

# CARACTERIZAÇÃO DE CAMADAS NITROCEMENTADAS POR PLASMA PRODUZIDAS NO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L

L.C. Casteletti<sup>1</sup>; F.A.P. Fernandes<sup>1</sup>; A. Lombardi-Neto<sup>1</sup>; C.A. Picon<sup>2</sup>; G. Tremiliosi-Filho<sup>3</sup>

*Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, 13560-250; São Carlos, SP.*

\* castelet@sc.usp.br

<sup>1</sup>Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP, São Carlos – SP.

<sup>2</sup>Escola de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS-UNESP, Ilha Solteira – SP.

<sup>3</sup>Instituto de Química de São Carlos – IQSC-USP, São Carlos – SP.

**ABSTRACT:** *Hardness and consequently wear resistance of austenitic stainless steel can be highly increased, without losing corrosion resistance by producing plasma nitrocarburizing surface layers. In this work, a AISI 316L stainless steel plasma nitrocarburized at 450°C, and the obtained layers were characterized by optical microscopy, microhardness e micro-wear tests. It was verified that the layer is composed by chromium nitrides precipitates and essentially expanded austenite nitrogen rich and with hardness around 850HV. The total average thickness of the layer was about 45µm, presenting good uniformity. His wear resistance was much higher than that the substrate.*

**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. Neste trabalho foram nitrocementados 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 micro-desgaste. 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 45µm. Sua resistência ao desgaste foi muito superior a do substrato.*

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de recobrimentos e a engenharia de superfícies têm despontado como um campo promissor, devido à necessidade de produtos com alta durabilidade, eficiência e baixo impacto ambiental [1].

Os aços inoxidáveis austeníticos constituem a família mais importante dos aços inoxidáveis em termo de número de tipos e aplicações. Estes aços apresentam excelente resistência à corrosão e à oxidação, porém, suas características de desgaste e de dureza são relativamente baixas. Vários trabalhos têm demonstrado 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 resistência ao desgaste sem diminuição da resistência à corrosão [2-5].

Nesses tratamentos, uma expansão de rede CFC é observada, resultando em uma fase com nitrogênio em solução sólida, chamada de “fase S”, “fase m”,  $\gamma_N$  ou austenita expandida [6].

A expansão do reticulado desta 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 [7].

O presente trabalho tem como objetivos verificar a morfologia de camadas produzidas por meio da nitrocementação por plasma e avaliar o desempenho tribológico da mesma 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 4 mbar, com corrente contínua.

Foi realizado um exame metalográfico da secção transversal da amostra, para se avaliar as camadas constituídas de nitretos, carbonetos ou carbonitretos, zona de difusão e interface camada/substrato. Medidas de microdureza *Vickers* foram efetuadas para obtenção do perfil desta propriedade ao longo da secção da camada obtida.

Os testes de micro-desgaste foram realizados em um equipamento do tipo esfera presa, empregando esferas de aço 52100, com uma rotação de 500rpm e diâmetro de 1polegada. 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 conforme proposto por *Hutchings*[1]:

$$V = \frac{\pi \cdot d^4}{64 \cdot R} \quad (1)$$

em que *R* é o raio da esfera e *d* 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:

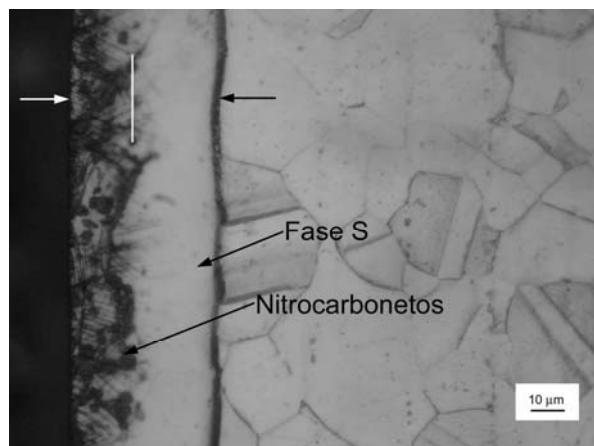
$$K = \frac{1}{S \cdot N} \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64 \cdot R} \quad (2)$$

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

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresenta-se uma secção transversal da camada nitrocementada. A espessura média

