

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DA CARBONITRETAÇÃO A PLASMA NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 304

Pedro E. Dambroz¹; Adonias R. Franco Jr².
pdambroz@tecvix.com.br

¹ Tecvix Planejamento e Serviços Ltda.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES

RESUMO

Este estudo tem como propósito aplicar o processo de carbonitretação a plasma ao aço inoxidável austenítico AISI 304 avaliando a influência da temperatura e do tempo sobre a resistência ao desgaste do material. A carbonitretação por plasma visa melhorar a resistência ao desgaste abrasivo do material, sem reduzir a sua resistência à corrosão. Os experimentos de nitretação foram realizados usando as seguintes condições: atmosfera gasosa contendo 77,5% de N₂, 20% de H₂ e 2,5% de CH₄, pressão 333 Pa, tempos de 1, 3, 6 e 9 horas e temperaturas de 440°C, 470°C e 500°C. Os ensaios de microdesgaste do tipo esfera livre permitiram determinar o coeficiente de desgaste (k) e o volume desgastado (V) em função da distância deslizada (L). O melhor resultado se verificou quando a carbonitretação foi realizada a 470 °C por 3 h, obtendo-se uma diminuição de k em 16,6% e uma redução em V de 16,6%. Sob essas condições ocorreu a formação de uma camada de austenita expandida mais uniforme e livre de precipitados. Com o aumento da temperatura, verifica-se que ocorre um espessamento da camada nitretada e a precipitação de nitretos e uma diminuição da resistência ao desgaste do material.

Palavras-chave: Aço AISI 304; Microdesgaste; Carbonitretação; Plasma.

1. INTRODUÇÃO

Uma das famílias mais importante dos aços inoxidáveis, em razão da sua gama de aplicações e dos vários tipos existentes, são os aços inoxidáveis austeníticos. Esses materiais são utilizados nos mais diversos campos da indústria, tais como papel e celulose, química, petroquímica, farmacêutica, alimentícia, automobilística e construção na fabricação de cubas de reatores nucleares, trocadores de calor,

tubulações de óleo, fornos e caldeiras.⁽¹⁾ Eles apresentam alta resistência à corrosão, boa ductilidade e conformabilidade, porém suas características de desgaste e de dureza são baixas, o que têm restringido suas aplicações tribológicas e triboquímicas.^(2,3)

As exigências do mercado mundial atual, como melhores propriedades e menores custos, têm exigido da comunidade científica, principalmente a engenharia de superfícies, estudos aprofundados em busca de novas técnicas e/ou materiais que possam suprimir tais necessidades, uma vez que tratamentos termoquímicos convencionais podem ser usados para endurecer significativamente estas ligas passivas, mas em detrimento da sua resistência à corrosão, devido ao esgotamento induzido de precipitação de Cr na matriz.⁽⁴⁾

Várias técnicas vêm sendo empregadas com o objetivo de melhorar as características superficiais destes aços, dentre essas podem ser citadas a cementação, a nitretação e a carbonitretação por plasma.⁽⁵⁾ Através da carbonitretação por plasma, em temperaturas relativamente baixas (abaixo de 500°C), diversas pesquisas têm demonstrado resultados eficientes na obtenção de uma camada superficial com elevada dureza e resistência ao desgaste, sem reduzir sua resistência à corrosão.^(6,7,8)

Entretanto, esse processo não pode ser realizado em temperaturas superiores a 500°C, em virtude de um nível elevado de precipitação de complexos nitretos de cromo na zona de difusão,^(9,10,11,12) que eleva a dureza em detrimento da sensível diminuição da resistência à corrosão desses aços. A nitretação sob plasma permite introduzir nitrogênio no aço à baixa temperatura (inferiores a 500°C), fato suficiente para formar uma fase metaestável de elevada dureza, sem diminuir a resistência à corrosão, produzindo uma camada enriquecida com nitrogênio a cerca de 20 μm de espessura. A literatura descreve essa fase como uma solução sólida supersaturada de nitrogênio na austenita metaestável. Segundo os autores Dong (2010)⁽³⁾, Ichii et al. (1986)⁽¹³⁾, Tschiptschin (2010)⁽¹⁴⁾ e Lee (2009)⁽¹⁵⁾, essa fase apresenta um reticulado cristalino FCC altamente expandido, isento de nitretos, conduzindo a um elevado estado de tensões residuais de compressão na camada nitretada, sendo denominada de *fase S* ou *austenita expandida - N*. A supersaturação em nitrogênio em conjunto com a expansão volumétrica no reticulado FCC pode ser observada pelo deslocamento para a esquerda dos picos de difração de raios X.

