

AVALIAÇÃO DE TRATAMENTOS DE NITRETAÇÃO A PLASMA DO AÇO ASTM M2 COM A UTILIZAÇÃO DE TELA ATIVA E DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE FONTE DE POTÊNCIA

Leonardo Fonseca Oliveira, leonardo.fonseca@ufrgs.br¹

Edison Silva Lima, edison.lima@canoas.ifrs.edu.br²

Érica Munaretti, ericamunaretti@hotmail.com¹

Gelsa Edith Navarro Hidalgo, gelsaedith@ufrgs.br¹

Alexandre da Silva Rocha, alexandre.rocha@ufrgs.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre/RS – Caixa Postal 15021

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Canoas. Rua Doutora Maria Zélia Carneiro de Figueiredo, 870 - Canoas/RS

Resumo: A nitretação a plasma é um tratamento superficial que proporciona melhorias nas propriedades mecânicas e químicas dos materiais, como aumento de dureza, aumento de resistência ao desgaste e aumento de resistência à corrosão. O presente estudo tem como objetivo observar a influência do modelo de tratamento de nitretação a plasma com e sem o uso de tela ativa, com fonte de potência DC tradicional e pulsada, aplicado ao aço rápido AISI M2. Foram realizados tratamentos de nitretação a plasma com duração de 4 h, utilizando como parâmetros de tratamento temperatura de 773 K (500 °C), atmosfera gasosa composta por 76% N₂ e 24% H₂, pressão de 300 Pa (3 mbar), com método convencional, onde há incidência de descarga luminescente diretamente no substrato e tratamentos utilizando o método da tela ativa, em que o substrato fica isolado dos eletrodos do equipamento e a descarga luminescente incide em uma tela posicionada ao seu redor. Os tratamentos foram realizados utilizando dois tipos de configuração de fonte de potência: Fonte tradicional DC e fonte pulsada. Para caracterização da efetividade dos tratamentos as amostras foram submetidas a ensaios de rugosidade e microdureza, e análise metalográfica. Foi observado aumento de dureza superficial dos substratos na ordem de 500 HV_{0,1} para os tratamentos convencionais na ordem de 300 HV_{0,1} para tratamentos com tela ativa, a camada superficial afetada pelo tratamento se mostrou três vezes mais profunda nos ensaios convencionais em relação aos ensaios utilizando tela ativa. Não foi observada a formação de camada de compostos (camada branca) nos substratos submetidos aos tratamentos com tela ativa ao contrário do observado com o processo convencional.

Palavras-chave: Nitretação a Plasma, Tela Ativa, Aço ASTM M2, Aço Ferramenta.

1. INTRODUÇÃO

Tratamentos termoquímicos a plasma são utilizados por diversos setores industriais para aprimorar diferentes propriedades dos materiais através da modificação de sua microestrutura superficial, dentre os benefícios da aplicação deste tipo de tratamento estão o aumento de dureza superficial, melhoria de resistência ao desgaste, melhoria de resistência à corrosão e melhoria de resistência à fadiga (DOYLE et al., 2011; NISHIMOTO et al., 2013; XI et al., 2008).

A nitretação a plasma convencional (*direct current plasma nitriding* - DCPN) consiste na alteração superficial dos substratos através da introdução do nitrogênio no material (ALMEIDA et al., 2012). Neste tipo de tratamento, o potencial elétrico é aplicado entre o material (Cátodo), que fica posicionado no interior de uma câmara (Ânodo), submetido a uma atmosfera controlada de baixa pressão composta por N₂, H₂ e outros gases. A ionização da atmosfera desencadeia o fenômeno de descarga luminescente (plasma) onde os íons são acelerados e colidem contra o material, transferindo energia cinética e provocando limpeza e aquecimento do mesmo. O aumento de temperatura favorece a ação dos mecanismos de adsorção e difusão do nitrogênio na superfície do material (CASTELETTI et al., 2017; LI, Y. et al., 2010). A nitretação de aços geralmente ocasiona a formação de dois tipos distintos de camadas superficiais, sendo o primeiro a chamada zona de compostos (camada branca) que, dependendo da composição e geometria do substrato e dos parâmetros de tratamento, pode ser formada por nitretos de fase ϵ (Fe_{2,3}N) e γ' (Fe₄N). O segundo tipo de camada formado no tratamento é chamado de zona de difusão, localizada abaixo da camada de compostos, é onde os átomos de nitrogênio ficam dissolvidos em solução sólida intersticial e precipitados em nitretos formados com ferro, carbono ou elementos de liga, esta zona apresenta um gradiente de concentração de nitrogênio que decresce em direção ao núcleo do substrato. A zona de compostos e a zona de difusão afetam o desgaste em diferentes maneiras, dependendo do sistema tribológico aplicado e tanto a relação de fases quanto a profundidade das camadas formadas influenciam nas propriedades metalúrgicas (ALVES, 2001; HIRSCH, T. et al., 2004; ROCHA, A. da S. et al., 2003).

