

# EFEITO DE DIFERENTES MÉTODOS DE NITRETAÇÃO: SÓLIDA, GASOSA E A PLASMA SOBRE O COMPORTAMENTO AO DESGASTE DE AÇOS FERRAMENTAS<sup>1</sup>

Júlio César Giubilei Milan<sup>2</sup>  
Elisangela S. Almeida<sup>3</sup>  
Ronan Diego de Oliveira<sup>4</sup>  
Josué Basen Pereira<sup>5</sup>  
César Edil da Costa<sup>6</sup>

## Resumo

Neste trabalho tratamentos termoquímicos de nitretação (nitretação a plasma, nitretação gasosa e nitretação sólida) foram aplicados em aços ferramenta (AISI H13, AISI P20 e N-8550), com o objetivo de comparar e avaliar o desempenho tribológico e as propriedades adquiridas nos três processos e comprovar a eficiência da nitretação sólida. Testes de desgaste foram conduzidos em equipamento convencional de pino sobre disco, e foram levantados o coeficiente de atrito e a taxa de desgaste, esta avaliada com o auxílio de um perfilômetro. As amostras foram cortadas transversalmente após o teste de desgaste, sendo posteriormente analisadas através de microdureza e microscopia eletrônica de varredura, para verificar a formação das camadas típicas de nitretação (camada branca e de difusão). A nitretação sólida apresentou bons resultados, proporcionando a formação de uma camada nitretada com microdureza compatível a obtida nos outros processos e os melhores resultados de desgaste. A maior desvantagem encontrada foi a irregularidade da espessura da camada formada.

**Palavras-chave:** Nitretação sólida; Comportamento ao desgaste; Aços ferramenta.

## THE EFFECT OF DIFFERENT NITRIDING METHODS: SOLID, GAS AND PLASMA ON THE WEAR BEHAVIOR OF TOOL STEELS

### Abstract

In this work thermochemical nitriding treatments (plasma nitriding, gas nitriding and solid nitriding) were performed in tool steels (AISI H13, AISI P20 and N-8550), with the objective to compare and evaluate the tribological performance and the acquired properties on these three processes and prove the solid nitriding efficiency. Wear tests were conducted in a conventional pin-on-disk apparatus, and we obtained the friction coefficient and the amount of wear, with the use of a profiling equipment. The samples were transversally cut after the wear test, and then analysed through microhardness and scanning electron microscopy to verify the formation of nitriding typical layers (white layer and diffusion layer). The results showed that solid nitriding presented good performance, promoting the formation of a nitriding layer with compatible microhardness when compared with the other processes and the best results of wear. The higher disadvantage faced was the irregularity in the formed layer thickness.

**Key words:** Solid nitriding, wear behavior, tool steels.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Doutor. Prof. da Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, milan@joinville.udesc.br

<sup>3</sup> Mestranda em Ciência e Engenharia de Materiais – UDESC elisangela\_s\_almeida@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UDESC ronandiego@hotmail.com

<sup>5</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UDESC josuebasen@gmail.com

<sup>6</sup> Doutor. Prof. da Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, edil@joinville.udesc.br

# 1 INTRODUÇÃO

A nitretação é um tratamento termoquímico, que confere aos aços maior dureza superficial, aumenta a resistência ao desgaste, aumenta a resistência à fadiga e pode melhorar a resistência à corrosão, através da introdução do nitrogênio no aço. Este tratamento atualmente é utilizado pela indústria mecânica, automotiva, hidráulica, siderúrgica, biomédica, de conformação de metais e forjaria.<sup>(1)</sup>

Os processos de nitretação mais utilizados são a nitretação gasosa e a nitretação a plasma.

A nitretação gasosa consiste em submeter peças a serem nitretadas, à ação de um meio gasoso contendo nitrogênio, geralmente amônia, à temperatura determinada.<sup>(2)</sup> Para sua realização é necessário utilizar-se um forno específico para este fim com atmosfera controlada e com dispositivos de entrada e saída de gases.