Já a cementação a plasma de baixa temperatura emprega carbono, em vez de nitrogênio, para formar uma camada de carbono enriquecida até cerca de 50 μm de espessura. Este processo é geralmente realizado em temperaturas entre 400 e 520°C durante até várias dezenas de horas. Em virtude da camada austenítica supersaturada de carbono apresentar espessura relativamente maior, esta possui excelente resistência à corrosão, boa resistência, uma elevada capacidade de suporte de carga e uma mudança moderada de dureza na interface, mas, em baixa temperatura, a camada cementada tem uma dureza menor do que a nitretada.

Uma combinação dos processos de nitretação e cementação a plasma em baixa temperatura tem sido realizada para melhorar ainda mais a qualidade da camada endurecida, denominada carbonitretação a baixa temperatura.^(*) Esse tratamento termoquímico introduz espécies de nitrogênio e carbono aos meios de plasma por incorporação simultânea de átomos de nitrogênio e carbono para a superfície dos aços inoxidáveis austeníticos a temperaturas abaixo de 500°C até várias dezenas de horas, sem indução de precipitados de nitreto e carboneto, o que resulta em uma estrutura de camada dupla composta de uma camada enriquecida-N (N) com um elevado teor de nitrogênio no topo de uma camada enriquecida-C (C) com um elevado teor de carbono⁽¹⁵⁾. As vantagens com uso do plasma incluem: melhora nas características superficiais de resistência ao desgaste, fadiga e corrosão,⁽¹⁶⁾ redução nos tempos de tratamento, ausência de fumos tóxicos ou resíduos produzidos, diminuição no consumo de energia e gás.⁽¹⁷⁾ Pye (2003)⁽¹⁸⁾ indica outras vantagens: aumento da resistência a fadiga, melhores características anti-corrosivas e menores riscos de distorção (assim como ocorre na nitretação).

O propósito deste trabalho foi investigar a influência dos parâmetros de temperatura e tempo (sobre as características da camada superficial endurecida produzida em aço inoxidável austenítico AISI 304 (liga Cr-Ni) através do tratamento termoquímico de carbonitretação a plasma.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram cortadas e usinadas a partir de uma barra cilíndrica com 31,5 mm de diâmetro e 3,0 mm de espessura. As superfícies das amostras foram lixadas com lixas d'água de granulometria 80, 120, 320, 400, 600 e 1.200#. A cada troca de lixa, as amostras foram lavadas por ultrassom em um banho de água destilada para eliminação de vestígios da granulometria anterior. Posteriormente, as amostras foram polidas na politriz com pasta de alumina de 1 μm e 0,3 μm , e lavadas novamente em banho de ultrassom e secas com ar quente. Os tratamentos termoquímicos de carbonitretação foram realizados em um reator a plasma pulsado Thor NP 5000, Figura 1.

