

# AVALIAÇÃO DA CORROSÃO DE UM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO APÓS NITRETAÇÃO A GÁS

Corrosion evaluation of austenitic stainless steel gas nitreted

LEMOS, G. V. B.

DIAS, V. W.

MALFATTI, C. F.

KWIETNIEWSKI, C. E. F.

Recebimento: 26/03/2012 - Aceite: 31/10/2012

**RESUMO:** A nitretação é um processo de endurecimento superficial de metais e ligas usado principalmente para obter superfícies de alta dureza, melhorar a vida em fadiga, aumentar a resistência ao desgaste, proporcionando maior controle dimensional. Contudo, para alguns materiais como o aço inoxidável, por exemplo, esse processo pode comprometer a resistência à corrosão. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo a avaliação da resistência à corrosão de um aço inoxidável austenítico AISI 304 após Nitretação Gasosa com Amônia. A variação na resistência à corrosão foi verificada a partir do ensaio de polarização potenciodinâmica em NaCl 0,6 M. As amostras também foram avaliadas por Microscopia Eletrônica de Varredura. Os resultados obtidos mostraram que, para a temperatura e tempo empregados no processo de nitretação gasosa com Amônia, foi possível atingir dureza esperada. Além disso, foi observada uma diminuição da resistência à corrosão.

**Palavras chave:** Corrosão. Aço inoxidável AISI 304. Nitretação a gás.

**ABSTRACT:** The gas nitriding process is a superficial hardening process applied to metals and alloys aiming to achieve high surface hardness, improvement on fatigue performance, increasing wear resistance while providing a better dimensional control. However, in some materials, such as stainless steel, these processes can corrupt the corrosion resistance. In this context, the present work aims to evaluate the corrosion resistance of a stainless steel AISI 304 after Gas Nitriding with Ammonia. The variation in corrosion resistance was observed from the potentiodynamic polarization test in NaCl 0.6 M. The samples were also evaluated by Scanning Electron Microscopy. The results

showed that, for the time and temperature applied to the process of Gas Nitriding with Ammonia, it was possible to reach the expected hardness. It was also observed a reduction on corrosion resistance.

**Keywords:** Corrosion. Stainless steel AISI 304. Gas nitriding.

## Introdução

Observa-se, cada vez mais, o surgimento de diversas técnicas de endurecimento superficial e a grande maioria delas objetiva uma camada superficial mais dura, aumentando a resistência ao desgaste, comportamento em fadiga (devido à combinação de uma superfície dura e um núcleo tenaz) e resistência à corrosão em alguns casos (METALS, 1994). É o caso da Nitretação Gasosa com Amônia, que, aplicada em aços inoxidáveis, objetiva principalmente um aumento da resistência ao desgaste, mas, em certas circunstâncias, pode afetar negativamente a resistência à corrosão.

O fenômeno da corrosão é muito estudado porque atinge uma imensa variedade de condições em que pode ocorrer e também um grande número de formas em que aparece. Estima-se que o custo com o combate à corrosão gire em torno de 5 % do PIB (Produto Interno Bruto) de uma nação, sendo que este número tende a aumentar com o aumento do nível de industrialização.

Existem diversos tipos de corrosão, mas geralmente eles se dividem em dois grandes grupos: um ataque localizado preferencial ou a degradação generalizada do material (GENTIL, 2003; KRAUSS, 1990; METALS 1987).

Através de uma combinação de fatores como, por exemplo, o meio no qual vai ser utilizado o equipamento e o tipo de material (geralmente metais), surgem condições favoráveis ao aparecimento da corrosão e posterior perda de outras determinadas propriedades. Então, para um aço inoxidável

AISI 304, tratado termicamente em faixa de temperatura e tempo críticos, foram realizados ensaios de corrosão, objetivando principalmente analisar o comprometimento da resistência à corrosão.

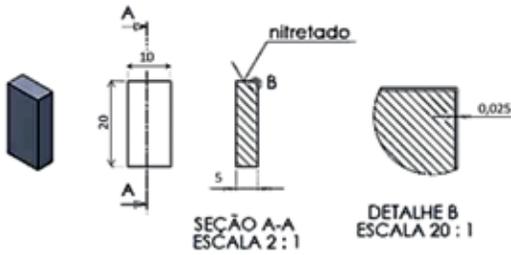
## Materiais e métodos

O componente mostrado na Figura 1 é o chamado eixo de articulação e é uma aplicação prática da nitretação gasosa em aço inoxidável austenítico AISI 304. Portanto, para reproduzir de modo similar o mesmo componente, foram fabricados corpos de prova em menor escala, conforme é observado no desenho esquemático da Figura 2. As amostras foram preparadas (lixadas e polidas) de acordo com os princípios básicos de metalografia. Por fim, este material foi tratado termicamente (nitretação a gás com Amônia) com os mesmos parâmetros de processo que o original (iguais condições de temperatura, tempo e dissociação de amônia dentro do forno poço).