A nitretação iônica ou comumente conhecida por nitretação a plasma consiste em utilizar uma descarga incandescente que introduz nitrogênio na superfície do aço. Íons de nitrogênio são acelerados com o objetivo de bombardear a superfície do aço, ocorrendo absorção deste elemento e sua difusão em direção ao núcleo.<sup>(3)</sup>

A nitretação a plasma necessita de um equipamento moderno e com tecnologia avançada que possa realizar todas as etapas do processo, sendo elas, promover vácuo na câmara, aquecer até a temperatura de nitretação, produzir descarga luminescente (glow-discharge) nas temperaturas de nitretação e resfriar.<sup>(4)</sup>

Existe, ainda a nitretação sólida, que é um processo simples, porém pouco difundido, no qual se utiliza um granulado sólido rico em nitrogênio. A peça é imersa no granulado em um recipiente fechado e colocada num um forno convencional (mufla) para promover a nitretação do aço. O granulado, quando aquecido, libera nitrogênio e possibilita a difusão na superfície da peça. Por ser um processo de baixo custo, que não utiliza equipamentos especiais e caros, pode-se verificar nele um grande potencial.

Embora a temperaturas adequadas, todos os aços são capazes de formar nitretos de ferro na presença de nitrogênio nascente, os resultados são mais favoráveis àqueles com elementos de liga benéficos à nitretação (alumínio, cromo, vanádio, tungstênio e molibdênio).<sup>(4)</sup>

As ferramentas utilizadas na indústria são acessórios imprescindíveis na usinagem e na conformação de peças metálicas ou não. Estas ferramentas devem apresentar requisitos que possibilitem realizar as operações a que foram destinadas com precisão. Altas cargas cíclicas e choques térmicos causados pelo contato com a ferramenta são traços característicos para o trabalho a quente. Os processos de nitretação iônica e gasosa são comumente usados para melhorar as propriedades destas ferramentas ao desgaste.

A nitretação gasosa é bastante discutida e estudada, podendo citar algumas referências: Anichkina et al.,<sup>(5)</sup> fizeram um estudo comparativo da nitretação à gás, iônica e a vácuo e demonstrou que a taxa de crescimento da camada de difusão durante a nitretação iônica de um aço baixa liga é de 2 a 5 vezes maior do que a obtida por nitretação gasosa. A nitretação iônica, também assegura a remoção da camada de óxido e ativação da superfície, sendo eficiente em aços de alta liga aumentando a taxa de saturação significativamente. Ainda neste estudo, comprovou-se que com o aumento da zona de difusão o material fica mais susceptível à fratura frágil, e a dureza aumenta a resistência à deformação plástica devido à saturação de nitrogênio na solução sólida e a formação de fases de nitretos. Hernandez, Staia e Puchi-Cabrera,<sup>(6)</sup> realizaram uma avaliação de microestrutura e propriedades

mecânicas nos aço nitretado AISI H11, aço amplamente utilizado para o trabalho a quente, devido às propriedades de resistência ao choque e à fadiga térmica. Analisando curvas de perfil de dureza para as amostras nitretadas, a dureza máxima é atingida a uma distância da superfície, que varia com a temperatura de nitretação

A nitretação a plasma, apesar de ser uma tecnologia relativamente nova, apresenta diversas vantagens e é amplamente estudada. Bogaerts et al.,<sup>(7)</sup> fizeram uma análise dos mecanismos que nela ocorrem verificando que a nitretação a plasma é mais rápida que a convencional (gasosa). Franco Junior,<sup>(8)</sup> reafirma em seus estudos que no processo de nitretação a plasma, é possível controlar os parâmetros do tratamento como proporção de nitrogênio na mistura gasosa, d.d.p. entre eletrodos, corrente elétrica, temperatura e pressão parcial de nitrogênio, possibilitando um maior controle sobre o crescimento e a microestrutura da camada nitretada em relação à nitretação gasosa convencional.