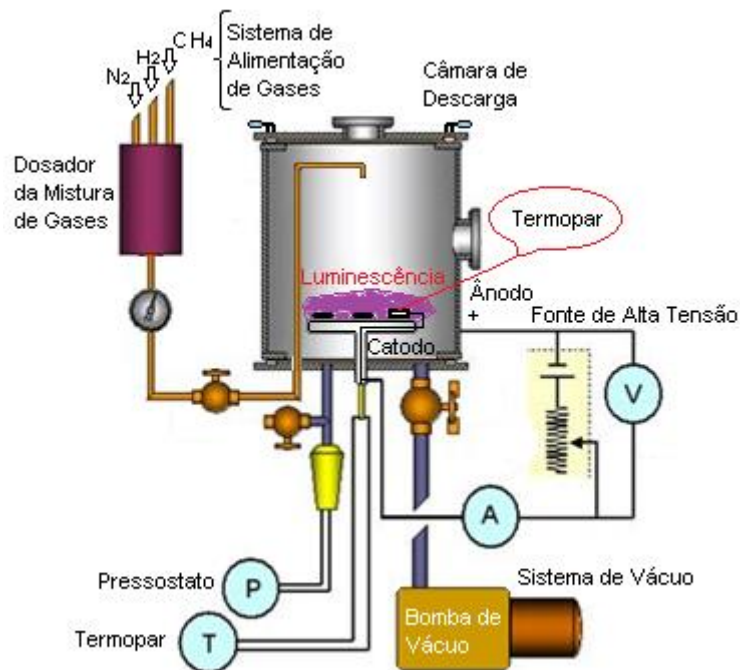


Figura 1: Esquema típico de um reator usado no processo a plasma.

Inicialmente foi realizado o processo de sputtering (limpeza) na amostra em atmosfera de H_2 (150 sccm) na temperatura de 150°C , com 1 torr (133 Pa) de pressão, por 30 minutos. Em seguida, foram injetados os gases de tratamento: 77,5% (310 sccm) de N_2 , 20% (80 sccm) de H_2 e 2,5% (10 sccm) de CH_4 , sob pressão de 2,5 torr (333 Pa), nos tempos de 1, 3, 6 e 9 horas. A carbonitretação foi realizada nas condições descritas para as temperaturas de 440°C , 470°C e 500°C . Após a carbonitretação, foram realizadas a caracterização e a identificação das fases formadas na camada de austenita expandida através das técnicas de difratometria de raios-X (DRX) e microscopia ótica (MO).

Os ensaios de microdesgaste do tipo esfera livre foram realizados nos intervalos de: 1500, 2250, 3000, 3750, 4500, 5250, 6000 e 6750 revoluções do eixo motor, possibilitando o cálculo da distância de deslizamento. A carga aplicada foi de 0,26 N ($\pm 0,02$). A rotação do eixo motor foi fixada em 150 rpm. A lama abrasiva foi preparada com 75 g de carbeto de silício (granulometria de $\pm 5 \mu\text{m}$ e de concentração $0,75 \text{ g/cm}^3$) e 100 ml de água destilada. As imagens das calotas após os ensaios de microdesgaste foram realizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Os ensaios de microdureza foram realizados em um Ultra Microdurômetro da marca Shimadzu, modelo DUH 211/211S.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a variação do volume removido com a distância percorrida para o aço AISI 304 não carbonitretado e carbonitretado sob as diferentes temperaturas. Verifica-se que as superfícies submetidas ao tratamento de carbonitreção a plasma em baixas temperaturas, $470 \text{ }^\circ\text{C} \times 3 \text{ h}$, $440 \text{ }^\circ\text{C} \times 6 \text{ h}$ e $500 \text{ }^\circ\text{C} \times 3 \text{ h}$, apresentaram as maiores resistências ao desgaste e o menor volume desgastado (avaliada a influência da temperatura e do tempo de carbonitreção a plasma na resistência ao desgaste do aço AISI 304). Por isso, as discussões a seguir serão feitas considerando-se essas três condições de carbonitreção.

As Figuras 2(a) e 2(b) mostram o coeficiente de desgaste (k) e do volume desgastado (V) em função da distância de deslizamento. O melhor resultado foi obtido em 470°C por 3 h, onde o valor de K passou de $1,251 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$ na matriz (material não carbonitretado) para $1,044 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{N}$ (material carbonitretado). Da mesma forma a amostra carbonitretada em 470°C por 3 h apresentou o menor volume removido durante os testes, que passou de 0,074 na matriz para $0,062 \text{ mm}^3$. Portanto, a amostra apresentou melhoria na resistência ao desgaste, cujo coeficiente de desgaste (k) aumentou em 16,6% e o volume desgastado foi reduzido em 16,6%. Observou-se também que, algumas amostras ensaiadas, o desgaste permanente é atingido antes e/ou após os 228 m. No entanto, o valor de K diminuiu entre os intervalos de tempo, indicando uma tendência à estabilidade.