Diversos parâmetros influenciam nos resultados obtidos de um tratamento de nitretação a plasma, como, composição química, microestrutura e geometria do substrato, tempo de tratamento, temperatura, composição gasosa, pressão, tipo de fonte de potência, entre outros (AKBARI et al., 2010; REMBGES e OPPEL, 1993; ROCHA, A da S., 2000). Além disso, tratamentos convencionais DCPN apresentam problemas intrínsecos que influenciam na efetividade dos tratamentos, como a não homogeneidade de temperatura dentro da câmara, exposição dos substratos a arcos elétricos, efeitos de borda e Cátodo oco (FELIPE et al., 2008; MOHAMMADZADEH et al., 2014). Diferentes técnicas foram desenvolvidas com o intuito de eliminar ou minimizar os problemas da nitretação a plasma convencional, uma delas é a nitretação a plasma com o auxílio de tela ativa (*active screen plasma nitriding* – ASPN). Neste tipo de tratamento, uma tela (ou gaiola) é posicionada no Cátodo, os substratos são dispostos dentro desta tela e isolados do potencial elétrico da fonte, durante o tratamento o plasma surge ao redor da gaiola e os substratos ficam protegidos da ação direta da descarga luminescente (AHANGARANI et al., 2006; LI, C. X. et al., 2002).

O presente estudo busca verificar os efeitos de diferentes modelos de tratamentos de nitretação a plasma aplicados ao aço rápido ASTM M2 com relação ao aspecto superficial, rugosidade e aumento de dureza. Para isso, foram realizadas quatro abordagens diferentes de tratamentos de nitretação a plasma, variando o tipo de fonte de potência empregado (DC tradicional ou pulsada), aplicando metodologia convencional (DCPN) ou com a utilização de tela ativa (ASPN), sendo que todos os ensaios tiveram 4 horas de duração e parâmetros de tratamento (temperatura, pressão e mistura gasosa) semelhantes.

2. Material e métodos

As amostras utilizadas são compostas do aço ferramenta AISI M2, tem formato de discos com diâmetro de 32 mm e altura de 5 mm, previamente tratados termicamente por têmpera a 1423 K (1150 °C) e triplo revenimento de 813 K (540 °C) por 3 horas, com dureza média final de 920 ± 30 HV_{0,1}. Para os tratamentos de nitretação a plasma, as superfícies das amostras foram previamente preparadas seguindo os procedimentos de lixamento com granulometria gradual de 80, 100, 220, 320, 400, 600 e 1200 *mesh* e polimento com pasta de diamante de 3µm. Os parâmetros iniciais de rugosidade de uma amostra de referência pré-tratada são Ra: 0,03µm; Rq: 0,04µm e Rz: 0,25µm.

A composição química dos substratos apresentada na Tab. (1) exibe os dados fornecidos pelo fabricante, dados analisados por espectrometria de emissão ótica utilizando o equipamento Bruker Q2 ION e dados normatizados da composição química do aço rápido ASTM M2 (ASTM, 2014).

Tabela 1. Composição química, em porcentagem de massa.

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Fe
Fabricante	0,85	0,30	0,30	4,10	5,00	2,00	6,10	-
Analisado	0,961	0,395	0,33	3,45	5,807	1,16	6,082	80,93
ASTM A600	0,78~0,88	0,20~0,45	0,15~0,40	3,75~4,50	4,50~5,50	1,75~2,20	5,50~6,75	-

Os tratamentos foram realizados utilizando uma câmara de nitretação a plasma desenvolvida no Laboratório de Transformação Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LdTM – UFRGS), ilustrada na Figura 1. Este equipamento é composto por uma câmara de vácuo cuja parede externa é eletricamente conectada ao aterramento elétrico do sistema e ao polo positivo da fonte de potência (Ânodo). Durante os tratamentos, as amostras ficam dispostas no interior da câmara posicionadas em uma plataforma porta-amostras acoplada a um eletrodo eletricamente conectado ao polo negativo da fonte de potência (Cátodo). O controle de pressão é realizado por um sistema composto por um módulo *MKS 600 Series Pressure Controller* em conjunto com uma bomba de vácuo. A mistura gasosa utilizada nos tratamentos é composta de 76% de gás nitrogênio (N₂) e 24% de gás hidrogênio (H₂) (mistura conhecida como gás marrom), inserida durante o tratamento através com auxílio do módulo *MKS Type 247D*. Durante os experimentos também é disposta uma amostra preparada especialmente com uma cavidade onde é apendido um sensor termopar tipo K para monitoramento da temperatura.

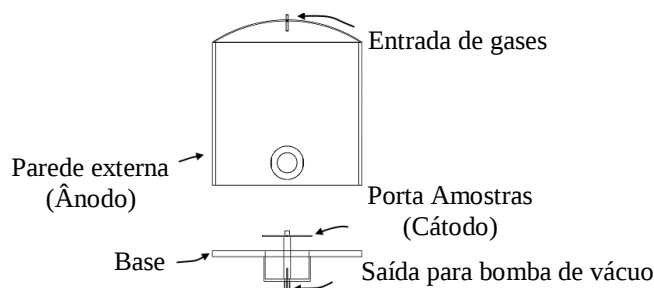


Figura 1. Ilustração da câmara de nitretação a plasma utilizada.

Ao todo foram realizados quatro tratamentos, todos na temperatura de 773 K (500 °C), com pressão de 300 Pa (3 mbar), utilizando a mesma mistura gasosa (gás marrom). Os parâmetros variáveis de cada tratamento, bem como as nomenclaturas utilizadas durante este trabalho estão apresentados na Tab. (2).

Tabela 2. Parâmetros dos tratamentos de nitretação a plasma.

Fonte de potência	Tela ativa	Nomenclatura
Tradicional	Não	rDCPN
Tradicional	Sim	rASPN
Pulsada	Não	pDCPN
Pulsada	Sim	pASPN

A energia fornecida pela fonte de potência tradicional DC é controlada pelo uso de um autotransformador variável acoplado em um transformador monofásico convencional conectado a uma ponte retificadora, a fonte é conectada nos eletrodos da câmara de tratamento sem o uso de filtros.

