

## **EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NO COMPORTAMENTO DE CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 420**

**AUGUSTO C. NOGUEIRA E SILVA (1)  
ISOLDA COSTA (2)  
JORGE KOLOSOSKII (3)**

**(1) Bolsista de Iniciação Científica do IPEN.**

**(2) Pesquisadora Titular do IPEN - CNEN - São Paulo.**

**(3) Membro da ABM - Professor da FEI.**

### **RESUMO**

A influência do tratamento térmico no comportamento de corrosão do aço inoxidável AISI 420 foi investigada. Os tratamentos térmicos realizados resultaram em uma diminuição significativa no teor médio de carbonetos no aço. Os resultados dos ensaios de corrosão indicaram uma melhoria no comportamento de corrosão para os aços com os menores teores médios de precipitados.

### **INTRODUÇÃO**

Os aços inoxidáveis martensíticos possuem um teor de carbono elevado e um teor de cromo muito próximo do limite mínimo para o aço ser considerado inoxidável. Isto acarreta numa menor resistência à corrosão em relação aos outros grupos de aços inoxidáveis, principalmente os austeníticos.

Entretanto, os aços inoxidáveis martensíticos, e particularmente o AISI 420, possuem uma elevada resistência mecânica que é conseguida devido ao elevado teor de carbono na liga. A composição nominal do aço inoxidável AISI 420 pode ser considerada ainda mais crítica dentre os outros aços martensíticos pois o seu teor de Carbono é dado como 0,15% mínimo enquanto a maioria dos outros aços martensíticos tais como o AISI 403, 410 e 416 apresentam composição nominal com teor de carbono de 0,15% máximo.

Devido a estas características, estes aços são amplamente utilizados em situações onde há um compromisso entre a resistência mecânica e a resistência à corrosão<sup>(1,2)</sup>. As aplicações mais comuns para o aço AISI 420 são: artigos de cutelaria, artigos para indústria alimentícia, instrumentos cirúrgicos e dentários, eixos e peças para bombas hidráulicas, componentes de turbinas à vapor (principalmente pás) e moldes para indústria de plásticos e vidros.

Como as propriedades dos aços inoxidáveis martensíticos variam significativamente de acordo com o tratamento térmico realizado, deve-se evitar as regiões críticas onde ocorre a precipitação de grandes quantidades de carbonetos.

A precipitação de carbonetos, além de alterar as propriedades mecânicas do aço, afeta significativamente a sua resistência à corrosão devido a variações "locais" de composição e microestrutura. Tais variações poderão dar origem a pontos preferenciais de ocorrência de corrosão.

O objetivo deste trabalho foi estudar a variação da resistência à corrosão e da microestrutura de um aço inoxidável martensítico submetido a diferentes tratamentos térmicos.

## EXPERIMENTAL

### MATERIAL

As amostras de aço utilizadas neste trabalho foram obtidas de duas lâminas de aço AISI 420 cuja composição nominal é mostrada na tabela 1. Cada uma das lâminas apresentou uma forma de corrosão diferenciada. Em uma das lâminas observou-se corrosão por pites na superfície da amostra enquanto na outra, encontrou-se uma corrosão com formato circular porém, de grande diâmetro em relação à profundidade.

Tabela 1 - Composição nominal do aço AISI 420 (% em peso).

Elemento de liga	C	Mn	Si	Cr	P	S
%(em peso)	0,15 mín	1,00	1,00	12,0 - 14,0	0,04	0,03

As amostras foram estudadas em três condições distintas:

1) Material como recebido (temperado e revenido para aplicações na indústria). Não se teve acesso à história do tratamento térmico do material como recebido, entretanto a caracterização microestrutural forneceu informações importantes.

2) Austenitizado a 980°C por 30 minutos, temperado ao ar e revenido a 180°C por 2 horas.

3) Austenitizado a 1050°C por 30 minutos, temperado ao ar e revenido a 180°C por 2 horas.

A tabela 2 indica a nomenclatura adotada neste trabalho.

Tabela 2 - Nomenclatura adotada

Amostra	Pite	Circular
Material como recebido	I - 0	II - 0
Austenitizado a 980°C	I - A	II - A
Austenitizado a 1050°C	I - B	II - B

### PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A superfície das amostras foram polidas mecanicamente em lixas de carbetto de sílica até 1000 mesh, lavadas com água destilada e secadas com ar quente. Para análise por microscopia ótica e eletrônica de varredura, a superfície das amostras foi polida até 1/4  $\mu\text{m}$  e em seguida atacadas com reagente Vilella's.

