

ESTUDO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE CAMADAS DE AUSTENITA EXPANDIDA FORMADAS EM AÇO INOXIDÁVEL AISI 316L NITRETADO A PLASMA¹

Evelyn Batista de Bôrtol²
Adonias Franco Ribeiro Júnior³

Resumo

Neste trabalho foi estudada a resistência ao desgaste abrasivo de camadas nitretadas de diferentes espessuras produzidas em aço inoxidável austenítico AISI 316L. Os tratamentos termoquímicos de nitretação a plasma foram realizados usando misturas gasosas de N₂ e H₂ na proporção 3:1, na temperatura de 430°C, por tempos variáveis de 2 horas, 4 horas, 6 horas e 8 horas. A resistência ao desgaste abrasivo do aço nitretado foi caracterizada por ensaio de microabrasão do tipo "esfera livre" e a espessura das camadas determinada por microscopia óptica. Verificou-se que em todas as condições foram produzidas camadas nitretadas constituídas de austenita expandida (γ_N), com espessuras variando de 1,7 μm a 9,5 μm . A resistência ao desgaste tende a aumentar com o crescimento da camada de γ_N até em torno de 4 horas de tratamento. Para tempos mais longos, a resistência ao desgaste tende a cair, indicando a possível formação de fases na estrutura da camada nitretada prejudiciais à resistência a abrasão.

Palavras-chave: Nitretação a plasma; Aço inoxidável 316L; Austenita expandida; Desgaste microabrasivo.

STUDY OF THE WEAR RESISTANCE OF S PHASE LAYERS FORMED ON PLASMA NITRIDED AISI 316L STAINLESS STEEL

Abstract

In this work, the abrasive wear resistance of nitrided layers of different thicknesses produced in AISI 316L austenitic stainless steel was studied. The thermochemical treatment of plasma nitriding was carried out using gaseous mixtures of N₂ and H₂ in ratio 3:1, temperature of 430°C for times of 2 h, 4 h, 6 h and 8 h. The abrasive wear resistance of nitride steel was characterized by micro-abrasion wear testing and the layer thickness determined by optical microscopy. It was found that all conditions allow produce nitrided layers composed of expanded austenite (γ_N), with thicknesses ranging from 1,7 μm to 9,5 μm . The abrasion resistance tends to increase with the growth of γ_N layers to about 4 h. For longer times, the wear resistance tends to decrease, indicating the possible formation of phases in the structure of the nitrided layers harmful abrasion resistance.

Key words: Plasma nitriding; 316L stainless steel; S phase; Microabrasive wear.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. Metalúrgico e de Materiais, Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, IFES, Brasil.

³ Eng. Metalúrgico, Professor Doutor em Engenharia Metalúrgica, IFES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis da série 300 são muito utilizados desde o início do século XX, pois apresentam resistência mecânica adequada, maior módulo elástico, rigidez e boa resistência à corrosão. O aço inoxidável austenítico AISI 316L é empregado em componentes ou peças de dispositivos e equipamentos usados em diversos segmentos da indústria (química, petróleo e gás, agrícola, alimentícia, farmacêutica e nuclear). Estes aços são utilizados em aplicações onde é exigida uma boa resistência à corrosão.

Vários trabalhos mostram que para determinadas aplicações um dos fatores responsáveis pelo fim de vida de componentes ou peças desse material não está associado à corrosão por si só, mas a ação do desgaste abrasivo que se inicia na superfície das peças.⁽¹⁻³⁾ O aumento da resistência ao desgaste, sem prejuízo a resistência à corrosão, pode ser obtido pelo aumento da dureza superficial mediante tratamento termoquímico de nitretação a plasma, através do qual é possível produzir componentes com alta dureza superficial e de núcleo tenaz.⁽²⁻⁶⁾

O uso de temperaturas de nitretação abaixo de 450°C torna possível a obtenção de uma camada nitretada com dureza em torno de 1.500 HV, mantendo a resistência à corrosão do aço inoxidável. Obtendo assim uma camada constituída por uma fase denominada na literatura fase S ou austenita expandida (γ_N). Ela é uma solução sólida metaestável supersaturada em nitrogênio e apresenta estrutura triclinica.⁽⁷⁾ O seu reticulado se encontra expandido em relação a austenita que não contém nitrogênio. O intersticial N introduz grandes tensões residuais de compressão associadas a defeitos de falhas de empilhamento, o que promove o endurecimento sem que ocorra uma perda de resistência à corrosão.^(5,6)

