientes marinhos, somente os aços inoxidáveis da série 300 devem se utilizados



Problemas de corrosão em uma cidade no litoral de São Paulo: uso de material inadequado

Efeito do Mn na resistência à corrosão dos aços inoxidáveis

- Nas classes Cr-Mn, também chamadas de classes da “série 200”, o conteúdo de níquel (em relação aos austeníticos) é diminuído e a microestrutura austenítica é mantida pela substituição de parte do níquel por manganês e nitrogênio. $PREN = Cr + 3,3Mo + 30N$

Composição química de alguns aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos

UNS	Tipo	Fração de massa dos elemento (%) – teores máximos							
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N
-	IT 200*	0,104	10,07	0,036	0,003	0,41	13,92	1,21	-
S20100	Austenítico	0,15	5,5-7,5	0,060	0,030	1,00	16,00-18,00	3,5-5,5	0,25
S20200	Austenítico	0,15	7,5-10,0	0,060	0,030	1,00	17,00-19,00	4,0-6,0	0,25
S30400	Austenítico	0,08	2,00	0,045	0,030	0,75	18,00-20,00	8,00-11,00	-
S41003	Ferrítico	0,08-0,15	1,00	0,040	0,030	1,00	10,50-12,50	0,75	-
S43000	Ferrítico	0,12	1,00	0,040	0,030	1,00	16,00-18,00	0,75-0,50	-

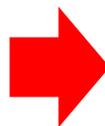
* Contém 0,81 % de Cu

Efeito do Mn na resistência à corrosão dos aços inoxidáveis

- ✓ A substituição dos aços da série 300 pelos da série 200 deve ser feita com cautela, pois em meios muito agressivos o desempenho pode ser comprometido devido a redução significativa do teor de **níquel**.
- ✓ Além disso, chama-se a atenção da grande possibilidade de formação de inclusões de **MnS**, especialmente nos casos em que o teor de S não for rigorosamente controlado. Essas inclusões são locais propícias para nucleação de pites.

Efeito do níquel na resistência à corrosão dos aços inoxidáveis

Resistência à corrosão (série 200 x série 300)



Resistência à corrosão	Série 200*	Série 300		
		301	304	316
Generalizada	●	●●	●●●	●●●●
Por pites	●	●●	●●●	●●●●
Intergranular	●	●●●●	●●●●	●●●●
Resistência mecânica	●●●	●●●●	●●●	●●●
Estampabilidade	●●	●●●	●●●●	●●●●

* IT 200

Ensaio realizado em laboratório IPT

Conclusão

- ✓ Os aços inoxidáveis, materiais metálicos altamente resistentes à corrosão, têm sido utilizados há décadas com muito sucesso. No entanto, problemas de falhas em serviço ocorrem as quais poderiam certamente ser evitados.
- ✓ Para usufruir dos benefícios dos aços inoxidáveis é imprescindível fazer uma escolha criteriosa do tipo de aço inoxidável mais adequado, devendo esta escolha ser embasada no conhecimento detalhado do ambiente e das condições de exposição.
- ✓ O conhecimento da função de cada elemento de liga facilita a tomada de decisão.

Obrigado

