

# INOX: Engenharia de Superfície

## Caracterização de camadas nitrocementadas por plasma produzidas no aço inoxidável austenítico AISI 316L

### Characterization of plasma nitrocarburized layers produced on AISI 316L austenitic stainless steel

#### Resumo

A dureza e, conseqüentemente, a resistência ao desgaste dos aços inoxidáveis austeníticos podem ser acentuadamente aumentadas, sem perdas na resistência à corrosão, com a produção de camadas superficiais pelo tratamento de nitrocementação por plasma. Nesse trabalho, foram nitrocementadas por plasma, na temperatura de 450°C, amostras do aço AISI 316L. As camadas obtidas foram caracterizadas por meio de ensaios micrográficos, de microdureza e de microdesgaste. A camada produzida constituiu-se de duas regiões, sendo a mais externa constituída de nitrocarbonetos de cromo e, abaixo dela, verificou-se a presença de austenita expandida, rica em nitrogênio, com dureza próxima a 850HV. A espessura média total da camada foi de, aproximadamente, 40µm. Sua resistência ao desgaste foi muito superior à do substrato.

**Palavras-chave:** Plasma, nitrocementação, aço inoxidável, AISI 316L.

#### Abstract

*Hardness and consequently wear resistance of austenitic stainless steel can be highly increased, without losing corrosion resistance, by plasma nitrocarburizing surface treatment. In this re-search, an AISI 316L stainless steel was plasma nitrocarburized at 450°C, and the obtained layers were characterized by optical microscopy, microhardness and micro-wear tests. It was verified that the layer is composed of chromium nitrides precipitates and beneath them, a nitrogen rich expanded austenite, with hardness around 850HV. The total average thickness of the layer was about 40µm and presented good uniformity. The wear resistance of the layer was much higher than that of the substrate.*

**Keywords:** Plasma, nitrocarburizing, stainless steel, AISI 316L.

#### 1. Introdução

O uso de recobrimentos na engenharia de superfícies constituiu-se num campo em rápida expansão, devido à necessidade de produtos com alta durabilidade, eficiência e baixo impacto ambiental (Gee et al., 2005).

Os aços inoxidáveis austeníticos constituem a família mais importante dos aços inoxidáveis, em termos de número de tipos e aplicações. Esses aços apresentam excelente resistência à corrosão e à oxidação, porém suas características de desgaste e de dureza são, relativamente, baixas. Vários trabalhos têm demonstrado

**Luiz Carlos Casteletti**

Escola de Engenharia de São Carlos  
EESC-USP, São Carlos - SP  
E-mail: castelet@sc.usp.br

**Frederico Augusto Pires  
Fernandes**

Escola de Engenharia de São Carlos  
EESC-USP, São Carlos - SP  
E-mail: codoico@gmail.com

**Amadeu Lombardi-Neto**

Aeroalccol - SP  
E-mail: amadeuln@gmail.com

**Carlos Alberto Picon**

Faculdade de Engenharia de Ilha  
Solteira  
FEIS-UNESP, Ilha Solteira - SP  
E-mail: capicone@dfq.feis.unesp.br

**Germano Tremiliosi-Filho**

Instituto de Química de São Carlos  
IQSC-USP, São Carlos - SP  
E-mail: germano@iqsc.usp.br

que a nitretação e a nitrocementação por plasma, em temperaturas relativamente baixas (abaixo de 500°C), resultam na obtenção de uma camada superficial, responsável pelo aumento da dureza e da resistência ao desgaste, sem diminuição da resistência à corrosão (Zhu et al., 2000; Menthe et al., 2000; Rivière et al., 2007; Nosei et al., 2004).

Nesses tratamentos, uma expansão de rede CFC é observada, resultando em uma fase com nitrogênio em solução sólida, denominada de “fase S”, “fase m”,  $\gamma_N$  ou austenita expandida (Mandl & Rauschenbach, 2002).

A expansão do reticulado dessa camada resulta em um campo de tensão residual compressivo considerável. A melhoria, nas propriedades, principalmente dureza e tenacidade à fratura, é atribuída a esse aumento no nível de tensão residual (Hoeft; Latella; Short, 2005).

O presente trabalho tem como objetivo verificar a morfologia de camadas produzidas por meio da nitrocementação por plasma e avaliar o desempenho tribológico das referidas camadas, empregando-se testes de deslizamento a seco.

## 2. Material e métodos

Amostras do aço inoxidável austenítico AISI 316L foram, inicialmente, preparadas segundo procedimentos convencionais de lixamento e polimento. Foi realizado um procedimento de *sputtering* com argônio a uma temperatura de 400°C/1h, para remoção da camada de óxido de cromo protetora. A nitrocementação por plasma foi realizada a 450°C/10h, em uma câmara com atmosfera composta por 80% de H<sub>2</sub>, 18% de N<sub>2</sub> e 2% de CH<sub>4</sub>, a uma pressão de 4mBar, com corrente contínua.