**Figura 1** - Eixo de articulação de aço AISI 304.



Figura 2 - Dimensões dos corpos de prova.



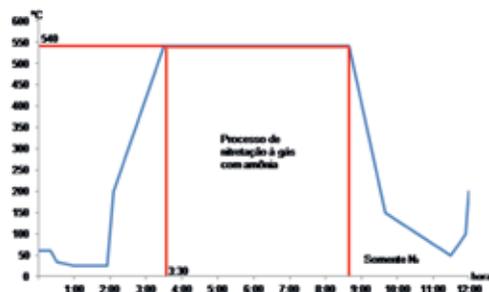
A composição química de cada um dos principais elementos que compõem o aço inoxidável estudado, bem como as propriedades mecânicas do material é mostrada na Tabela 1 (disponibilizada pelo fornecedor do material).

Tabela 1 – Composição química (% em peso) para o aço inox AISI 304 e suas propriedades mecânicas

Composição Química (% em peso)										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	N
0,030	0,490	1,840	0,045	0,025	18,300	8,300	0,390	0,560	0,003	0,078
Propriedades Mecânicas										
Dureza (HB)	Limite de Resistência (MPa)		Limite de Escoamento (MPa)		Alongamento (%)		Estricção (%)			
165	560		265		62		72			

O tratamento térmico teve duração total de 11h e 30 min, sendo que o tempo efetivo em temperatura de tratamento (540 °C) foi de 5h e 10 min. Foram necessárias 3h para o aquecimento do forno e cerca de 3h e 20 min para o seu resfriamento posterior ao tratamento, com auxílio de uma atmosfera de N<sub>2</sub>. Este processo é mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Tratamento térmico de nitretação gasosa com amônia.



Para os ensaios de corrosão dos corpos de prova, foi montada a seguinte célula: com eletrodo de trabalho (correspondendo à peça

a ser analisada), eletrodo de referência (neste caso, foi utilizado eletrodo de calomelano saturado) e contra-eletrodo (fio de platina). As curvas de polarização foram alcançadas com uma variação do potencial de 400 mV abaixo do potencial de circuito aberto até 600 mV acima deste potencial com velocidade de varredura de 1 mV.s<sup>-1</sup> em uma solução de NaCl 0,6 M. O equipamento empregado para este ensaio de corrosão foi um potenciostato da marca AUTOLAB PGSTAT 302. Os dados foram simulados a partir do software GPES.

A caracterização do tipo de corrosão predominante para as duas condições de amostras selecionadas (após os ensaios de polarização) foi realizada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com o equipamento Shimadzu, modelo Superscan-SSX 550.

Os ensaios e perfis de dureza foram obtidos com o auxílio de um microdurômetro Vickers, modelo 5114 da marca Buehler, utilizando uma carga de 5 kg. Foram realizadas dez

medições, partindo da superfície em direção ao núcleo.

## Resultados e discussões

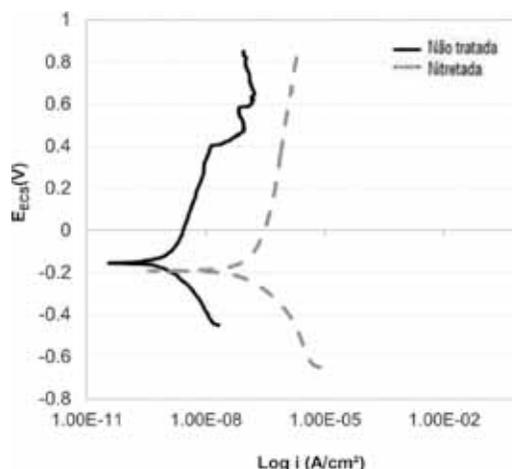
O eixo analisado obteve uma dureza superficial de 1100 HV e uma profundidade de camada de 0,025 mm (Figura 4). Também foi possível notar um pico de dureza para a posição de medição 4, onde, provavelmente, este valor é fruto de alguma microestrutura logo abaixo da camada nitretada. Dessa maneira, através de uma análise desses resultados, nota-se um considerável aumento na dureza superficial, levando em conta que a dureza superficial inicial, de acordo com o certificado de qualidade da empresa, era de aproximadamente 166HV.