## ENSAIOS ELETROQUÍMICOS

Os ensaios eletroquímicos consistiram de medidas de polarização potenciodinâmica utilizando-se uma velocidade de varredura de 2mV/s. O arranjo experimental consistiu de uma célula padrão de 3 eletrodos. Para efeito de reprodutibilidade foram realizados 2 ensaios de polarização potenciodinâmica para cada condição estudada. O meio utilizado nestes ensaios foi uma solução de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1 N.

## CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

As amostras foram também caracterizadas microestruturalmente através de microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise de energia dispersiva (EDS) e medidas de dureza Vickers.

Através de microscopia eletrônica de varredura realizou-se uma estimativa do número médio de precipitados presentes por unidade de área para cada uma das condições testadas. As contagens foram realizadas em três regiões distintas escolhidas aleatoriamente em cada uma das amostras. Os valores obtidos através da estimativa do número de precipitados foram comparados com os valores obtidos por medidas de dureza com o intuito de se relacionar a dureza do material com a sua microestrutura.

## **RESULTADOS**

O material foi recebido na forma de duas lâminas. Cada uma das lâminas produziu um tipo de corrosão distinta. Em uma das lâminas constatou-se a presença de corrosão por pites na superfície, enquanto na outra, a corrosão se apresentou com um formato regular, aproximadamente circular e de grande diâmetro em relação à profundidade de ataque<sup>(3)</sup>. Através de microscopia ótica e eletrônica e de análise de EDS, constatou-se que as lâminas que apresentavam formas de corrosão diferenciada possuíam composição química similar. Entretanto, apresentavam variações significativas na microestrutura, como mostra a Fig. 1.

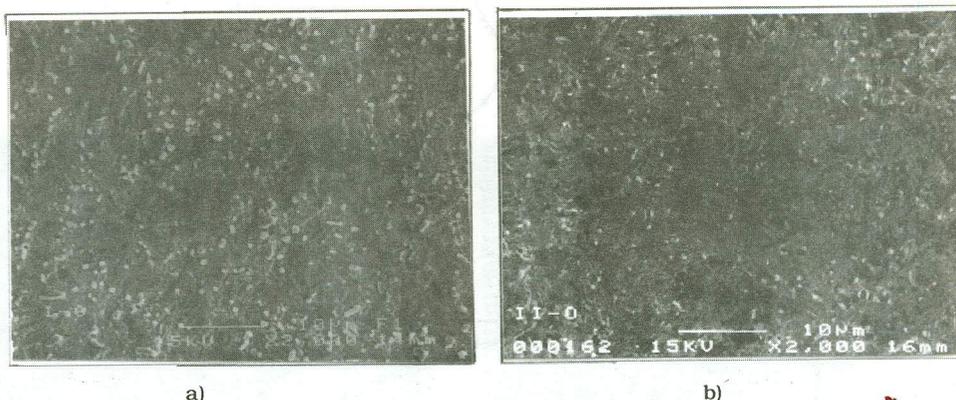


Figura 1 - Microestrutura da amostra que apresentou: a) corrosão por pites.  
b) corrosão com formato circular.

Pode-se notar na Fig. 1, correspondente ao material como recebido, uma diferença na quantidade e tamanho de precipitados. Para avaliar estas diferenças, foram feitas contagens de precipitados por unidade de área, confirmando-se as expectativas. O número médio de precipitados por unidade de área é indicado na tabela 3.

Tabela 3 - Número médio de precipitados por unidade de área para amostras do material como recebido.

Tipo de Corrosão	Nº Médio de Precipitados
Pite (I - 0)	531 ± 171
Circular (II - 0)	320 ± 13

Através da tabela 3, pode-se verificar uma variação acentuada no número de precipitados por unidade de área para a amostra que apresentou corrosão por pites, dependendo da região de observação.

Os ensaios de polarização potenciodinâmica comprovaram que as amostras provenientes de cada uma das lâminas apresentaram um comportamento diferente frente à corrosão, Fig. 2.