Portanto a análise de um processo que seja simples e de baixo custo como a nitretação sólida é de muita importância podendo contribuir para o estado da arte.

O objetivo deste estudo é realizar uma comparação, em relação ao desgaste, dos três métodos de nitretação citados acima, sólida gasosa e plasma em três aços ferramenta diferentes: AISI H13, AISI P20, e N-8550.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram aços ferramenta, o AISI H13 e o AISI P20, e um aço para nitretação, o 8550. A Tabela 1 mostra a composição química dos materiais utilizados. As amostras foram cortadas de barras redondas comerciais com 1 polegada de diâmetro e com espessura de aproximadamente 15 mm.

As amostras foram submetidas ao tratamento termoquímico de nitretação por três métodos distintos: nitretação gasosa, nitretação a plasma e nitretação sólida. O material foi submetido ao tratamento como recebido do fabricante, ou seja, sem tratamento térmico.

Previamente à nitretação todas as amostras foram lixadas e polidas até 1  $\mu\text{m}$ , seguidas de limpeza em ultrassom.

**Tabela 1.** Composição química das amostras

	% C	%Cr	%Mn	%Si	%Mo	%V	%Ni	%Al
AISI H13	0,32	4,75	0,20	0,80	1,10	0,80	Máx	....
	0,45	5,50	0,50	1,20	1,75	1,20	0,30	....
AISI P20	0,32	4,75	0,20	0,80	1,10	0,80	Máx	....
	0,45	5,50	0,50	1,20	1,75	1,20	0,30	....
N-8550	0,30	1,50	0,40	Max.	0,15	....	0,85	0,80
	0,37	1,80	0,70	0,40	0,25	....	1,15	1,20

Fonte: Fabricante dos materiais.

### 2.2 Tratamento de Nitretação

A nitretação gasosa foi realizada na Empresa Brasimet, sediada na cidade de Joinville, SC. Através do processo denominado Deganit, com atmosfera de 50%  $\text{NH}_3$ , 50%  $\text{N}_2$ , e  $\text{CO}_2$  em pequena quantidade. A temperatura de nitretação foi 560°C por 10 h.

A nitretação a plasma, realizada no Laboratório de Plasma e Tratamento de Superfícies do Departamento de Física, da UDESC. Foi realizado em uma atmosfera de 20% N<sub>2</sub> e 80% H<sub>2</sub>. a 560°C por 3 horas.

A nitretação sólida foi realizada no Laboratório de Tratamentos Térmicos do Departamento de Engenharia Mecânica da UDESC. Este tipo de nitretação utiliza um granulado sólido denominado pelo fabricante de Turbonit k-20<sup>®</sup>, mostrado na Figura 1. Neste método, as amostras são imersas neste granulado em um recipiente vedado para garantir o máximo de isolamento. As amostras foram dispostas no recipiente com o granulado de nitretação sólida. A nitretação sólida foi realizada a 560 °C por 10 horas. Este método de nitretação foi chamado de sólida, embora, na realidade o processo ocorra através da nitretação gasosa. Durante o aquecimento o granulado gera nitrogênio atômico que entra em contato com a superfície da amostra possibilitando a introdução deste elemento na superfície.



**Figura 1.** Granulado Turbonit k-20<sup>®</sup> utilizado para nitretação sólida.

## 2.3 Ensaio de Desgaste

Para avaliar os efeitos dos diferentes tipos de nitretação nas propriedades tribológicas, as amostras foram submetidas ao ensaio de desgaste por deslizamento do tipo pino sobre disco sem lubrificação, de acordo com a norma ASTM G99/95.<sup>(9)</sup>

O contra-corpo utilizado foram esferas de alumina com 6,0 mm de diâmetro.

Os testes foram realizados à temperatura ambiente, com umidade relativa mantida em cerca de 30% ou inferior. A carga aplicada sobre o pino foi de 10 N e a velocidade de deslizamento foi de 0,1 m/s.