Figura 4 - Perfil de dureza HV5.



A Figura 5 mostra as curvas de polarização obtidas para as amostras analisadas. Foram realizadas as extrapolações de Tafel para identificar os potenciais de corrosão e correntes de corrosão e os valores de resistência de polarização das amostras, e estes dados estão apresentados na Tabela 2. A partir desses dados, é possível avaliar a resistência à corrosão do aço inoxidável AISI 304 nitretado, comparativamente ao aço inoxidável AISI 304 não nitretado.

Figura 5 - Comparação das curvas de polarização de um aço inox 304 sem tratamento térmico e um nitretado.



Como pode ser observado (Tabela 2), a amostra que não sofreu o tratamento térmico apresentou um valor menor de  $I_{corr}$  ( $1,82E-9$  A/cm<sup>2</sup>) e uma maior resistência à polarização ( $5,36E6$  Ohm) comparativamente à amostra nitretada, a qual alcançou uma corrente de corrosão bem maior ( $2,18E-7$  A/cm<sup>2</sup>) e uma  $R_p$  menor ( $1,16E5$  Ohm).

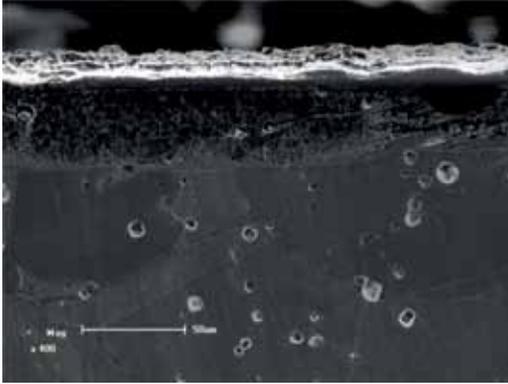
Tabela 2 - Dados obtidos a partir da simulação das retas de Tafel para as curvas de polarização mostradas na Figura 4

	Amostra Não Tratada	Amostra Nitretada
$I_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	1.82E-9	2.18E-7
$E_{corr}$ (V)	-157 mV	-191 mV
$R_p$ (Ohm)	5.36E6	1.16E5

As análises com MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) mostradas nas Figuras 6, 7, 8 e 9 serviram para visualização da camada nitretada, zona de difusão, núcleo e algumas características associadas à corrosão do material analisado. Em todas as análises, nota-se a presença de pites ou pequenos defeitos superficiais (em alguns casos, originados antes mesmo dos ensaios de corrosão pela maneira a qual foram preparadas as

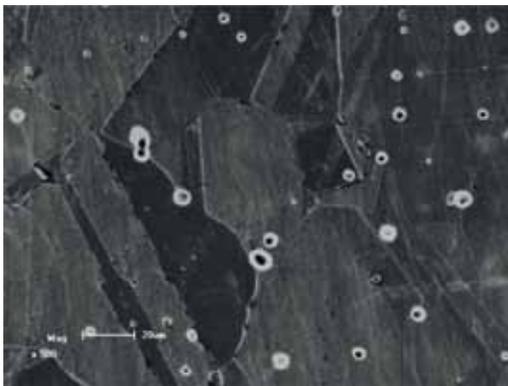
amostras) que podem comprometer a vida útil do material em condições reais de serviço.

**Figura 6** – Corte transversal da amostra antes dos ensaios de corrosão. Camada branca, zona de difusão, núcleo e alguns defeitos devido ao preparo.



A Figura 7 mostra características particulares com respeito à microestrutura dos aços inoxidáveis austeníticos, que consiste basicamente em grãos equiaxiais de austenita com maclas de recozimento (KRAUSS, 1990). Algumas fases prejudiciais podem se formar nestes aços por segregação durante a solidificação, e assim, afetar negativamente propriedades como resistência à corrosão.

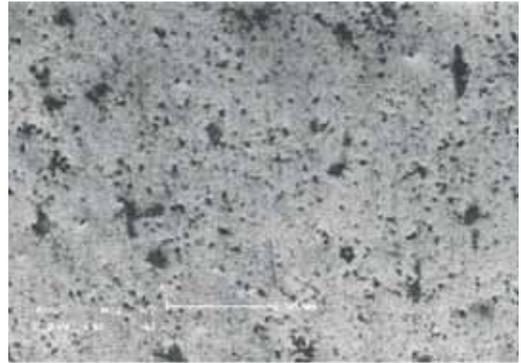
**Figura 7** – Corte transversal da amostra antes dos ensaios de corrosão. Maclas de recozimento no núcleo e alguns defeitos oriundos do preparo.