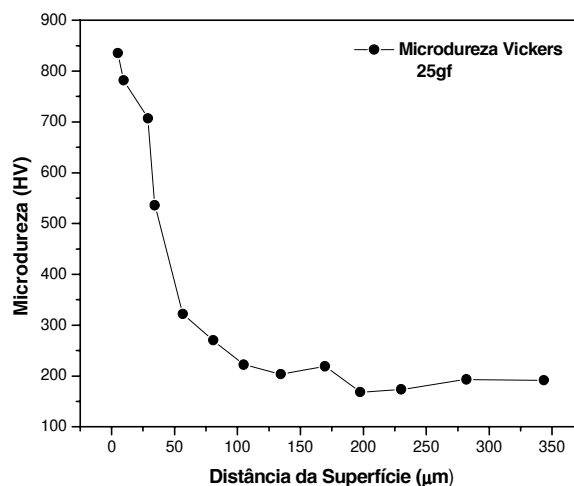
da camada foi de 40µm, com boa homogeneidade ao longo da secção. A camada obtida é composta provavelmente por constituídas de nitretos, carbonetos ou carbonitretos de cromo e austenita expandida (Fase S), conforme observado anteriormente por A.M. de Oliveira [8].



**Figura 1:** Microscopia óptica evidenciando a camada nitrocementada.

A presença de nitretos, carbonetos ou carbonitretos, principalmente de cromo, ocorre na parte mais externa da camada, indicando que inicialmente ocorre a formação da austenita expandida (Fase S).