O volume de material removido foi obtido com o auxílio de um Perfilômetro CV- 2000 Contrace Mitutoyo e uma rotina computacional. Também foi medido o coeficiente de atrito.

Foram realizadas, pelo menos, três repetições de cada ensaio.

## 2.4 Microscopia e Microdureza

As amostras foram submetidas à microscopia óptica e também à microscopia eletrônica de varredura para análise da camada nitretada

Foram realizados ensaios de microdureza em todas amostras tratadas com um microdurômetro Shimadzu HMV.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

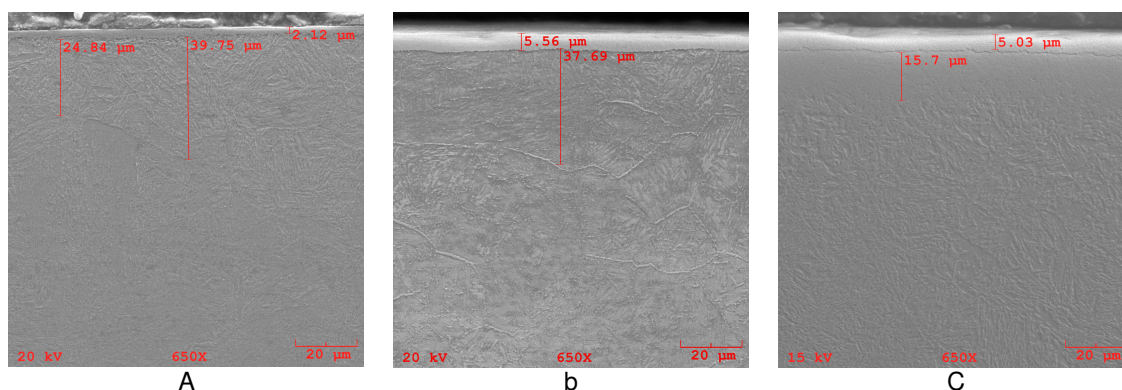
Os valores máximos de microdureza obtidos na superfície das amostras tratadas são mostrados na Tabela 2. O maior valor de microdureza obtido foi do aço

AISI H13 submetido a nitretação sólida. Os menores valores foram para a nitretação a plasma para os aços AISI P20 e o 8550. A nitretação sólida proporcionou valores intermediários entre a nitretação sólida e a plasma, no caso do AISI H13 e os maiores valores no caso do AISI P20 e do 8550. Em relação a dureza da camada formada a nitretação sólida proporcionou valores compatíveis e até superiores aos da nitretação gasosa e a plasma.

**Tabela 2.** Valores máximos de microdureza obtidos na superfície das amostras após os tratamentos de nitretação. A carga utilizada foi de 10 g

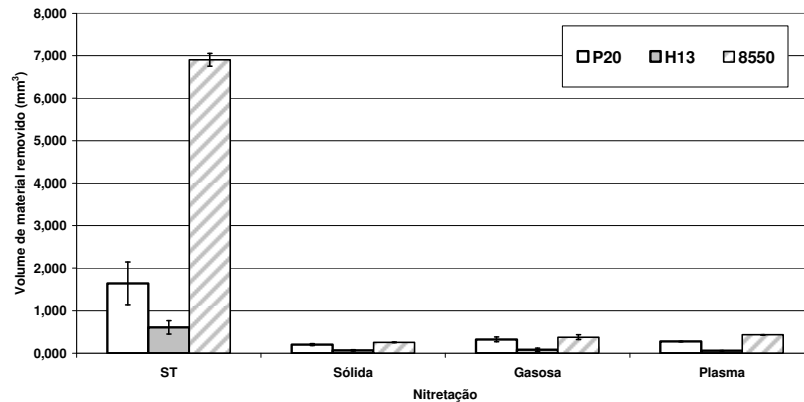
	Sólida	Gasosa	Plasma
AISI H13	838	1040	931
AISI P20	883	883	689
8550	797	758	689