A fonte pulsada é composta por um circuito de chaveamento transistorizado que opera com 10 kHz de frequência, a potência fornecida é controlada pela variação do ciclo de trabalho do circuito de chaveamento, o fonte fornece energia no formato de onda quadrada.

Durante os tratamentos a potência das fontes foi controlada para que a temperatura se mantivesse estável. A Figura 2 retrata a disposição dos substratos antes (Fig. 2.A) e durante (Fig. 2.B) os tratamentos de nitretação a plasma no modelo convencional DCPN. Em cada ensaio duas amostras são submetidas ao tratamento, acompanhadas de uma terceira amostra utilizada para medição de temperatura por auxílio de um termopar, as amostras são posicionadas de forma equidistante, pois a heterogeneidade de temperaturas no interior da câmara de plasma é um fator influente nos resultados obtidos (FELIPE et al., 2008).

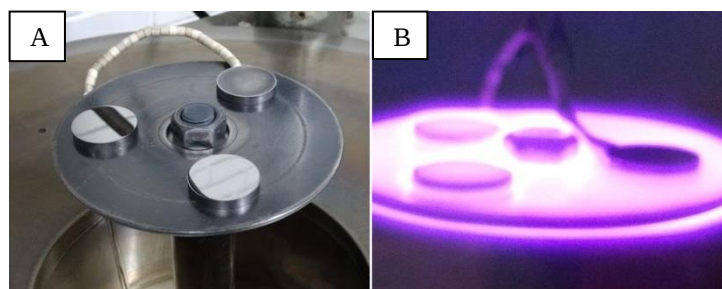


Figura 2. (A) Disposição dos substratos na plataforma porta-amostras antes do tratamento. (B) Amostras envoltas pela descarga luminescente (plasma) durante o tratamento.

Para os ensaios da categoria ASPN as amostras são tratadas em potencial elétrico flutuante, para isso ficam alocadas em uma base sustentada por um cilindro cerâmico isolante posicionado no interior da tela ativa (uma gaiola cilíndrica construída com chapa expandida de aço inox 306). A Figura 3 exibe o arranjo utilizado para este tipo de tratamento, antes (Fig. 3.A) e durante (Fig. 3.B) o processo, esta tela forma um Cátodo ao redor dos substratos que durante o tratamento reduz a ação de fenômenos que prejudicam sua integridade superficial, como arco elétrico e pulverização. As amostras também foram posicionadas equidistantes de forma a igualar a influência causada pela distância entre a tela ativa e os substratos (LI, C. X., 2010).

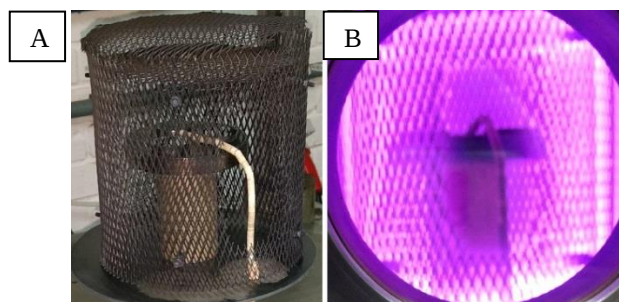
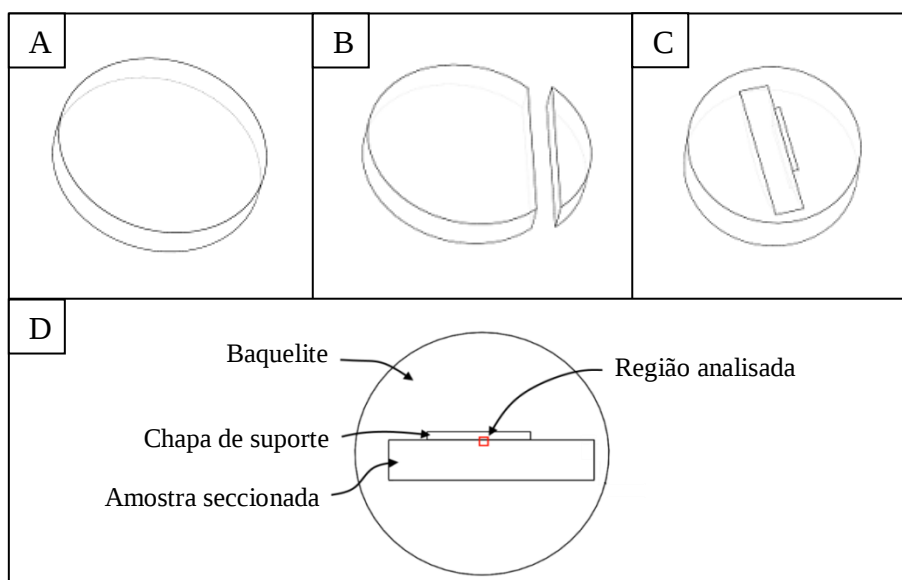


Figura 3. (A) Disposição das amostras na plataforma isolada no interior da tela ativa antes do tratamento. (B) Amostras submetidas ao tratamento de nitretação com tela ativa com plasma cobrindo a gaiola.