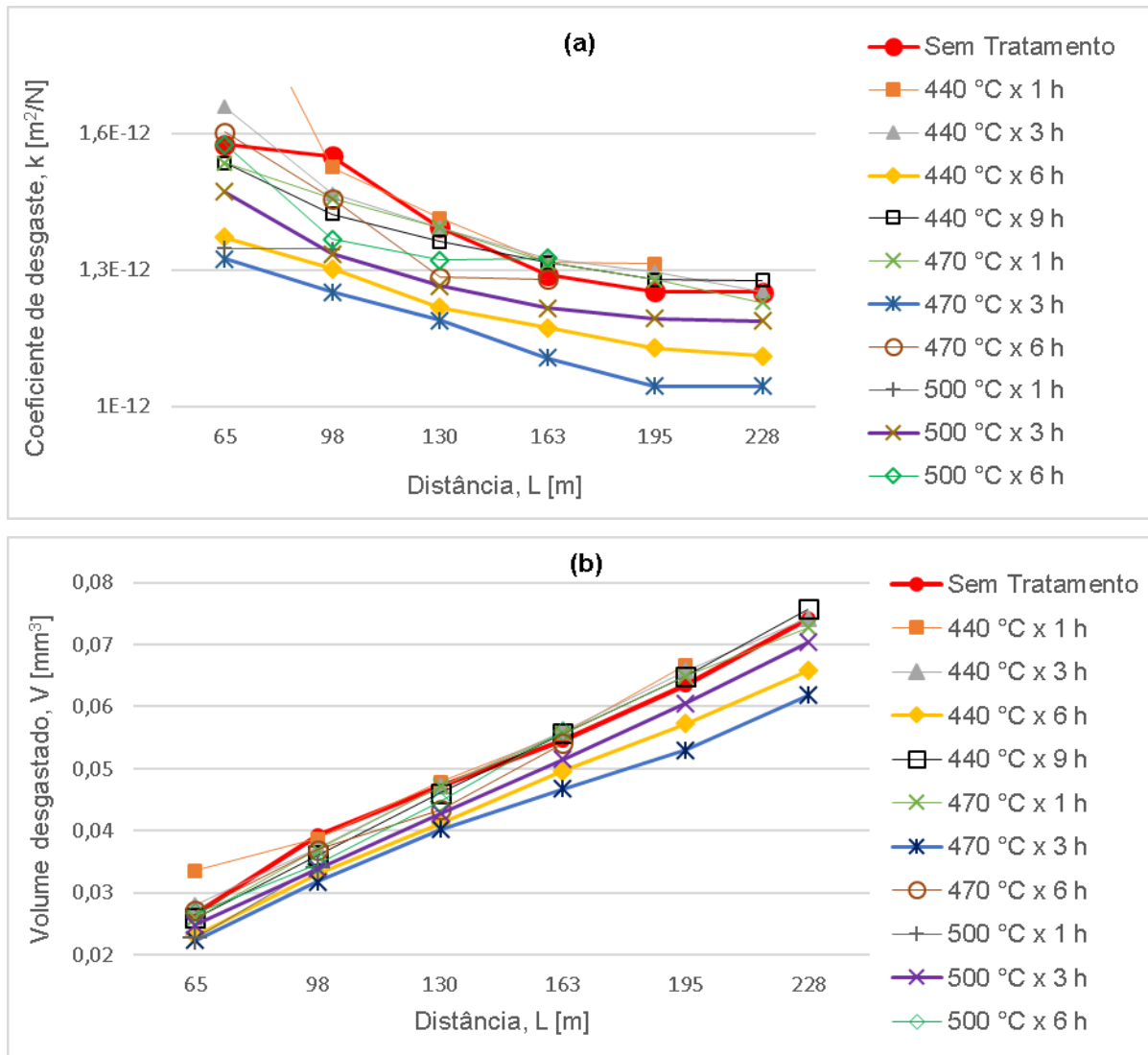


Figura 2 - (a) Variação do coeficiente de desgaste [k] e **(b)** Variação do volume de desgaste [V] em função da distância percorrida para o aço AISI 304 sem tratamento e carbonitretada a plasma em diferentes temperaturas e tempos. Carga 0,26 N ($\pm 0,02$) e rotação em 150 rpm.