Pode-se notar através da Fig. 2 que na amostra onde se observou corrosão por pites a passivação ocorreu em potenciais mais altos (+170 mV) do que na amostra que apresentou corrosão com formato circular (-330 mV). Verifica-se também uma grande diferença na densidade de corrente na região passiva para as amostras de cada uma das lâminas. A amostra que sofreu corrosão por pites passivou em densidades de corrente da ordem de  $10^{-3}$  A/cm<sup>2</sup> enquanto a amostra que apresentou corrosão com formato circular, passivou em densidades de corrente da ordem de  $10^{-5}$  A/cm<sup>2</sup>. Entretanto, não se observou diferenças significativas no comportamento das amostras em condições próximas ao equilíbrio, como mostra a Fig. 2 e a tabela 4.

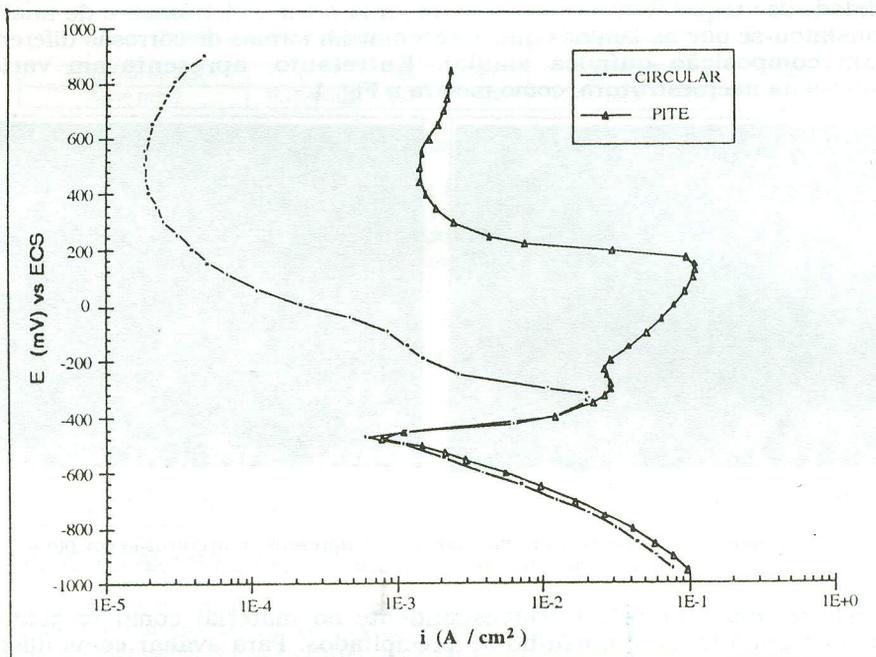


Figura 2 - Curvas de polarização potenciodinâmica das amostras de material como recebido.

Tabela 4 - Potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) e densidade de corrente de corrosão ( $i_{corr}$ ) correspondentes ao material como recebido.

*	I - 0	II - 0
$E_{corr}$ (mV)	-495	-492
$i_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	$8,6 \times 10^{-4}$	$7,5 \times 10^{-4}$

Os resultados obtidos indicaram que as variações microestruturais eram responsáveis pelo comportamento diferenciado das amostras frente à corrosão. Com o objetivo de avaliar a influência da microestrutura na resistência à corrosão do aço inoxidável martensítico AISI 420, foram realizados novos tratamentos térmicos, os quais são indicados na tabela 2.

Após a realização dos tratamentos térmicos a microestrutura foi analisada por MEV e medidas de dureza. Os resultados são indicados na Fig 3 e tabela 5.