Foi realizado um exame metalográfico da secção transversal da amostra, para se avaliarem as camadas de nitrocarbonetos, zona de difusão e interface camada/substrato. Medidas de microdureza *Vickers* foram efetuadas para obtenção do perfil dessa propriedade ao longo da secção da camada obtida.

Os testes de microdesgaste foram realizados em um equipamento do tipo esfera presa, empregando esferas de aço 52100, com uma rotação de 500rpm e diâmetro de 1 polegada. A carga aplicada, no ensaio, foi de 2,45N, sendo que foram obtidas calotas com tempos de ensaio de 5; 10; 15 e 20min, sob deslizamento a seco.

As calotas foram fotografadas com um microscópio óptico, para posterior medição dos diâmetros das mesmas. A análise dos resultados foi realizada plotando a perda de massa (volume) em função da distância percorrida em metros. O volume removido (*V*) foi obtido de acordo com a seguinte formulação:

$$V = \pi \cdot d^4 / 64 \cdot R \quad (1)$$

em que *R* é o raio da esfera e *d* é o diâmetro da calota.

Posteriormente a taxa de desgaste (*K*) foi obtida, para o material com e sem o tratamento de nitrocementação, de acordo com:

$$K = (1/S \cdot N) \cdot (\pi \cdot d^4 / 64 \cdot R) \quad (2)$$

em que *S* é a distância percorrida e *N* é a carga aplicada.

## 3. Resultados e discussão

Na Figura 1, apresenta-se uma secção transversal da camada nitrocementada. A espessura média da camada foi de 40µm, com boa homogeneidade ao longo da secção. A camada obtida é composta de nitrocarbonetos de cromo e austenita expandida (Fase S), conforme observado, anteriormente, por de Oliveira (2006).

A presença de nitrocarbonetos, principalmente de cromo, ocorre na parte mais externa da camada, indicando que, inicialmente, ocorre a formação da Fase S.

A Figura 2 apresenta o perfil de microdureza *Vickers* da camada nitrocementada.

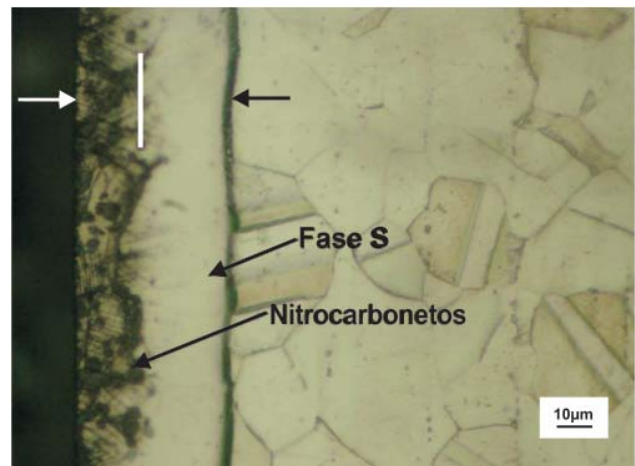


Figura 1 - Microscopia óptica evidenciando a camada nitrocementada.

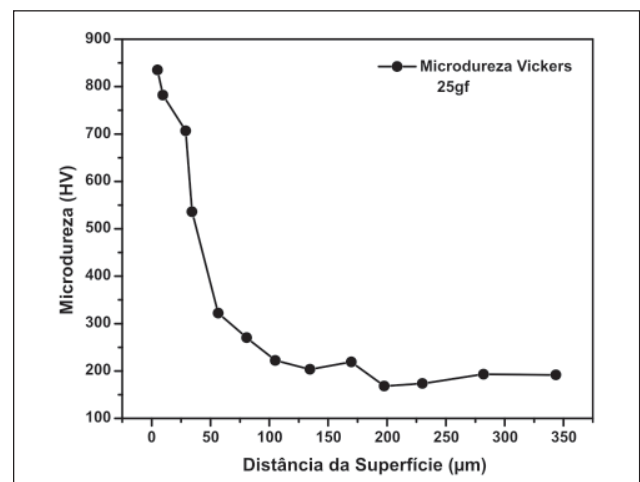


Figura 2 - Perfil de microdureza Vickers para a camada nitrocementada.

Com essas medidas verifica-se a grande elevação na dureza, a qual passou de 200HV (dureza do substrato) para valores próximos a 850HV.

