

RESISTÊNCIA AO DESGASTE POR ENSAIO ESFERA-SOBRE-PLANO NO AÇO ASTM M2 NITRETADO A PLASMA PELOS MÉTODOS TRADICIONAL E COM TELA ATIVA

Leonardo Fonseca Oliveira

Alexandre da Silva Rocha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre/RS
leonardo.fonseca@ufrgs.br, alexandre.rocha@ufrgs.br

Resumo. O aço ASTM M2 é um aço utilizado na fabricação de ferramentas que são submetidas a desgaste tribológico intenso. Para reduzir este desgaste são aplicados tratamentos termoquímicos como a nitretação a plasma, com o objetivo de melhorar as propriedades superficiais e proporcionar aumento de vida das ferramentas. A nitretação a plasma com tela ativa é um método de nitretação que vem sendo desenvolvido para evitar problemas intrínsecos da nitretação a plasma tradicional. Neste estudo, foram conduzidos tratamentos com ambos os métodos de nitretação a plasma com o objetivo de comparar o comportamento em desgaste das amostras nitretadas. Os tratamentos foram executados com mistura gasosa composta 76% N₂ e 24% H₂, pressão de 3 mbar e temperatura de 500 °C durante 4 e 8 horas. As amostras foram avaliadas por microscopia ótica, perfil de microdureza e através de ensaios tribológicos esfera-sobre-plano recíprocos. Os parâmetros de nitretação selecionados resultaram, nos tratamentos tradicionais, a formação de uma camada nitretada mais profunda, com presença de camada branca frágil com reduzida resistência ao desgaste, nos tratamentos com tela ativa a formação da camada branca foi evitada, aumentando a resistência ao desgaste.

Palavras chave: Nitretação a plasma. Tela ativa. Aço Rápido. ASTM M2. Desgaste.

1. INTRODUÇÃO

O aço ASTM M2 é um aço utilizado na fabricação de ferramentas de corte que possuem geometrias complexas que são submetidas a severas condições tribológicas, estas ferramentas consequentemente sofrem desgaste das arestas de corte e adesão do material trabalhado, reduzindo sua vida útil. A modificação de propriedades superficiais mantendo o núcleo tenaz através da condução de tratamentos termoquímicos é capaz de otimizar o desempenho destas ferramentas (Hacisalihoglu, Yildiz, e Alsaran 2017). A nitretação a plasma é um tratamento termoquímico que proporciona aumento de dureza superficial, melhoria de resistência a corrosão, e aumento de vida em fadiga através da inserção de nitrogênio em camadas superficiais do material nitretado (Czerwinski 2012; Yetim et al. 2009), entretanto, aspectos geométricos das peças tratadas podem influenciar os resultados obtidos, gerando superfícies frágeis, principalmente em gumes e quinas (Kwietniewski et al. 2004). O método de nitretação com tela ativa vem sendo desenvolvido com o objetivo de contornar problemas intrínsecos do método tradicional de nitretação a plasma, como danos superficiais causados por arcos elétricos, a não uniformidade da camada formada devido a geometria dos substratos e a fragilização superficial (Gallo 2009; Kovács et al. 2018). A técnica de nitretação por tela ativa se difere do método tradicional por não submeter os substratos diretamente sob potencial elétrico durante o tratamento, neste método a descarga ocorre em uma tela que é posicionada ao redor dos substratos, que estão eletricamente isolados da tela.

O presente estudo tem o objetivo de investigar e comparar a aplicação dos métodos de nitretação a plasma tradicional e com tela ativa no aço M2 e verificar os resultados em relação a resistência ao desgaste, para isso foram executados tratamentos com ambos os métodos e verificado o volume desgastado das amostras após serem submetidas a ensaios tribológicos de deslizamento recíproco.

2. MATERIAL E METODOLOGIA

Os tratamentos termoquímicos foram executados em amostras de aço ASTM M2 em formato de discos com 5 mm de altura e 31,75 mm de diâmetro. Estas amostras passaram previamente por tratamentos térmicos de têmpera a 1200 °C e triplo revenimento a 540 °C. As amostras foram por preparadas por lixamento, utilizando lixas com granulação variada e crescente (100, 240, 400, 600 e 1200), após lixadas as amostras passaram por polimento em máquina politriz utilizando pasta de diamante de 3 µm. Antes de serem posicionadas no reator de nitretação a plasma, as amostras foram limpas com algodão embebido em álcool e acetona. A composição química das amostras de aço ASTM M2 é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química (% em massa) do aço ASTM M2.