Com respeito à caracterização do tipo de corrosão predominante, é possível perceber aspectos particulares para amostras que não

sofreram tratamento térmico e também para amostras nitretadas. Ambos os resultados mostram a predominância da corrosão por pites, de acordo com as Figuras 8 e 9, porém foi possível constatar um ataque mais intenso para a amostra nitretada (Figura 9).

**Figura 8** - Imagem obtida no MEV para a amostra não nitretada após ensaio de corrosão.



**Figura 9** - Imagem obtida no MEV para a amostra nitretada após ensaio de corrosão.

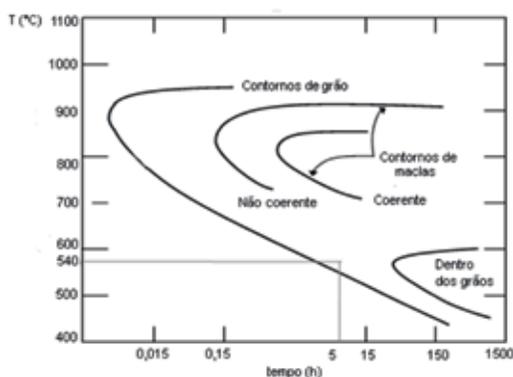


Ainda, acredita-se que o tratamento térmico nessas condições permite a formação de pequenas partículas de precipitado de carboneto de Cromo ( $Cr_{23}C_6$ ) por reação entre o cromo e carbono no aço inoxidável. Essas partículas se formam ao longo das fronteiras de grãos. Tanto o cromo quanto o carbono acabam se difundindo para os limites de grãos para formar os precipitados, o que deixa um cromo empobrecido na zona adjacente ao contorno de grão. Por consequência disso, a

região do contorno de grão torna-se altamente suscetível à corrosão (CORREA, 2007).

Como o aço inoxidável AISI 304 apresentou 0,03%C, de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante e a análise mostrada na Figura 6, o fenômeno da sensitização propriamente dito também deve ocorrer somando-se ao fato já constatado neste trabalho (corrosão por pites).

**Figura 10** - Diagrama TTT para precipitação de carbonetos com temperatura e tempo de processo (adaptado de KRAUSS, 1990)



## Conclusões

O processo de nitretação empregado permitiu aumentar a dureza superficial da amostra de 166HV para 1100HV (LEMOS, 2009).

Contudo, os ensaios de polarização potenciodinâmica mostraram que a corrosão mais severa foi observada para o aço inoxidável AISI 304 nitretado, comparativamente àquele que não sofreu nitretação (LEMOS, 2009).

Através da Microscopia Eletrônica de Varredura, foi possível caracterizar a predominância da corrosão por pites que se comportou de maneira mais agressiva para as amostras tratadas termicamente (nitretadas) (LEMOS, 2009).

## AUTORES

Guilherme Vieira Braga Lemos – Mestre em Engenharia pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – PPGE3M – UFRGS, atualmente é professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus de Erechim.

Vinicius Waechter Dias – Engenheiro Metalúrgico formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, atualmente é aluno de mestrado do PPGE3M – Porto Alegre.

Célia de Fraga Malfatti – Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e pela Université Paul Sabatier, atualmente é professora na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.

Carlos Eduardo Fortis Kwietniewski - Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade de Birmingham. Atualmente, é professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Metalurgia – Porto Alegre.

## REFERÊNCIAS

CALLISTER, WILLIAM D., JR. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CORRÊA, M. B. **Avaliação da Susceptibilidade a Sensitização de Juntas Soldadas do Aço AISI 317L**. Trabalho de Diplomação em Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

KRAUSS G. **Steels: Heat Treatment and Processing Principles**. Materials Park, Ohio: ASM International, 1990.

LEMOIS, G. V. B. **Avaliação da Corrosão do Aço AISI 304 Endurecido Superficialmente por Nitretação a gás**. Trabalho de Diplomação em Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2009.

METALS HANDBOOK. **Corrosion**. 9. ed. p. 547-554, 1987.

METALS HANDBOOK. **Heat Treating**. Materials Park, Ohio: ASM International, 1994.