Para execução dos tratamentos, depois de posicionados os substratos, a pressão base interna da câmara é configurada em 10 Pa (0,1 mbar), então é adicionada a mistura gasosa até uma pressão inicial de 50 Pa (0,5 mbar). O potencial elétrico é aplicado gradualmente até que ocorra a descarga luminescente, é importante ressaltar que nos momentos iniciais do tratamento ocorrem muitas descargas elétricas localizadas (*sputtering* e arco elétrico) devido a presença de impurezas, estas descargas podem prejudicar a integridade superficial das amostras e a qualidade dos tratamentos. Após estabilização do sistema, a potência elétrica fornecida e a pressão interna da câmara são elevadas de forma a atingir os parâmetros de tratamento desejados. Quando a temperatura desejada é alcançada, a contagem do tempo de tratamento é iniciada e então, a temperatura é mantida constante com uma tolerância de ± 5 °C durante o tratamento.

Na face superior das amostras foram realizadas as análises visual e de rugosidade. A Figura 4 ilustra o procedimento utilizado para a realização das análises na seção transversal, onde as amostras mostradas na Fig. 4.A foram seccionadas (Fig. 4.B) com auxílio da máquina Allied Techcut 4, utilizando disco diamantado de 10,16 cm de diâmetro a 200 rotações por minuto. Após o corte, cada amostra foi embutida em baquelite com a seção transversal exposta e acompanhada de uma pequena chapa metálica para diminuir o efeito de abaulamento causado pela preparação metalográfica e facilitar as análises microscópicas (Fig. 4.C). Os procedimentos de preparação metalográfica de lixamento gradual foram aplicados utilizando lixas de 100, 220, 320, 400, 600 e 1200 *mesh*, com polimento posterior com aplicação de pasta de diamante de 3 μm e ataque químico com reagente nital 2%. As análises que foram realizadas na seção transversal se concentram na região central indicada na Fig. 4.D e tem como objetivo verificar a profundidade das camadas tratadas, para isso foram realizadas análises metalográficas com microscópio ótico e microscópio eletrônico de varredura (MEV), além de perfil de dureza de microindentações (microdureza).



j

Figura 4. Ilustrações das etapas de preparação das amostras para análises de profundidade de camadas.
(A) Amostra antes de ser seccionada. (B) Amostra depois de seccionada. (C) Amostra embutida em baquelite, com a seção transversal exposta e acompanhada de uma pequena chapa metálica.

Os ensaios de rugosidade foram realizados utilizando um perfilômetro apalpador mecânico Mitutoyo SJ-210. Os parâmetros de rugosidade R_a , R_q e R_z (μm) representam as médias e desvio padrão de quatro medidas em posições e sentidos diferentes nas amostras.

Análises da seção transversal utilizando microscópio ótico (OLYMPUS GX51) expõem a profundidade da zona de difusão originada pelos tratamentos, e imagens utilizando microscópio eletrônico de varredura auxiliam na identificação da espessura da zona de compostos formada na extremidade das amostras. As imagens obtidas pelos microscópios foram examinadas com auxílio do software ImageJ.

Perfis de microdureza transversais expõem a gradiente de dureza da camada nitretada. Sendo assim, tais perfis foram realizados em cada seção transversal das amostras embutidas, na região central, com indentações aplicadas com carga de 0,1 kg por 10 s, partindo de uma indentação próxima à superfície (cerca de 25 μm de profundidade) e indo diagonalmente em direção ao núcleo da amostra, conforme ilustrado na Figura 5.

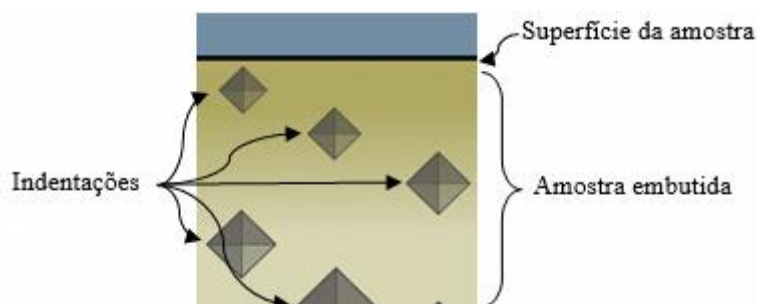


Figura 5. Ilustração demonstrando as indentações na seção transversal para construção do perfil de microdureza.

3. Resultados e discussão

3.1. Análise visual

A Figura 6 apresenta o aspecto visual macroscópico das amostras após os tratamentos. As amostras oriundas dos tratamentos convencionais (DCPN) apresentam aspecto opaco (Fig. 6.A), com pequenas imperfeições (ranhuras) ao longo da superfícies causadas pela exposição a arcos elétricos durante o tratamento, e além disso, a região da borda apresenta uma coloração diferenciada em relação a região central. Amostras provenientes de ensaios utilizando tela ativa (ASPN) apresentam aspecto mais brilhoso e homogêneo (Fig. 6.B), sem sinais de danos causados por arcos elétricos.

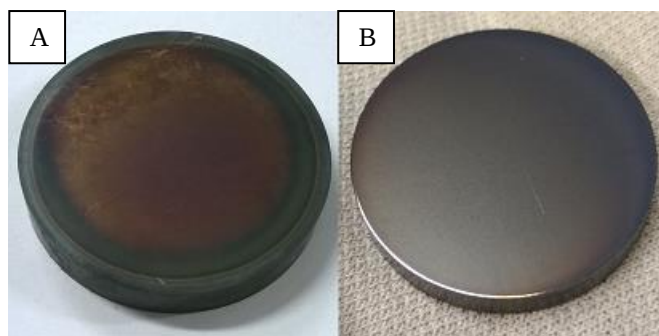


Figura 6. Comparação visual macroscópica entre amostras pós-tratamentos com 4 horas de duração. (A) Amostra rDCPN-4. (B) Amostra rASPN-4.