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Fe
%	0,999	0,407	0,272	3,79	4,44	1,74	6,86	Balanço

Os tratamentos de nitretação a plasma foram executados em uma câmara de vácuo de formato cilíndrico com volume interno de 212 litros. Para a condução dos tratamentos foi utilizada uma fonte de potência com onda de formato senoidal retificada, com 120 Hz de frequência. Todos os tratamentos foram realizados utilizando mistura gasosa composta 76% de gás N₂ e 24% de gás H₂ em 3 mbar de pressão. Para monitoramento da temperatura uma amostra de geometria similar, acoplada à uma sonda termopar foi posicionada de maneira equidistante das amostras em estudo, a temperatura durante os tratamentos foi controlada em 500 (± 5) °C. Foram realizados tratamentos com duração de 4 e 8 horas, após o tratamento ocorreu resfriamento em vácuo com as amostras no interior do equipamento.

Foram realizados tratamentos utilizando a metodologia tradicional e com tela ativa. A tela ativa utilizada possui 190 mm de altura e 175 mm de diâmetro, construída utilizando duas camadas (espaçadas em 1 cm) de chapa expandida de aço 304. A Figura 1 apresenta os diferentes métodos de nitretação utilizados.

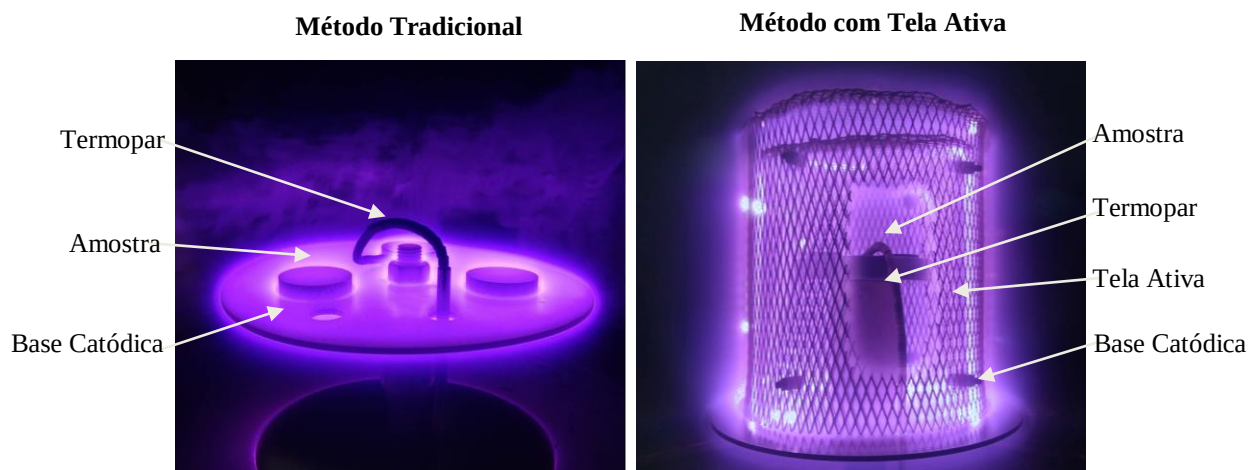


Figura 1. Nitretação a plasma das amostras em estudo: Método tradicional (esquerda) e método com tela ativa (direita).

Para análises na seção transversal as amostras foram seccionadas em uma máquina de corte de precisão de baixa velocidade e embutidas em baquelite. Na seção transversal as amostras passaram novamente por preparação por lixamento e polimento para realização das análises metalográficas com o microscópio ótico OLYMPUS GX51, utilizando ataque químico de reagente Nital 2%. Também na seção transversal foram construídos perfis de microdureza com um indentador Vickers com carga de 100 gF e tempo de indentação de 10 s.

Na região superficial das amostras foram realizados ensaios tribológicos do tipo esfera-sobre-plano recíproco (*ball-on-flat*), onde como contra-corpo foram utilizadas esferas de alumina, sem a utilização de lubrificantes, aplicando força de 6 N em uma trilha de 4 mm de comprimento com uma frequência de 4 Hz durante 30 minutos (57,6 m de comprimento total), em cada amostra foram realizados 4 trilhas de desgaste que foram analisadas com o interferômetro *Bruker Contour Elite* para determinar as taxas de desgaste que cada tratamento proporciona.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As microscopias óticas da seção transversal podem ser observadas na Figura 2, é possível identificar que para os tratamentos tradicionais ocorreu a formação de uma fina camada branca na região superficial seguida pela zona de difusão revelada como a região mais escurecida, a zona de difusão, já para os tratamentos com tela ativa não houve formação de camada branca, apenas zona de difusão. A camada branca formada no tratamento de 8 horas apresentou descontinuidades.