Comparando as calotas apresentadas na Figura 3, nota-se que a superfície da amostra carbonitretada na temperatura de 470°C por 3 h (Figura 3(b)) apresenta maior homogeneidade em relação ao substrato (Figura 3(a)) e também das amostras tratadas em 440°C x 6 h e 500°C x 3h (Figura 3(c-d)). Observa-se que o mecanismo de desgaste por rolamento predomina em todas as amostras. Verifica-se a presença de alguns riscos que indicam um desgaste superficial por deslizamento nas amostras carbonitretadas a 470°C x 3 h e 440°C x 6 h e na amostra não carbonitretada.

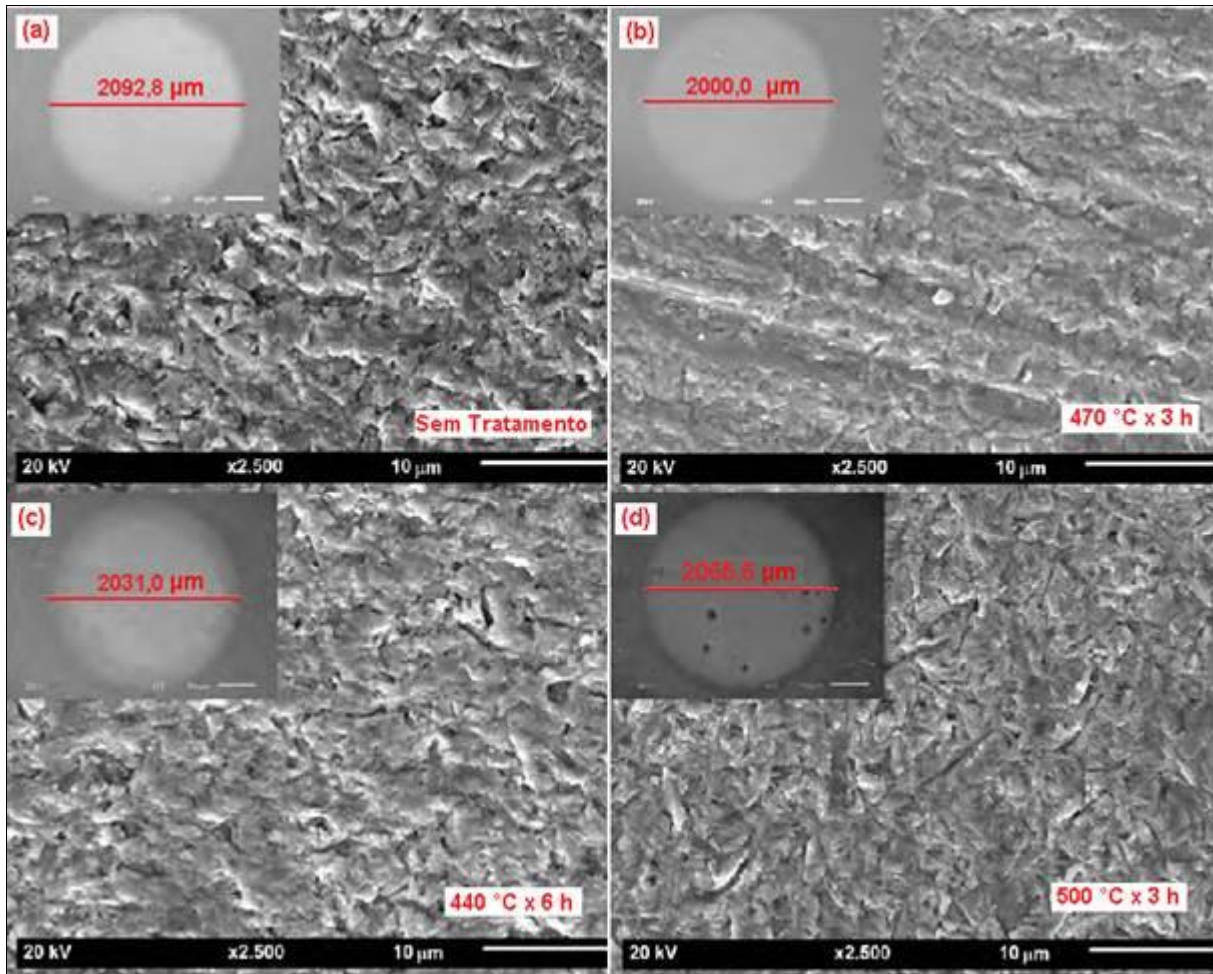


Figura 3. Imagens de MEV das calotas e suas respectivas ampliações obtidas após os ensaios de microdesgaste do aço AISI 304 (a) sem tratamento e carbonitretadas em (b) 470°C x 3 h, (c) 440°C x 6 h e (d) 500°C x 3 h. Aumentos de 35 e 2.500X.

À medida que se aumenta a temperatura, verifica-se que um aumento na espessura das camadas formadas. Além disso, observa-se o aparecimento de uma região mais clara internamente (interface com o substrato) e uma outra mais escura nas bordas e no centro. Uma outra constatação é que a proporção da parte escura também aumenta com a elevação da temperatura.