Na Figura 3, apresenta-se a evolução do desgaste no aço 316L com e sem nitrocimentação, por meio das calotas de microdesgaste.

As imagens, em escalas diferentes, mostram, claramente, a diferença de desempenho entre o material sem tratamento (Figura 3a; 3b), com o tratado por plasma (Figura 3c; 3d), que apresentou menor perda de material e, conseqüentemente, maior resistência ao desgaste. Nos interiores das calotas, podem ser observadas regiões típicas de desgaste abrasivo com riscamento.

Na Figura 4a, são apresentadas as curvas de microdesgaste referentes ao substrato e ao aço nitrocementado. Verifica-se a grande efetividade da camada produzida no tratamento de nitrocimentação no aumento da resistência ao desgaste do aço AISI 316L.

Verifica-se a grande efetividade da camada no aumento da resistência ao desgaste do aço inoxidável AISI 316L. No início do ensaio, o desgaste da camada foi 3 vezes inferior ao do substrato e, ao final do ensaio, esse valor foi 7 vezes menor.

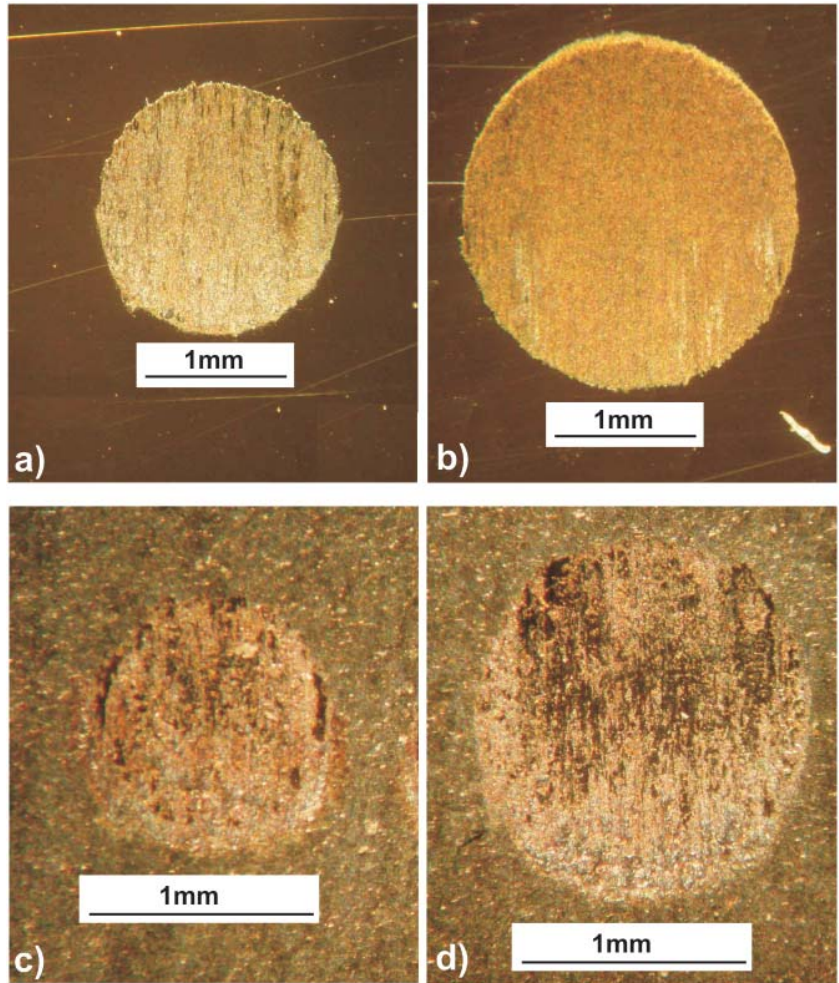


Figura 3 - Calotas obtidas no ensaio de microdesgaste: a) AISI 316L-200m; b) AISI 316L-800m; c) AISI 316L-NC-200m; d) AISI 316L-NC-800m (NC-Nitrocementado).