A Figura 2 mostra micrografias do aço AISI P20, obtidas por microscopia eletrônica de varredura, das amostras nitretadas pelos três métodos. Observa-se, nesta figura, as camadas nitretadas, camada branca e zona de difusão. A nitretação sólida apresentou uma zona de difusão com espessura irregular ao longo da superfície. Isto se deve a disponibilidade de nitrogênio na superfície, que pode variar de acordo com a posição da amostra e do granulado sobre a superfície. Apesar de proporcionar a formação tanto da camada de difusão como da camada branca, a nitretação sólida apresenta a desvantagem de uma camada com espessura bastante irregular.



**Figura 2.** Micrografias do aço AISI P20 obtidas em microscópio eletrônico de varredura das amostras nitretadas pelos três diferentes métodos (a) nitretação sólida, (b) nitretação gasosa e (c) nitretação a plasma.

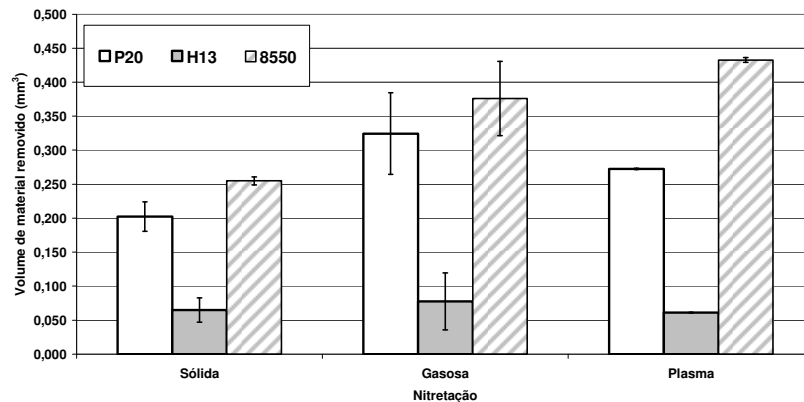
A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de desgaste do tipo pino sobre disco em volume de material removido para os três materiais nas quatro condições de ensaio: sem tratamento (ST), tratadas por nitretação sólida, gasosa e a plasma.



**Figura 3.** Volume de material removido em amostras de aço ferramenta com e sem nitretação submetidos a ensaios de pino sobre disco.

Pode se observar nesta figura que as amostras sem tratamento apresentaram o maior volume de material desgastado em todas as condições. Este fato já era esperado, pois a nitretação forma uma camada de nitretos mais dura e resistente ao desgaste.

Desprezando os dados das amostras sem tratamento, tem-se, na Figura 4, os resultados de desgaste apenas das amostras tratadas, onde é possível observar os mesmos resultados em mais detalhes.

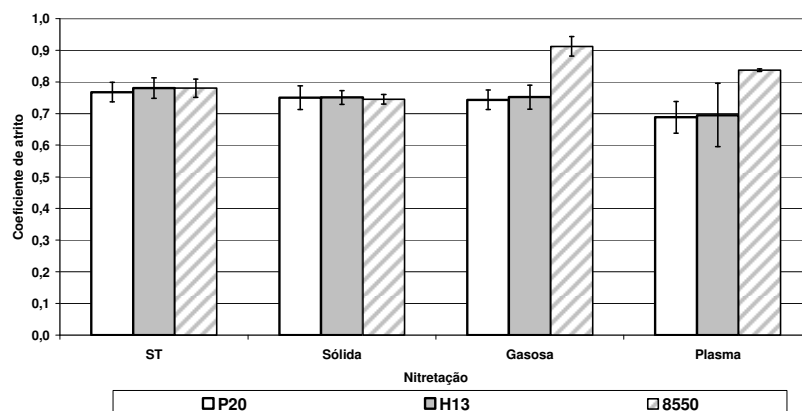


**Figura 4.** Volume de material removido em amostras de aço ferramenta nitretados por três métodos distintos submetidos a ensaios de pino sobre disco.