O aumento do tempo de tratamento gerou aumento da profundidade das camadas nitretadas, sendo as camadas mais profundas formadas nos tratamentos tradicionais, cerca de 70 e 95 µm para os tratamentos de 4 e 8 horas, respectivamente, enquanto nos tratamentos com tela ativa foram obtidas profundidades de aproximadamente 20 e 38 µm.

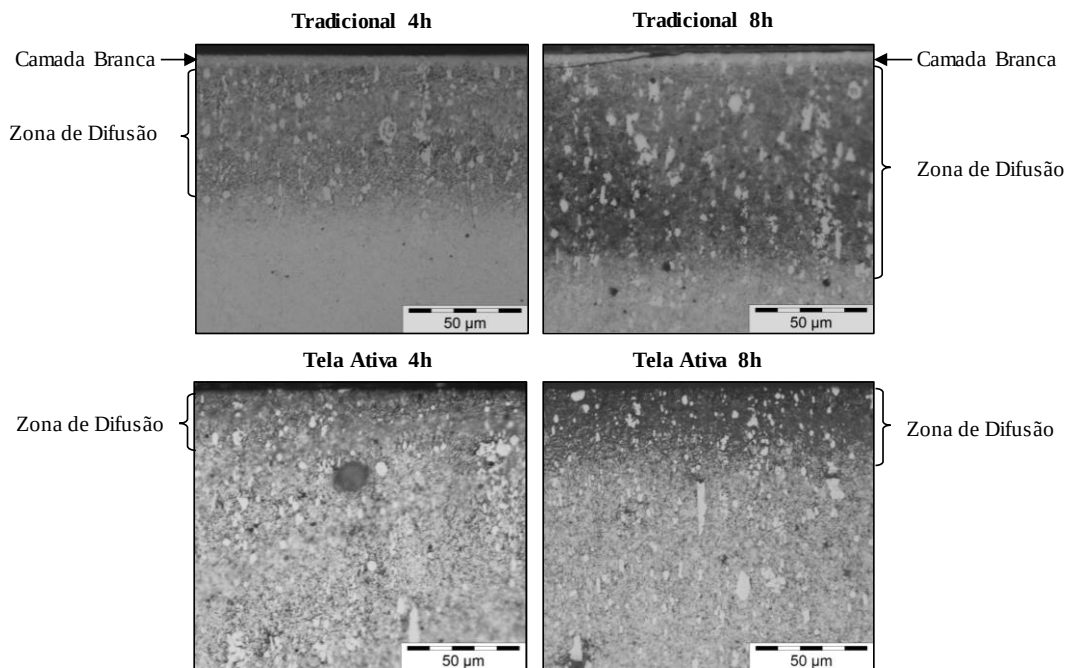


Figura 2. Metalografias da seção transversal das amostras nitretadas.

Na Figura 3 são apresentados os perfis de microdureza realizados na seção transversal das amostras nitretadas (exceto as medidas apresentadas com distância da superfície de 0 µm, que foram obtidas na face superior das amostras). Todos os tratamentos proporcionaram um aumento de dureza superficial em relação ao núcleo.

Os perfis revelam um aumento de dureza numa região subsuperficial que decresce em direção ao núcleo das amostras até estabilizar com a dureza da região não afetada pelos tratamentos termoquímicos. De maneira semelhante às metalografias, é possível observar que os tratamentos tradicionais formam camadas mais profundas que os tratamentos realizados com tela ativa, entretanto a profundidade das camadas medidas pelos perfis de microdureza são levemente maiores que as profundidades medidas através das metalografias, sendo, respectivamente para os tratamentos de 4 e 8 horas, cerca de 80 e 90 µm nos tratamentos tradicionais e 35 e 60 para os tratamentos com tela ativa.