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a resistência ao desgaste microabrasivo do aço inoxidável austenítico AISI 316L nitretado na temperatura de 430°C por diferentes tempos, sob uma atmosfera de 75% de N₂ e 25% de H₂.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O aço inoxidável AISI 316L foi adquirido na forma de barras cilíndricas com 32 mm de diâmetro e no estado solubilizado, com a composição química apresentada na Tabela 1. As amostras foram cortadas e retificadas na forma de discos obtendo uma espessura final de, aproximadamente, 4 mm e em seguida as amostras foram preparadas metalograficamente.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável AISI 316L (% em peso)

Cr	Ni	Mo	Cu	Nb	Mn	Si	C	P	S
17,9	11,5	2,00	0,18	0,05	1,5	0,3	0,02	0,02	0,01

O tratamento termoquímico de nitretação foi realizado em um reator de nitretação a plasma pulsado da marca Thor NP SDS constituído de uma câmara cilíndrica (70 cm de altura por 50 cm de diâmetro) de aço inoxidável AISI 304L, sistema de vácuo, sistema de alimentação para os gases utilizados no tratamento, dois eletrodos (sendo as paredes da câmara o anodo e o porta amostra o catodo - disco de 22 cm

de diâmetro por 5 mm de espessura), fonte de alta tensão (alimentação elétrica), frequência de 4 KHz, além de um termopar, para medir a temperatura, e um medidor de pressão.



Figura 1. Equipamento de nitretação a plasma utilizado neste trabalho.

As amostras foram tratadas em uma atmosfera de 75% de nitrogênio (N₂) e 25% de hidrogênio (H₂). A temperatura de nitretação fixada em 430°C, com tempo variáveis de 2 horas, 4 horas, 6 horas e 8 horas.

Para os testes de desgaste microabrasivo foi utilizado um equipamento de microabrasão do tipo “esfera livre”, da marca *CSM Instruments*, pertencente ao Laboratório de Engenharia de Superfícies do IFES. O coeficiente de desgaste (K) foi calculado usando a equação de Archard (Equação 1).⁽⁸⁾

$$K = \frac{V}{L.F_N} = \frac{\pi.b^4}{32\phi.L.F_N} \quad (1)$$

Onde V representa o volume desgastado; ϕ é o diâmetro da esfera de ensaio; L é a distância deslizada; F_N é a força normal aplicada (neste tipo de ensaio é ajustada pelo peso da esfera e a inclinação da amostra); e “b” representa o diâmetro da calota de desgaste.

O abrasivo utilizado foi uma lama de carbeto de silício (SiC) com concentração de 0,75 g/cm³ (75 g de SiC em 100 ml de água destilada) e vazão de uma gota a cada três segundos. A esfera utilizada no ensaio possui um diâmetro de 25,4 mm e a carga de ensaio aplicada foi de, aproximadamente, 0,28 N.

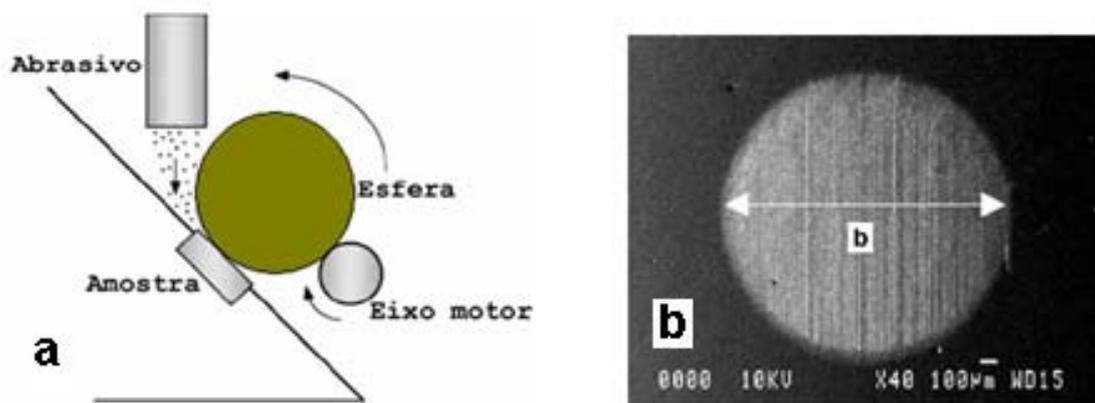


Figura 2. (a) Esquema do equipamento de ensaio de desgaste microabrasivo por esfera livre; e (b) vista de uma cratera de desgaste com diâmetro “b”.⁽⁹⁾

Foi utilizada microscopia eletrônica de varredura para medidas de espessura das camadas e microscopia óptica para a análise da microestrutura das mesmas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra as camadas nitretadas a plasma a 430°C com uma mistura gasosa contendo 75%N₂ e 25%H₂, variando-se o tempo de nitretação. Observa-se uma camada de austenita expandida (γ_N) fina, homogênea e contínua.