ALVES et al. (2013) atribuem a não-uniformidade nas camadas produzidas em ensaios convencionais devido a variações do campo elétrico nas extremidades das amostras e a homogeneidade dos tratamentos ASPN ocorre devido à blindagem do campo elétrico.

3.2. Rugosidade

A

Figura 7 exibe graficamente os valores das medições de rugosidade R_a (Fig. 7.A), R_q (Fig. 7.B) e R_z (Fig. 7.C) obtidas. Todos os parâmetros medidos exibiram comportamentos semelhantes nos ensaios. Comparando os tratamentos com e sem a utilização de tela ativa é possível observar que os tratamentos com tela ativa resultaram nas menores leituras de rugosidade e com medições semelhantes, ao contrário do tratamento rDCPN o qual, além de apresentar as maiores leituras de rugosidade, demonstrou grande desvio entre as leituras, considerado o tratamento mais agressivo e irregular. Segundo Pessin (1999), um dos benefícios da utilização de fontes pulsadas é a redução de danos superficiais causados por arcos elétricos durante o tratamento, o que pode ser verificado pela menor rugosidade apresentada.

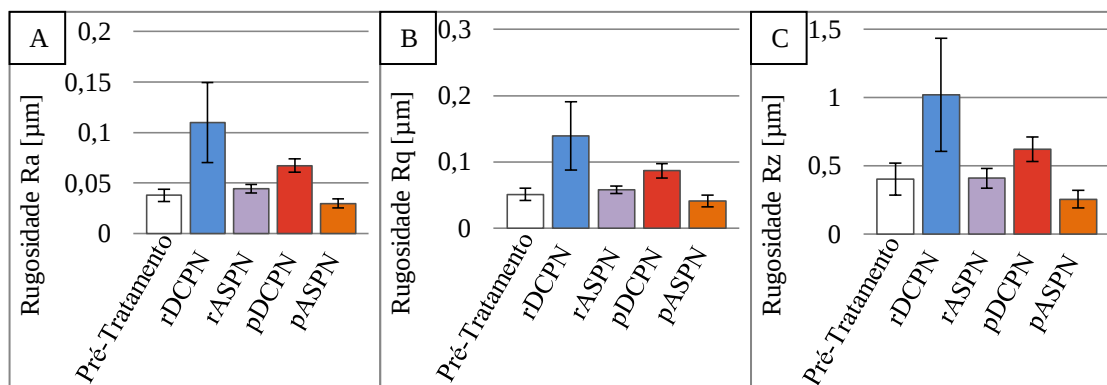


Figura 7. Gráficos comparativos de medidas de rugosidade. Parâmetro Ra. (B) Parâmetro Rq. (C) Parâmetro Rz.

3.3. Microscopia ótica

A Figura 8 expõe as metalografias da seção transversal das amostras tratadas, seccionadas, embutidas e atacadas. Nas amostras dos tratamentos convencionais DCPN (Fig. 8.A e 8.C) é possível observar uma estreita camada de compostos (camada branca, localizada na zona mais superficial das amostras) abaixo desta camada se encontra uma zona mais escurificada que representa a zona de difusão (MOHAMMADZADEH et al., 2014). Nos tratamentos ASPN (Fig. 8.B e 8.D) formaram-se camadas menos profundas e não é identificável a zona de compostos.

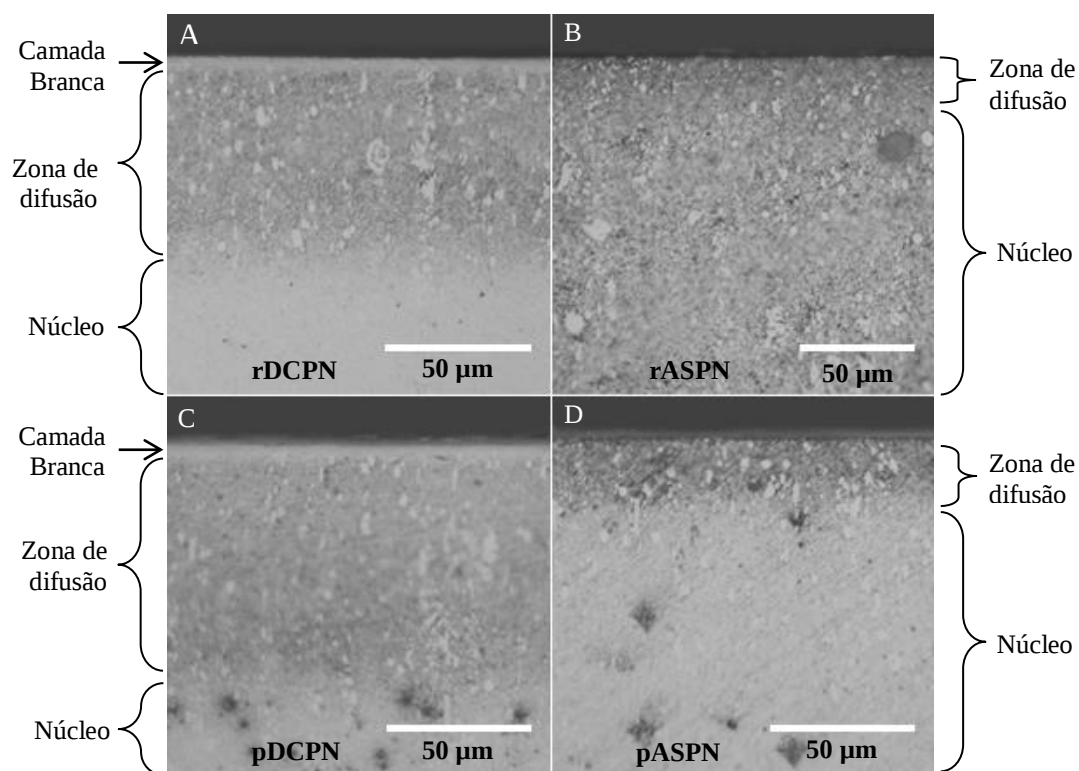


Figura 8. Seção transversal das amostras tratadas. (A) Amostra rDCPN; (B) Amostra rASP; (C) Amostra pDCPN; (D) Amostra pASP.