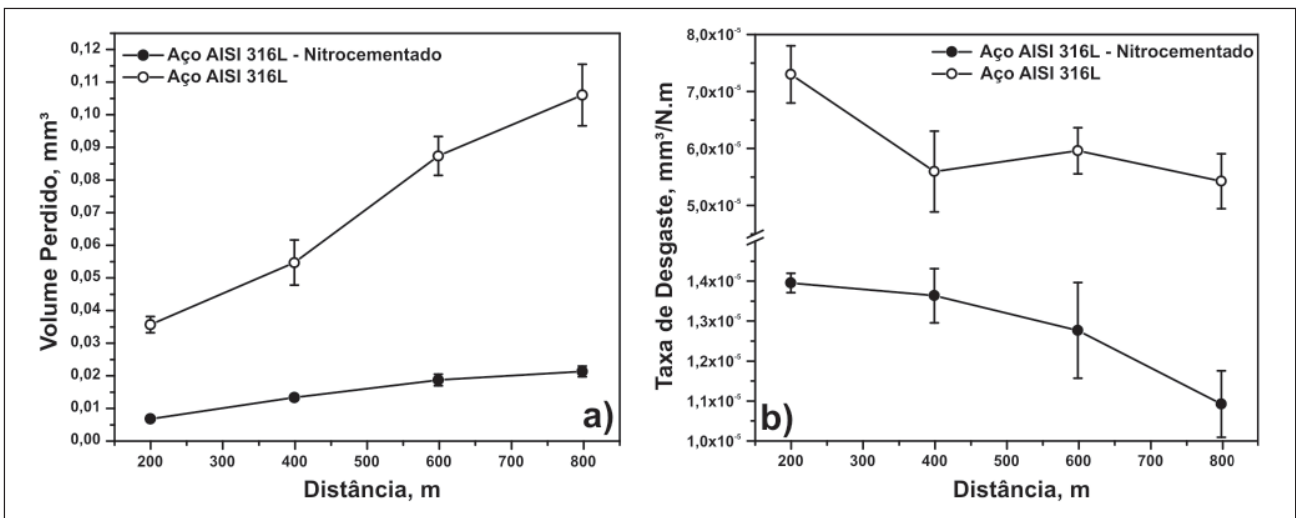


Figura 4 - Curvas de: a) perda volumétrica versus distância; e b) taxa de desgaste versus distância, para o aço AISI 316L com e sem nitrocimentação.

Na Figura 4b, verifica-se, as curvas referentes à variação da taxa de desgaste com a distância percorrida, para o substrato e para a camada produzida.

A taxa de desgaste da camada também foi muito inferior à do substrato. Em ambos os casos, as curvas apresentam-se decrescentes, devido ao aumento das áreas de contato com o decorrer do ensaio, o que provoca, conseqüentemente, uma diminuição da pressão exercida pela esfera sobre o corpo-de-prova.

#### 4. Conclusões

O tratamento de nitrocementação produziu uma camada superficial de elevada dureza (850HV) no aço AISI 316L.

A resistência ao desgaste dessa camada em ensaio de microdesgaste, sem uso de abrasivos, foi muito superior à do substrato (3 a 7 vezes superior).

Tais fatos indicam o grande potencial do tratamento de nitrocementação no aumento do desempenho do aço inoxidável.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de estudo concedida a Frederico Augusto Pires Fernandes e ao CNPq (proc. 150799/2008-0).

#### 6. Referências bibliográficas

- OLIVEIRA, A.M. Ion nitriding and nitrocarburizing of stainless steel and its influence in the corrosion resistance. In: *20th International Conference on Surface Modification Technologies*, 25-29 September, p. 118-123, 2006.
- GEE, M. et al. Results from interlaboratory exercise to validate the micro-scale abrasion test. *Wear*, v.259, p. 27-35, 2005.
- HOEFT, D., LATELLA, B.A. SHORT, K.T. Residual stress and cracking in expanded austenite layers. *Journal of Physics: Condensed Matter*, v.17, p. 3547-3558, 2005.
- MANDL, S., RAUSCHENBACH, B. Concentration dependent nitrogen diffusion coefficient in expanded austenite formed by ion implantation. *Journal of Applied Physics*, v.91, p. 9737-9742, 2002.
- MENTHE, E. et al. Structure and properties of plasma nitrided stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, v.74-75, p.412-416, 2000.
- NOSEI, L. et al. Stability under temperature of expanded austenite developed on stainless steel AISI 316L by ion nitriding. *Thin Solid Films*, v.468, p. 134-141, 2004.
- RIVIÈRE, J.P. et al. Microstructure of expanded austenite in ion-nitrided AISI 316L single crystals. *Surface and Coatings Technology*, v.201, p. 8210-8214, 2007.
- ZHU, X. et al. Structure and properties of plasma nitrided austenitic stainless steel. In: *20th ASM Heat Treating Society Conference Proceedings*, 9-12 October, p.217-221, 2000.

Artigo recebido em 08/06/2009 e aprovado em 18/01/2010.

**A REM tem novo endereço:**

**FUNDAÇÃO GORCEIX - REM**  
**Rua Carlos Walter Marinho Campos, 57**  
**Bairro: Vila Itacolomy**  
**35400-000 - Ouro Preto - MG**  
**(31) 3551-4730    (31) 3559-7408**

**www.rem.com.br**