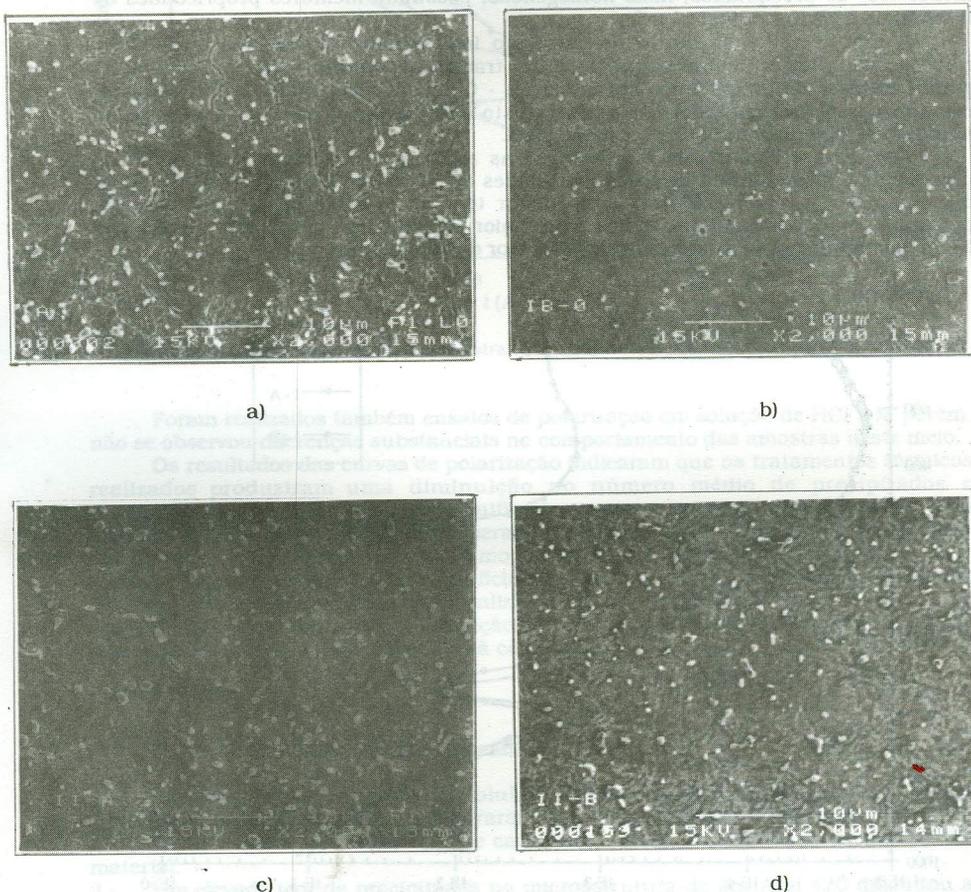


Figura 3 - Aspecto microestrutural das amostras: a) I-A; b) I-B; c) II-A; d) II-B.

Tabela 5 - Número médio de precipitados por unidade de área

Amostra	Nº médio de precipitados	Dureza Vickers
I - 0	531 ± 179	443
I - A	357 ± 26	553
I - B	124 ± 21	623
II - 0	320 ± 13	511
II - A	362 ± 43	558
II - B	200 ± 11	641

Pode-se notar na tabela 5 uma diminuição do número de precipitados e um aumento da dureza nas amostras que sofreram uma austenitização em temperaturas mais elevadas, como era esperado.

Os ensaios de polarização potenciodinâmica constataram que as amostras com menor teor de precipitados, mais homogêneas, possuíam melhores propriedades de resistência à corrosão, Figs. 4 e 5.

A Fig. 4 evidencia que o desempenho inadequado da amostra que sofreu corrosão por pites se deve a execução de um tratamento térmico desaconselhável. O grande número de precipitados na amostra I - 0 deve ter dificultado a formação da camada passiva na superfície da amostra. Isto é demonstrado na Fig. 4 através do aumento do potencial para ocorrer passivação.

As Figs 4 e 5 mostram também que as amostras com menor teor médio de precipitados apresentaram menores densidades de corrente na região passiva. Além disso, nota-se que as amostras com menor teor de precipitados passivaram em potenciais mais baixos, o que indica uma maior facilidade de passivação em relação às amostras que apresentaram um elevador teor de precipitados.

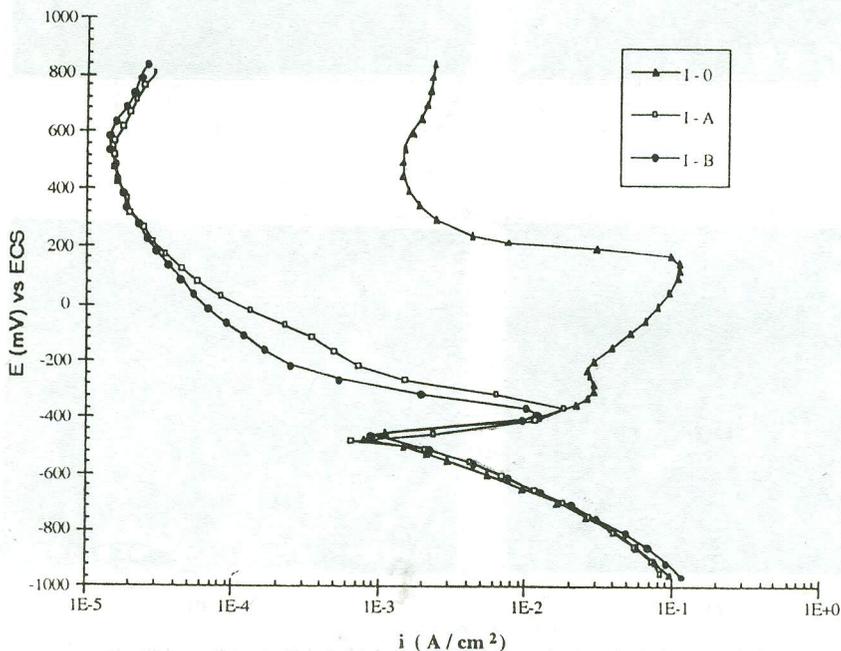


Figura 4 - Curvas de polarização das amostras que apresentaram corrosão por pites.