Com auxílio do software ImageJ foi estimada a profundidade das zonas afetadas pelo tratamento, zona de compostos e zona de difusão, de cada amostra, os valores são apresentados na Tab. (3).

Tabela 3. Profundidade das zonas afetadas pelos tratamentos

Tratamento	Profundidade da zona afetada [μm]
rDCPN	69,9
rASP	20,4
pDCPN	79,6
pASP	21,3

3.5. MEV

Imagens obtidas por microscópio eletrônico de varredura (Fig. 9) permitem análise mais detalhada da zona de compostos (camada branca). Nas amostras dos ensaios DCPN (Fig. 9.A e 9.C) é possível observar o surgimento de ranhuras após certa profundidade considerada a transição entre a zona de compostos e a zona de difusão. Nos tratamentos ASPN (Fig. 9.B e 9.D) não foi possível identificar a zona de compostos, portanto acredita-se que tenha se formado apenas zona de difusão. A profundidade estimada para a zona de compostos originada no tratamento rDCPN (Fig. 9.A) é de 4,15 μm , já no tratamento pASP (Fig. 9.C) 4,55 μm .

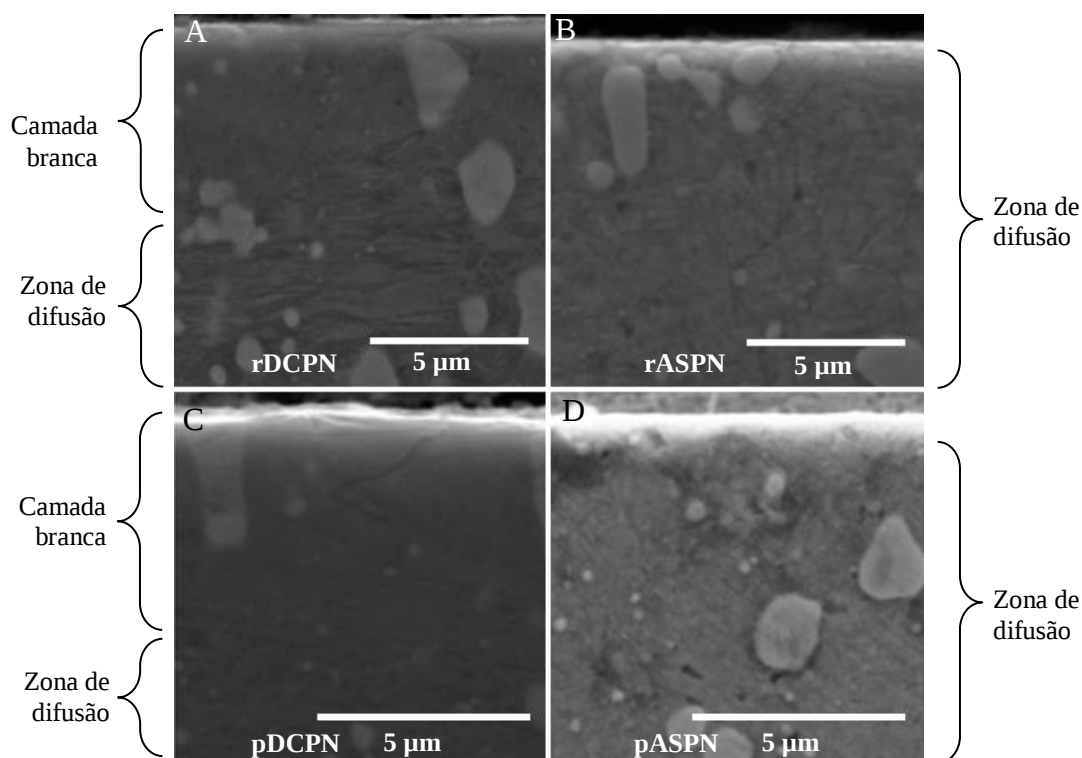


Figura 9. MEV da seção transversal das amostras oriundas dos tratamentos. (A) Amostra rDCPN; (B) Amostra rASP; (C) Amostra pDCPN; (D) Amostra pASP.

3.6. Perfil de microdureza

A Figura 10 apresenta os perfis de microdureza da seção transversal das amostras. As medições apresentadas em 0 μm de distância foram medidas em indentações realizadas na superfície da amostra, em ângulo normal. Todos os tratamentos apresentaram aumento de dureza próximo à superfície, entretanto os tratamentos com o uso de tela ativa geraram camadas menos profundas que os tratamentos convencionais. A profundidade das camadas pode ser determinada até o momento que as medições de dureza estabilizam em aproximadamente 920 $\text{HV}_{0,1}$ (dureza de núcleo média das amostras). As análises por este método revelam a gradiente de dureza que se estende a profundidades além das observadas nas metalografias. Comparando com a dureza de núcleo, a gradiente de dureza apresenta camadas cerca de 30 μm mais profundas que as observadas por microscopia ótica. Os tratamentos DCPN apresentaram dureza

superficial menor que medidas de dureza pouco abaixo da superfície, já os tratamentos ASPN apresentam na superfície dureza maior que as durezas do interior do substrato.