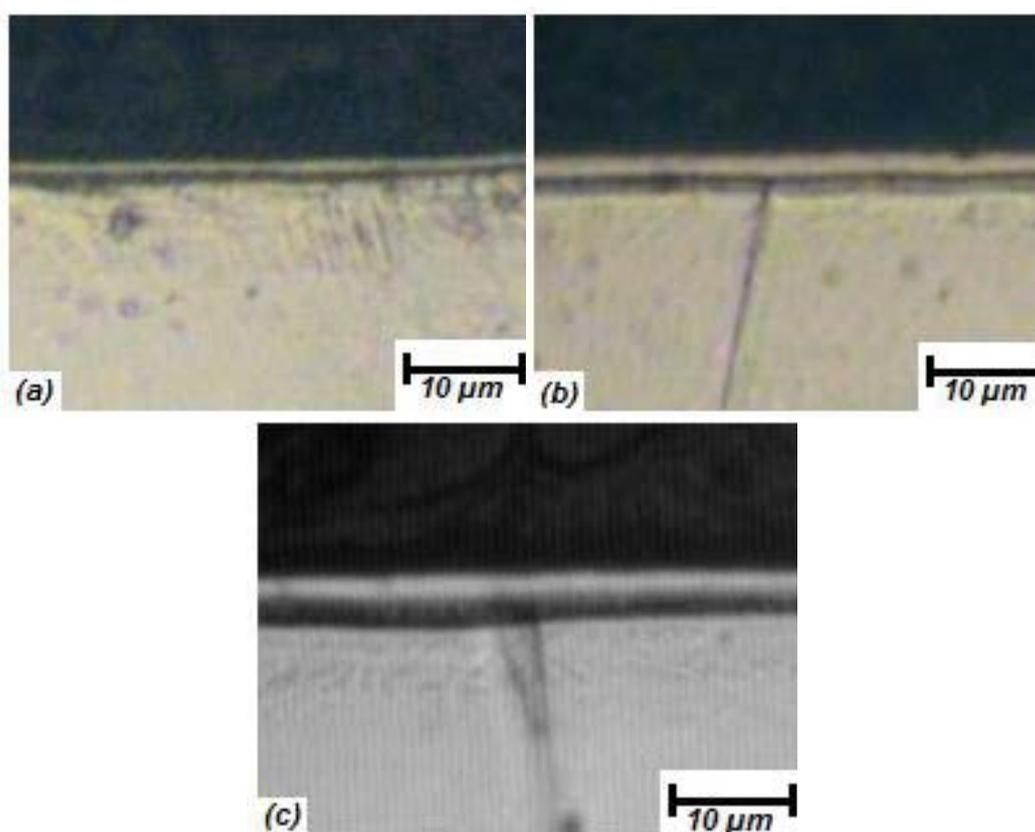


Figura 3. Microestrutura das camadas nitretadas de (a) 2 horas; (b) 4 horas; e (c) 6 horas.

A Tabela 2 apresenta a espessura das camadas nitretadas em função do tempo de nitretação. Nota-se que com o aumento do tempo de nitretação tem-se o aumento da espessura da camada.

Tabela 2. Relação do tempo de nitretação com a espessura da camada nitretada

Tempo de nitretação (horas)	2	4	6	8
Espessura da camada (µm)	1,7	3,0	6,7	9,5

A Figura 4 mostra o coeficiente de desgaste microabrasivo em função do tempo de nitretação. Para as mesmas condições (75%N₂ e 25%H₂ e temperatura de 430°C), percebe-se que com o aumento do tempo de tratamento até 4 horas, ocorre uma melhoria crescente na resistência ao desgaste microabrasivo do material (diminuição no coeficiente de desgaste). A máxima resistência ao desgaste é obtida quando o tratamento é realizado com tempo de 4 horas, ou seja, acréscimos no tempo de nitretação acima de 4 horas tendem a diminuir a resistência ao desgaste.