A espessura da camada de austenita expandida formada em 440°C x 6 h (Figura 4) está entre 19 e 23 μm e verifica-se a formação precipitados nas camadas duplex de austenita expandida (γ N e γ C), as quais possuem espessuras bem próximas. No início da camada observa-se uma região rica em nitrogênio (N) e no final uma fase rica em carbono (C). A retenção do nitrogênio no início da camada se deve à grande interação entre os átomos de nitrogênio com os de cromo^(19,20) e o aumento do gradiente da concentração de carbono com a profundidade da camada se deve a menor energia de ativação dos compostos de carbono em relação aos de

nitrogênio⁽²¹⁾. A austenita expandida apresentou-se ligeiramente atacada com água régia, o que indica maior resistência da região tratada em relação ao substrato do aço (que foi revelado).

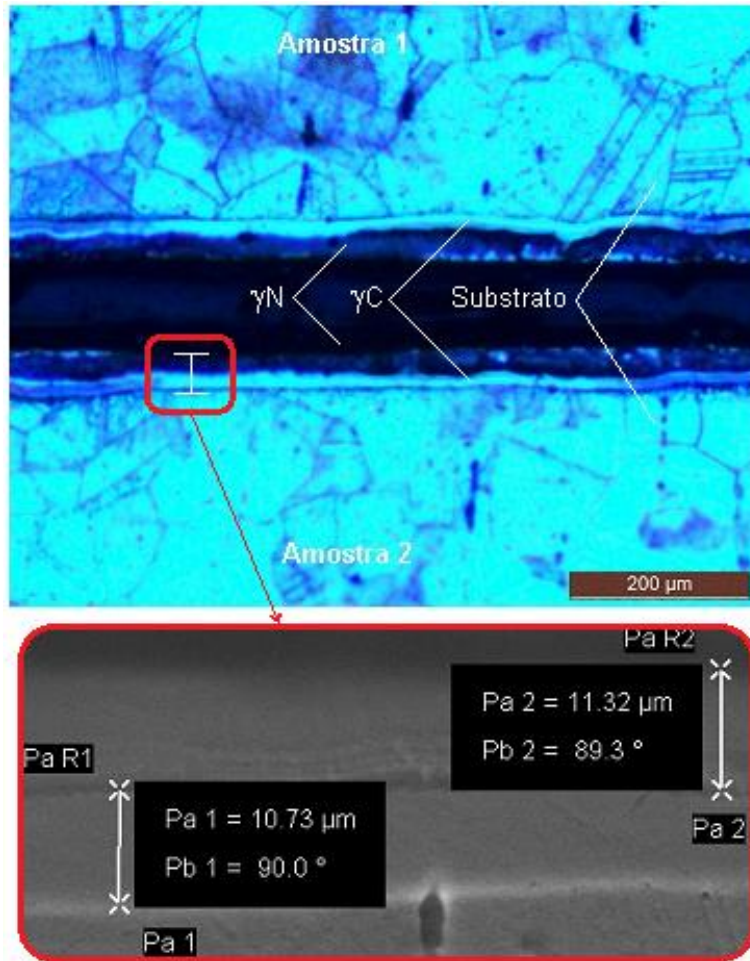


Figura 4. Imagem da microestrutura da seção transversal por MO e micrografia transversal da superfície do aço carbonitretado a plasma em 440°C x 6 h. Aumento 100x.