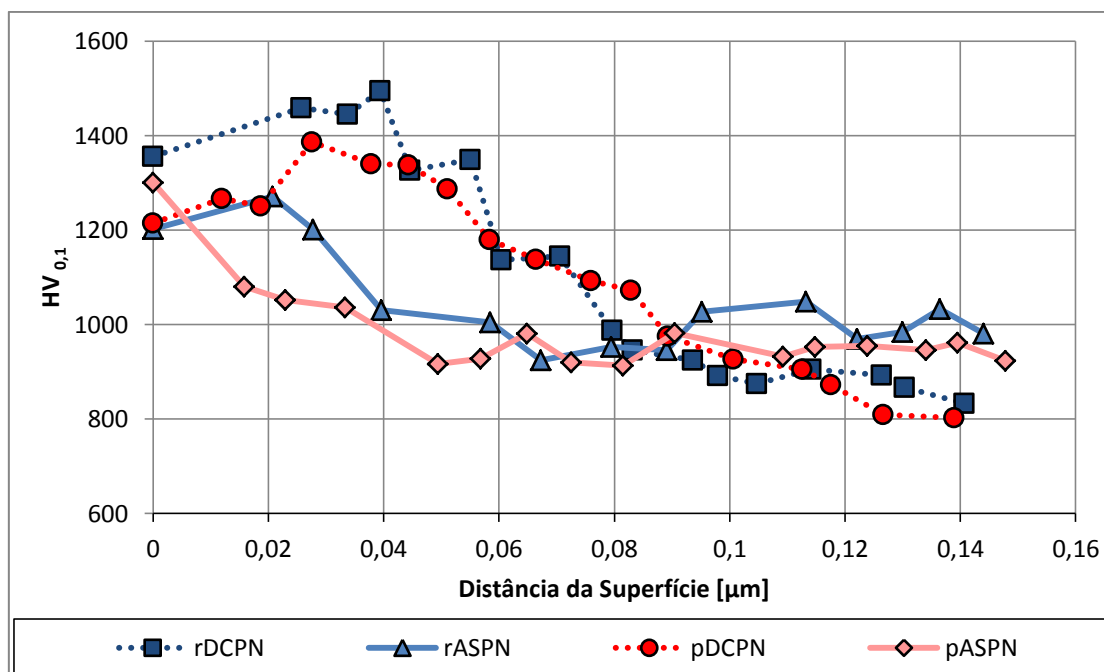


Figura 10. Perfis de microdureza da seção transversal das amostras tratadas.

4. CONCLUSÕES

Os tratamentos utilizando tela ativa são menos agressivos e resultaram em amostras com aspecto superficial mais reflexivo e com menos danos superficiais e a rugosidade neste tratamento é pouco alterada em relação à condição das amostras pré-tratamento.

No tratamento com fonte DC tradicional e plasma convencional, as leituras de rugosidade apresentaram grande desvio o que indica heterogeneidade da superfície após o tratamento. As medidas também chegaram a triplicar de valor quando comparada com as condições dos substratos pré-tratamento. O mesmo tratamento com fonte pulsada resultou em uma superfície mais homogênea e um aumento de rugosidade mais sutil, na ordem de duas vezes quando comparado com amostras pré-tratamento.

Com relação às medições de dureza e análise da seção transversal todos os tratamentos apresentaram aumento de dureza em comparação ao núcleo das amostras, sendo que os tratamentos DCPN apresentaram camadas cerca de quatro vezes mais profundas que os tratamentos ASPN. A gradiente de dureza dos tratamentos DCPN apresenta um comportamento de aumento inicial próximo à superfície e depois redução gradual até a dureza de núcleo. Já a gradiente de dureza das amostras ASPN apresentaram apenas um comportamento de redução da dureza desde a superfície até a região não tratada. A variação da fonte de potência não apresentou mudanças significativas nos resultados quanto a estes quesitos.