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

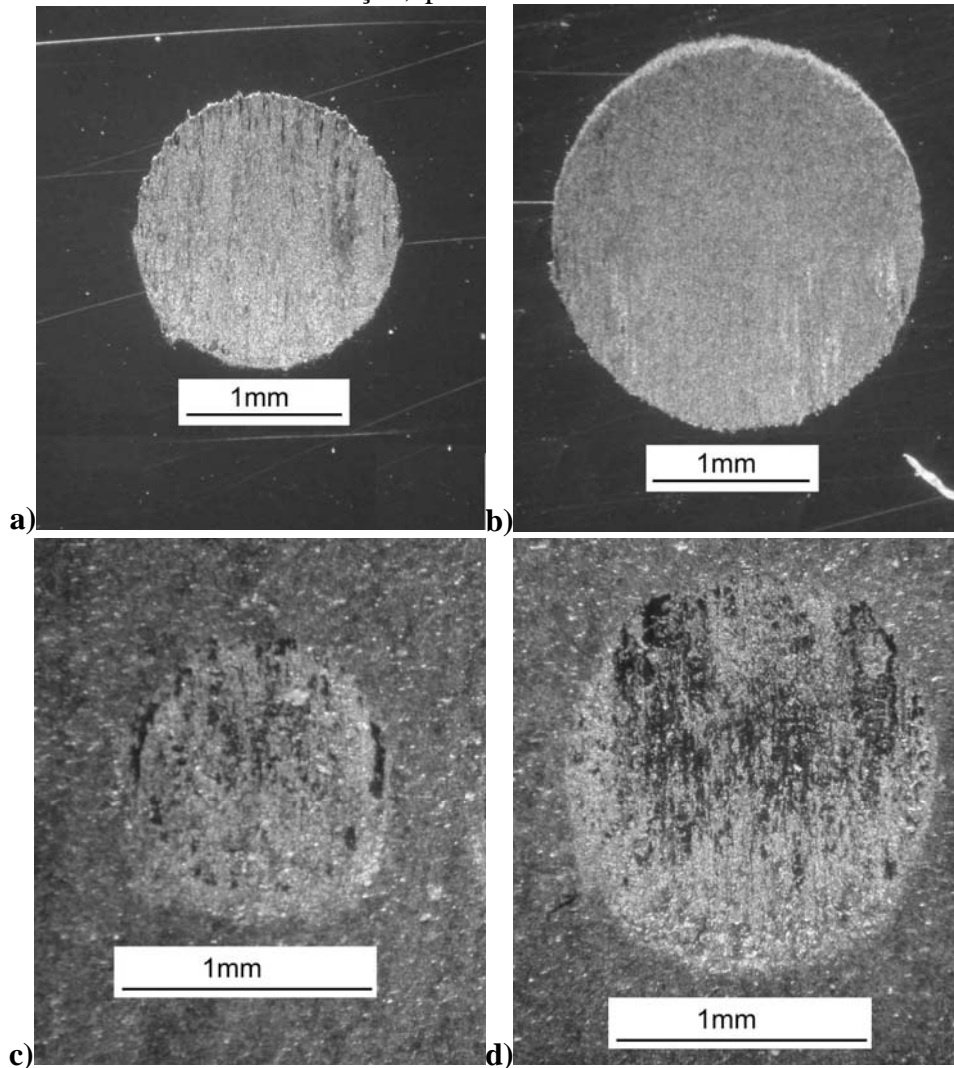


**Figura 2:** Perfil de microdureza *Vickers* para a camada nitrocementada.

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

Na Figura 3 apresenta-se a evolução do desgaste no aço 316L com e sem nitrocementação, por

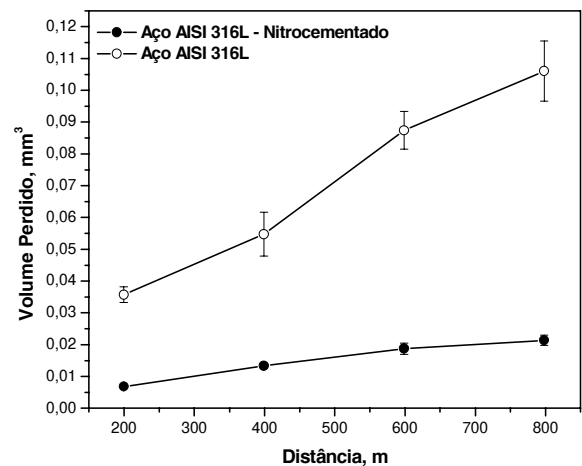
meio das calotas de micro-desgaste.



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

As imagens, em escalas diferentes, mostram claramente a diferença entre o material sem tratamento (Fig. 3a; 3b) e com tratamento por plasma (Fig. 3c; 3d). No interior das calotas podem ser observadas regiões com ocorrência de desgaste por riscamento.

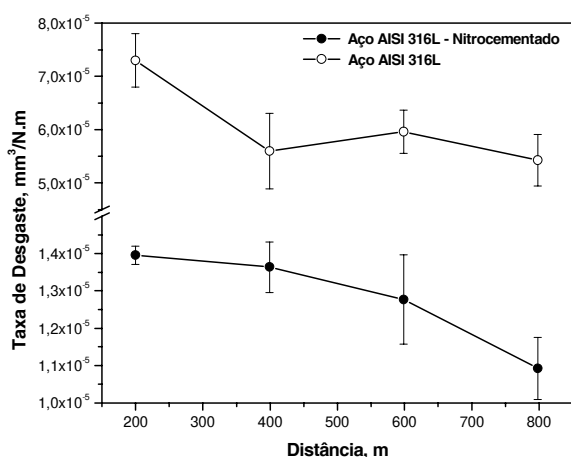
Na Figura 4 são apresentadas as curvas de micro-desgaste referentes ao substrato e ao aço nitrocementado. Verifica-se a grande efetividade da camada produzida no tratamento de nitrocementação, no aumento da resistência ao desgaste do aço AISI 316L.



**Figura 4:** Curvas de perda volumétrica versus distância para o aço AISI 316L com e sem nitrocementação.

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 este valor foi 7 vezes menor.

Na Figura 5 podem ser vistas as curvas referentes à variação da taxa de desgaste com a distância percorrida para o substrato e para a camada produzida.



**Figura 5:** Curvas de variação da taxa de desgaste versus distância para o aço AISI 316L com e sem nitrocementação.

A taxa de desgaste da camada também foi muito inferior a 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 micro-desgaste, 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. BIBLIOGRAFIA

- [1] GEE, M. *et al.* Results from interlaboratory exercise to validate the micro-scale abrasion test. *Wear*, v.259, p. 27-35, 2005.
- [2] 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.
- [3] MENTHE, E. *et al.* Structure and properties of plasma nitrided stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, v.74-75, p.412-416, 2000.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa concedida a F.A.P. Fernandes.