Nesta figura, pode se observar que a nitretação sólida apresentou os melhores resultados, quando comparados com os outros métodos, para os três materiais. Apenas para o AISI H13 o desempenho dos três métodos foi estatisticamente igual, apesar da maior variação de microdureza entre as três amostras. Para os outros dois materiais, o AISI P20 e o 8550 a nitretação sólida proporcionou os maiores valores de microdureza e os menores valores de desgaste. Com isto, mais uma vez, pode se comprovar a eficiência da nitretação sólida em relação ao desempenho ao desgaste, tornando-se um método competitivo.

A Figura 5 apresenta os resultados de coeficiente de atrito para os três materiais nas quatro condições de ensaio. Nota-se que o coeficiente de atrito não apresentou diferenças significativas, permanecendo constante em quase todas as situações. Apenas o aço 8550 apresentou valores maiores nas amostras nitretadas

a plasma e a gás. O coeficiente de atrito apresentou valores elevados variando de cerca de 0,7 para o P20 nitretado a plasma até pouco mais de 0,9 para o 8550 submetido a nitretação gasosa.



**Figura 4.** Valores médios de coeficiente de atrito de amostras de aço ferramenta com e sem nitretação submetidos a ensaios de pino sobre disco em contra corpo de alumina.

Neste caso, a nitretação sólida não apresentou diferenças significativas, em relação à variação do coeficiente de atrito, quando comparada com os outros processos.

#### 4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode se concluir que:

- a nitretação sólida proporcionou a formação de uma camada superficial (camada branca e zona de difusão) nos três aços estudados;
- a zona de difusão, na nitretação sólida, apresentou espessura variável ao longo de toda a superfície das amostras;
- a microdureza da camada superficial, para a nitretação sólida, atingiu valores semelhantes e até superiores aos dos outros processos.;
- a nitretação sólida proporcionou os melhores resultados de desgaste quando comparada com a nitretação gasosa e a plasma para os três materiais;
- o coeficiente de atrito não sofreu alterações significativas com os processos de nitretação;
- a nitretação sólida se mostrou um processo competitivo devido a sua simplicidade e facilidade de aplicação e bons resultados obtidos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a BRASIMET pela execução da nitretação gasosa e a CAPES pelo auxílio financeiro da bolsa de mestrado.

#### REFERÊNCIAS

- 1 WISNIVESKY, D.; ALVAREZ, F. Nitretação iônica: tendências e potencial de uso. Máquinas e metais: p. 120-133, Setembro/2004.
- 2 CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferros fundidos. 7. ed. São Paulo: Editora ABM, 2002.

- 3 FIGUEROA, C. A.; WISNIVESKY, D.; ALVAREZ, F. Nitretação de metais a plasma: princípios, comparações com as técnicas convencionais e aplicações. Máquinas e metais: p. 116-123, Janeiro/2007.
- 4 METALS HANDBOOK, ASM Metals Handbook. ASTM International, v. 4, 1991.
- 5 ANICHKINA, N. L. et al. Comparisons of methods of gas, ionic and vacuum nitriding. Metal Science and Heat Treatment. v. 31, p. 170-174, 1989.
- 6 HERNANDEZ, M.; STAIA, M. H.; PUCHI-CABRERA, E. S. Evaluation of microstructure and mechanical properties of nitrided steels. Surface and Coatings Technology, v. 202, p. 1935-1943, 2008.
- 7 BOGAERTS, A. et al. Gas discharge plasmas and their applications. Spectrochimica Acta, Part B. 57, p. 609-658, 2002.
- 8 FRANCO JR., A. R. Obtenção de revestimentos dúplex por nitretação a plasma e PVD-TiN em aços ferramenta AISI D2 e AISI H13. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. 178 p. Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.
- 9 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, G 99–95. Philadelphia, 1996.