Não foi observada a formação de zona de compostos nos tratamentos ASPN.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo auxílio da bolsa de mestrado e ao CNPq o apoio no âmbito do Processo 311348/2015-7, Produtividade em Pesquisa - PQ 2015, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Laboratório de Processamento Mineral (LAPROM) por auxiliar na aquisição das imagens de microscopia eletrônica de varredura e ao Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), por fornecer a estrutura para realização dos tratamentos a plasma e demais ensaios presentes neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- AHANGARANI, S.; MAHBOUBI, F.; SABOUR, A. R. Effects of various nitriding parameters on active screen plasma nitriding behavior of a low-alloy steel. **Vacuum**, 2006. v. 80, n. 9, p. 1032–1037.
- AKBARI, A. *et al.* Effect of the initial microstructure on the plasma nitriding behavior of aisi m2 high speed steel. **Surface and coatings technology**, 2010. v. 204, n. 24, p. 4114–4120. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.05.042>>.
- ALMEIDA, E. A. Dos S. De; COSTA, C. E. Da; MILAN, J. C. G. Study of the nitrided layer obtained by different nitriding methods. **Mpfi standard test methods**, 2012. p. 95–96.
- ALVES, C. Nitretação a plasma: fundamentos e aplicações. **Natal: edufpr**, 2001. p. 1–108. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Nitreta??o+a+Plasma:+Fundamentos+e+Apl ica??es#0>>.
- ALVES, C.; ARAÚJO, O. F. DE; SOUSA, M. De R. R. DE. Comparison of plasma-assisted nitriding techniques. In: WANG, Q. J.; CHUNG, Y.-W. (Org.). **Encyclopedia of tribology**. Boston, MA: Springer US, 2013, p. 402–410.
- ASTM. A600 - 92a standard specification for tool steel high speed. 2014. v. i, n. Reapproved 2016, p. 1–13.
- CASTELETTI, L. C.; NETO, A. L.; TOTTEN, G. E. **Plasma nitriding of steels**. [S.l.]: [s.n.], 2017.
- DOYLE, E. D. *et al.* Nitriding of high speed steel. **International heat treatment and surface engineering**, 2011. v. 5, n. 2, p. 69–72. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/174951411X12956208225348>>.
- FELIPE, A. *et al.* Heterogeneidade de temperaturas em fornos de nitretação a plasma non-homogeneous temperature distribution in plasma nitriding furnace. 2008. v. 4, p. 37–43.
- HIRSCH, T. *et al.* Residual stress-affected diffusion during plasma nitriding of tool steels. **Metallurgical and materials transactions a**, 2004. v. 35, n. 11, p. 3523–3530. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11661-004-0189-2>> DO - 10.1007/s11661-004-0189-2>.
- LI, C. X. Active screen plasma nitriding – an overview. **Surface engineering**, 2010. v. 26, n. 1–2, p. 135–141. Disponível em: <<http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/174329409X439032>>.
- LI, C. X.; BELL, T.; DONG, H. A study of active screen plasma nitriding. **Surface engineering**, 2002. v. 18, n. 3, p. 174–181. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/maney/se/2002/00000018/00000003/art00005>>.
- LI, Y. *et al.* Plasma nitriding of 42crmo low alloy steels at anodic or cathodic potentials. **Surface and coatings technology**, 2010. v. 204, n. 15, p. 2337–2342. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.01.003>>.
- MOHAMMADZADEH, R.; AKBARI, A.; DROUET, M. Microstructure and wear properties of aisi m2 tool steel on rf plasma nitriding at different n2-h2 gas compositions. **Surface and coatings technology**, 2014. v. 258, p. 566–573. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.036>>.
- NISHIMOTO, A. *et al.* Simultaneous duplex process of tin coating and nitriding by active screen plasma nitriding. **Surface and coatings technology**, 2013. v. 228, n. SUPPL.1, p. S558–S562. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.04.021>>.
- PESSIN, M. De A. **Caracterização de camadas nitretadas a plasma com o uso de uma fonte de potência pulsada**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- REMBGES, W.; OPPEL, W. Process control of plasma nitriding and plasma nitrocarburizing in industry. **Surface and coatings technology**, 1993. v. 59, n. 1–3, p. 129–134.
- ROCHA, A. Das; STROHAECKER, T.; HIRSCH, T. Effect of different surface states before plasma nitriding on properties and machining behavior of m2 high-speed steel. **Surface and coatings technology**, 2003. v. 165, p. 176–185.

ROCHA, S. **Influência do estado superficial prévio na nitretação a plasma do aço aisi m2.** [S.l.]: [s.n.], 2000.

XI, Y. Tao; LIU, D. Xin; HAN, D. Improvement of corrosion and wear resistances of aisi 420 martensitic stainless steel using plasma nitriding at low temperature. **Surface and coatings technology**, 2008. v. 202, n. 12, p. 2577–2583.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

AISI M2 TOOL STEEL PLASMA NITRIDING TREATMENTS EVALUATION USING ACTIVE SCREEN AND DIFFERENT POWER SUPPLY SETUPS

Leonardo Fonseca Oliveira, leonardo.fonseca@ufrgs.br¹

Edison Silva Lima, edison.lima@canoas.ifrs.edu.br²

Érica Munaretti, ericamunaretti@hotmail.com¹

Gelsa Edith Navarro Hidalgo, gelsaedith@ufrgs.br¹

Alexandre da Silva Rocha, alexandre.rocha@ufrgs.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre/RS – Caixa Postal 15021

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Canoas. Rua Doutora Maria Zélia Carneiro de Figueiredo, 870 - Canoas/RS

Abstract: Plasma nitriding is a surface treatment that improves mechanical and chemical properties of materials, such as hardness increase and wear and corrosion resistance. The present work aims to study different methods of plasma nitriding treatment in AISI M2 high speed tool steel. Treatments were carried out with and without the use of an active screen, using a DC power supply and a pulsed power supply. The nitriding setups were performed as follows: 4 hours of treatment time at a temperature of 500 °C (773 K), using a gas mixture composed of 76% N₂ e 24% H₂ at a pressure of 300 Pa (3 mbar), using the conventional method were the glow discharge happens directly on the samples and the active screen method, where samples are isolated from the electrodes and the glow discharge develops only in the surrounding screen. Samples were subjected to roughness and microhardness tests and metallography analysis. In the conventional procedures hardness increase of approximately 500 HV_{0,1} was observed while in the active screen treatments the hardness increase was approximately 300 HV_{0,1}. The depth of the treatment affected layer is in general three times deeper in the conventional method than the active screen treatment's samples affected layer depth. The formation of the compound layer (white layer) was only observed in the samples subjected to the conventional treatment method.

Keywords: Plasma Nitriding, Active Screen, ASTM M2 Steel, Tool Steel.