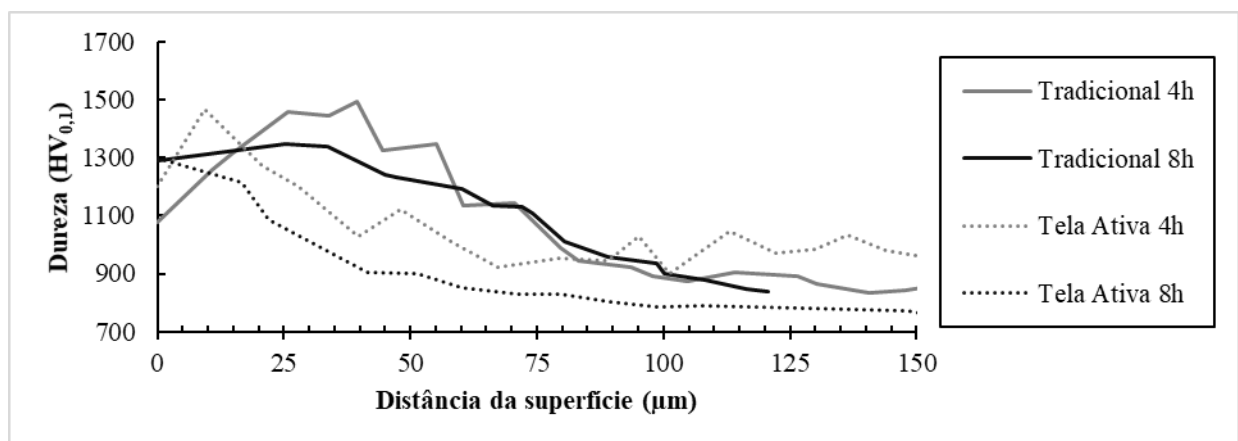


Figura 3. Perfis de microdureza das amostras nitretadas.

Embora tenham sido formadas camadas mais profundas nos tratamentos tradicionais, estes apresentaram os piores resultados de desgaste, sendo a principal diferença observada nos resultados comparativos a formação ou não de camada branca.

Os resultados dos ensaios tribológicos são revelados na Figura 4. Pode-se observar que o aumento do tempo de tratamento reduz a taxa de desgaste independente o método de nitretação utilizado. Destaca-se que para o tratamento tradicional com 4 horas de duração foi observado aumento na taxa de desgaste, indicando que para o método tradicional de nitretação a plasma, os parâmetros de tratamento adotados não foram adequados para este aço. Entretanto, a utilização do método da tela ativa reduziu de maneira significativa a taxa de desgaste, comparando com a taxa de

desgaste média para a amostra não nitretada (de $6,8 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) a maior redução na taxa de desgaste foi para o tratamento com tela de 8 horas de duração ($7,5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$), além disso, os tratamentos com tela apresentaram menos desvio, indicando maior homogeneidade do tratamento.

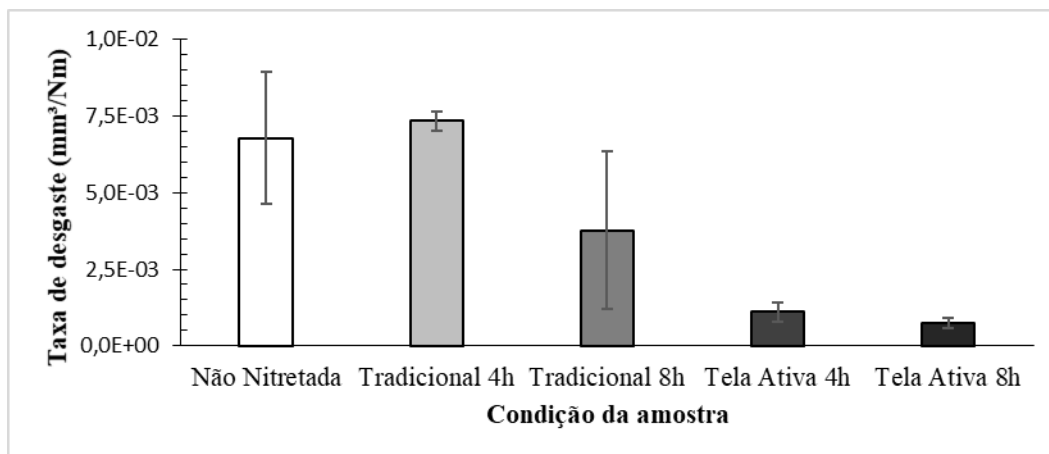


Figura 4. Taxa de desgaste para as diferentes condições de amostra.

A camada branca embora seja desejada para diferentes aplicações por proporcionar excelentes propriedades anticorrosivas (Vakili, Akbari, e Mohammadzadeh 2015), dependendo dos parâmetros de tratamento ela pode vir a se formar de maneira a causar fragilização dos contornos de grão (Kwietniewski et al. 2004). Diferentes autores mencionam para melhoria efetiva da resistência ao desgaste no aço M2 os parâmetros de nitretação devem ser escolhidos de tal forma que se evite a formação da camada branca (Hirsch et al. 2004), esta camada apresenta pouca tenacidade quando submetida a ensaios tribológicos gerando desgaste por lascamento que resulta no agravamento da perda de material (Tier et al. 1998), a quebra da camada de compostos devido a sua fragilidade resulta no aumento da taxa de desgaste devido a formação de partículas duras e abrasivas durante o ensaio tribológico (Mohammadzadeh, Akbari, e Drouet 2014).