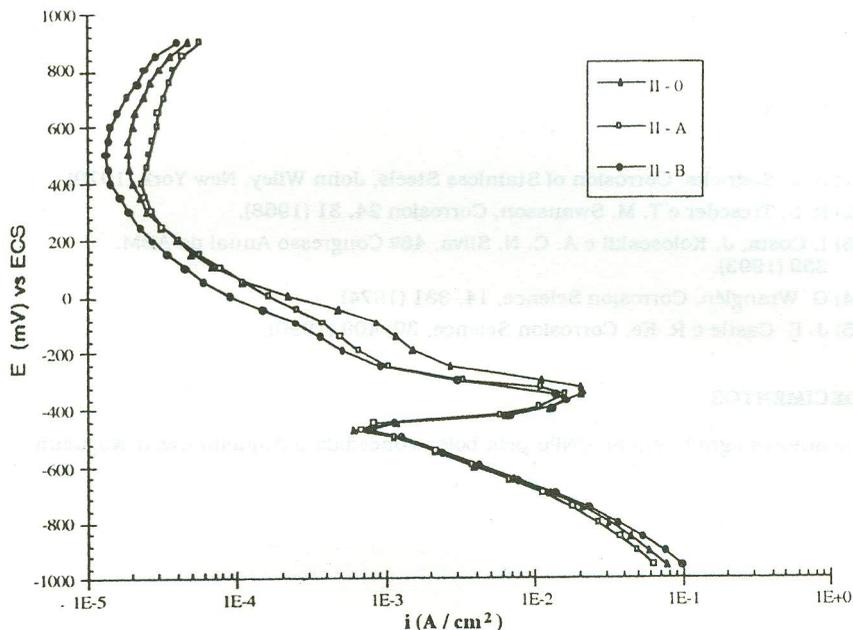


Figura 5 - Curvas de polarização das amostras que apresentaram corrosão com formato circular.

Foram realizados também ensaios de polarização em solução de HCl 1 M porém, não se observou diferenças substanciais no comportamento das amostras neste meio.

Os resultados das curvas de polarização indicaram que os tratamentos térmicos realizados produziram uma diminuição no número médio de precipitados e conseqüentemente uma melhoria significativa no comportamento de corrosão. Tais resultados comprovaram o que era esperado uma vez que a resistência a corrosão está diretamente relacionada com a homogeneidade da superfície exposta ao meio corrosivo. Heterogeneidades na superfície dificultam a formação da camada passiva e facilitam a nucleação de corrosão localizada<sup>(4,5)</sup>. No caso dos aços inoxidáveis, e do aço AISI 420 particularmente, a formação de carbonetos de cromo empobrece a matriz adjacente tornando-a mais suscetível à corrosão.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos comprovaram que:

- 1 - Os tratamentos térmicos de solubilização realizados, aumentaram a dureza (resistência mecânica) do aço e melhoraram seu comportamento frente à corrosão.
- 2 - Quanto maior a solubilização de carbonetos, melhor a resistência a corrosão do material.
- 3 - Um elevado teor de precipitados na microestrutura do aço AISI 420 dificultou a formação da camada passiva.
- 4 - A densidade de corrente na região passiva aumentou com o teor de precipitados.

## REFERÊNCIAS

- (1) A. J. Sedricks, Corrosion of Stainless Steels, John Wiley, New York (1979).
- (2) R. S. Treseder e T. M. Swansson, Corrosion 24, 31 (1968).
- (3) I. Costa, J. Kolososkii e A. C. N. Silva, 48º Congresso Anual da ABM, 359 (1993).
- (4) G. Wranglén, Corrosion Science, 14, 331 (1974).
- (5) J. E. Castle e R. Ke, Corrosion Science, 30, 409 (1990).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa concedida a Augusto César Nogueira e Silva.