O aumento da resistência ao desgaste até 4 horas se deve ao espessamento da camada de austenita expandida. Para tempos mais longos, a diminuição da resistência ao desgaste em detrimento do aumento de espessura provavelmente está associada ao espessamento da camada preta (Figura 3), que provavelmente é constituída das fases ferrita (α) e nitreto de cromo (CrN).

No entanto, todas as camadas nitretadas apresentaram resistência ao desgaste abrasivo superior ao do aço não nitretado (Figura 4).

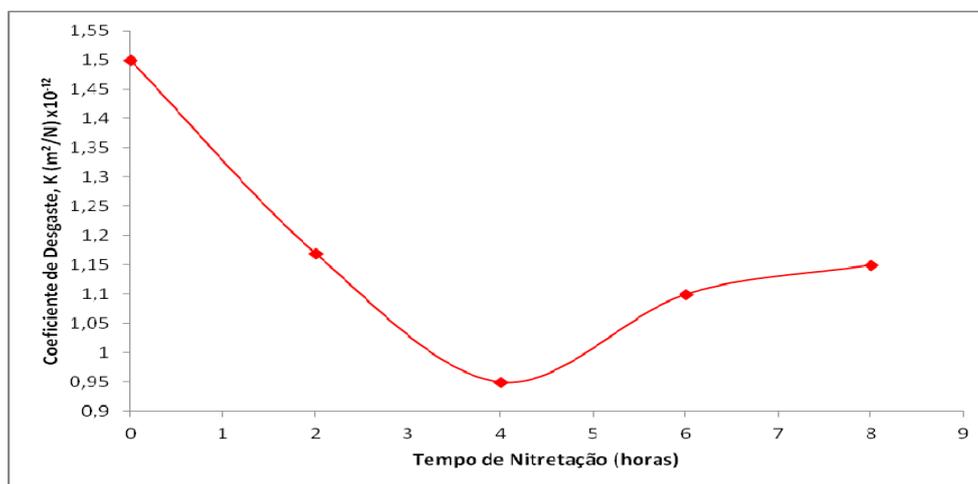


Figura 4. Coeficiente de desgaste microabrasivo em função do tempo de nitretação das camadas nitretadas obtidas a 430°C, com 75%N₂ e 25%H₂.

5 CONCLUSÃO

O aço AISI 316 nitretado na temperatura de 430°C, sob atmosfera de 75%N₂ + 25%H₂, apresenta a máxima resistência ao desgaste abrasivo quando nitretado por tempos em torno de 4 h. Nessa condição é gerada uma camada nitretada de espessura de aproximadamente 3 μ m constituída por austenita expandida (γ_N). O coeficiente de desgaste da condição otimizada está em torno de $0,95 \times 10^{-12} m^2/N$.

Agradecimentos

A autora Evelyn Batista de Bôrtoli agradece à Fapes - Fundo de Amparo a Pesquisa do Espírito Santo - pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

- 1 LIANG, W. et al. The wear and corrosion properties of stainless steel nitride by low-pressure plasma-arc source ion nitriding at low temperatures. *Surface and Coatings Technology*, v. 130, 304-308, 2000.
- 2 TSCHIPTSCHIN, A. P. et al. Estrutura e propriedades do aço inoxidável austenítico AISI 316L Grau ASTM F138 nitretado sob plasma à baixa temperatura. *Revista Escola de Minas*, v. 63, n. 1, 137-141, 2010.
- 3 LI, C. X.; BELL, T. Sliding wear properties of active screen plasma nitrided 316 austenitic stainless steel. *Wear*, 256, 1144–1152, 2004.
- 4 BELL, T. Surface engineering of austenitic stainless steel. *Surface Engineering*, v. 18, n. 6, 415-421, 2002.

- 5 PICARD, S. et al. Corrosion behavior, microhardness and surface characterization of low energy, high current ion implanted austenitic stainless steel. *Materials Science and Engineering A*, v. 303, p. 163-172, 2001.iii
- 6 CHENG, Z. et al. Low temperature plasma nitrocarburizing os AISI 316 austenitic stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, p. 1-6, 2004.
- 7 VENKATESAN, K. et al. Influence of chromium content on corrosion of plasma-nitrided steels. *Corrosion*, v. 53, p.507-515,1997.
- 8 COZZA, R. C. Estudo do comportamento do coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste micro-abrasivo. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.
- 9 STACHOWIAK, G.B.; STACHOWIAK, G.W. Wear mechanism in ball-cratering tets with large abrasive particles. *Wear*, v.256, pp. 600-607, 2004.