4. CONCLUSÕES

Ambos os métodos de tratamento são capazes de modificar o aço ASTM M2 e aumentar sua dureza superficial. A utilização dos mesmos parâmetros de tratamento para os diferentes métodos de nitretação (tradicional e com tela ativa) proporciona resultados diferentes, para os tratamentos no método tradicional, apesar de ocorrer formação camadas nitretadas com maior profundidade, foram verificadas maiores taxas de desgaste devido a formação da camada branca que causou fragilização da região superficial do aço, já, nos tratamentos com tela ativa, a principal diferença observada nos resultados foi a não formação de camada branca, tendo o endurecimento superficial causado apenas pela formação da zona de difusão, que proporcionou aumento da resistência ao desgaste.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) no âmbito do Processo 311348/2015-7, Produtividade de Pesquisa – PQ 2015.

6. REFERÊNCIAS

- Czerwinski, Frank. 2012. “Thermochemical Treatment of Metals”. In *Heat Treatment - Conventional and Novel Applications*, InTech.
- Gallo, Santiago Corujeira. 2009. “Active Screen Plasma Surface Engineering of Austenitic Stainless Steel for Enhanced Tribological and Corrosion Properties”. University of Birmingham, Birmingham.
- Hacisalihoglu, Ilyas, Fatih Yildiz, e Akgun Alsan. 2017. “Wear performance of different nitride-based coatings on plasma nitrided AISI M2 tool steel in dry and lubricated conditions”. *Wear* 384–385: 159–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.117>.
- Hirsch, Thomas, Alexandre Rocha, Fabiano Ramos, e Telmo Strohaecker. 2004. “Residual stress-affected diffusion during plasma nitriding of tool steels”. *Metallurgical and Materials Transactions A* 35(11): 3523–30.
- Kovács, D, A Kemény, J Dobránszky, e I Quintana. 2018. “Effects of plasma nitriding on tempered steel”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 426: 012027.

- Kwietniewski, C. et al. 2004. "Nitrided layer embrittlement due to edge effect on duplex treated AISI M2 high-speed steel". *Surface and Coatings Technology* 179(1): 27–32.
- Mohammadzadeh, R., A. Akbari, e M. Drouet. 2014. "Microstructure and wear properties of AISI M2 tool steel on RF plasma nitriding at different N₂-H₂ gas compositions". *Surface and Coatings Technology* 258: 566–73.
- Tier, M, A Bloyce, T Bell, e T Strohaecker. 1998. "Wear of plasma nitrided high speed steel". *Surface Engineering* 14(3): 223–27.
- Vakili, S., A. Akbari, e R. Mohammadzadeh. 2015. "Corrosion resistance of plasma nitrided AISI M2 high speed steel". *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* 51(4): 630–36.
- Yetim, A F et al. 2009. "Several plasma diffusion processes for improving wear properties of Ti6Al4V alloy". *Wear* 267: 2179–85.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Wear Resistance by ball-on-flat test on ASTM M2 Steel Plasma Nitrided by the Traditional and Active Screen Methods

Leonardo Fonseca Oliveira

Alexandre da Silva Rocha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre/RS
leonardo.foseca@urgs.br, alexandre.rocha@ufrgs.br

Abstract. The M2 Steel is a steel used in the fabrication of tools that are subjected to harsh tribological wear. To reduce this wear thermochemical treatments such as plasma nitriding are applied, with the objective to improve the surface properties and provide increased tool life. Active screen plasma nitriding is a nitriding method that has been developed to avoid intrinsic problems from the traditional plasma nitriding. In this study there were carried treatments with both plasma nitriding methods aiming to compare the wear behavior of the nitrided specimens. Treatments were carried using a gas mixture composed 76% N₂ and 24% H₂, with 3 mbar pressure and a temperature of 500 °C during 4 and 8 hours. The specimens were evaluated by optical metallography, microhardness profile and through reciprocating ball-on-flat tribological tests. The selected nitriding parameters resulted, in the traditional treatments, the formation of a deeper nitrided layer, with the presence of fragile white layer with reduced wear resistance, in the active screen treatments the white layer formation was avoided, rising the wear resistance.

Keywords: Plasma nitriding. Active Screen. High Speed Steel. ASTM M2. Wear.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.