Na micrografia da amostra carbonitretada na temperatura de 470°C x 3 h (Figura 5), a austenita expandida possui espessura entre 27 e 32 μm e verificou-se também a formação de precipitados nas fases N e C. A fase N ficou mais espessa em relação à C, que manteve a mesma espessura obtida em 440°C.

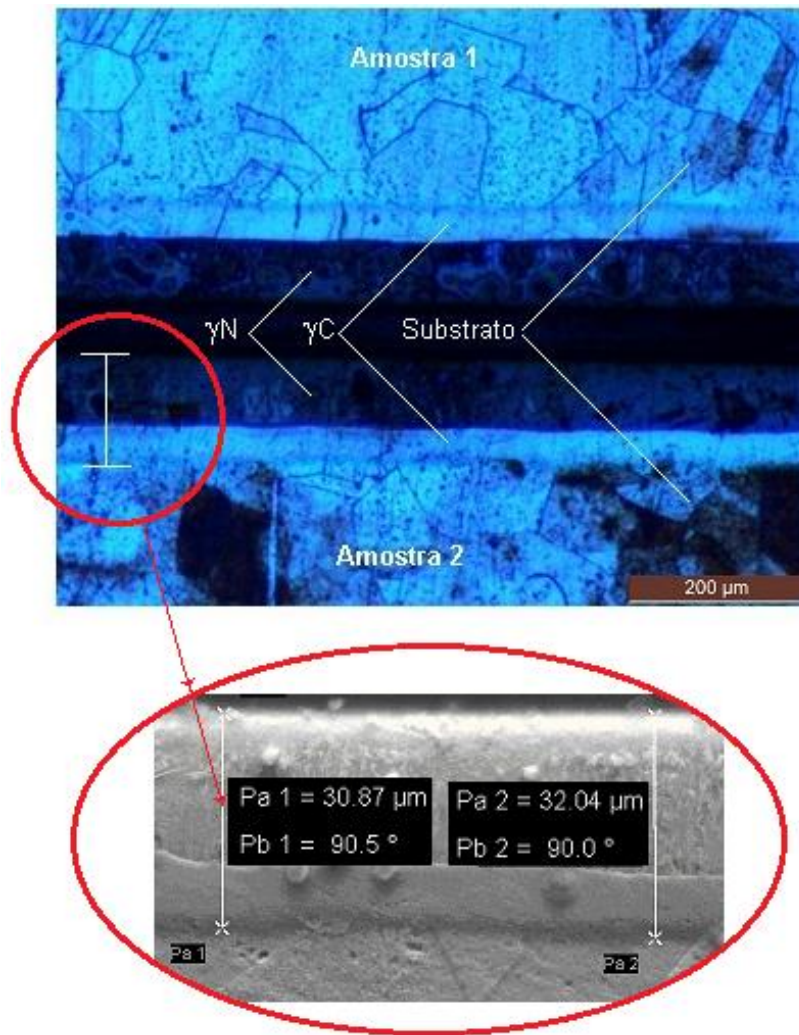


Figura 5. Imagem da microestrutura da seção transversal por MO e micrografia transversal da superfície do aço carbonitretado a plasma em 470°C por 3 horas. Aumento 100x.

A Figura 6 apresenta a camada carbonitretada formada na temperatura de 500°C. Essa camada é a mais espessa, com espessura entre 56 e 60 μm . A temperatura que a amostra foi submetida durante o tratamento termoquímico levou a maior formação de precipitados na austenita expandida, deixando-a mais suscetível ao ataque químico, o que levou ao seu maior escurecimento. A camada de austenita expandida rica em carbono (γC), bem como a camada de austenita expandida rica em (γN), se decompuseram em carbonetos e ferrita, o que deixou o material mais suscetível ao ataque químico. Tal fenômeno também foi observado por outros autores em processos de nitretação em altas temperaturas⁽²²⁾.

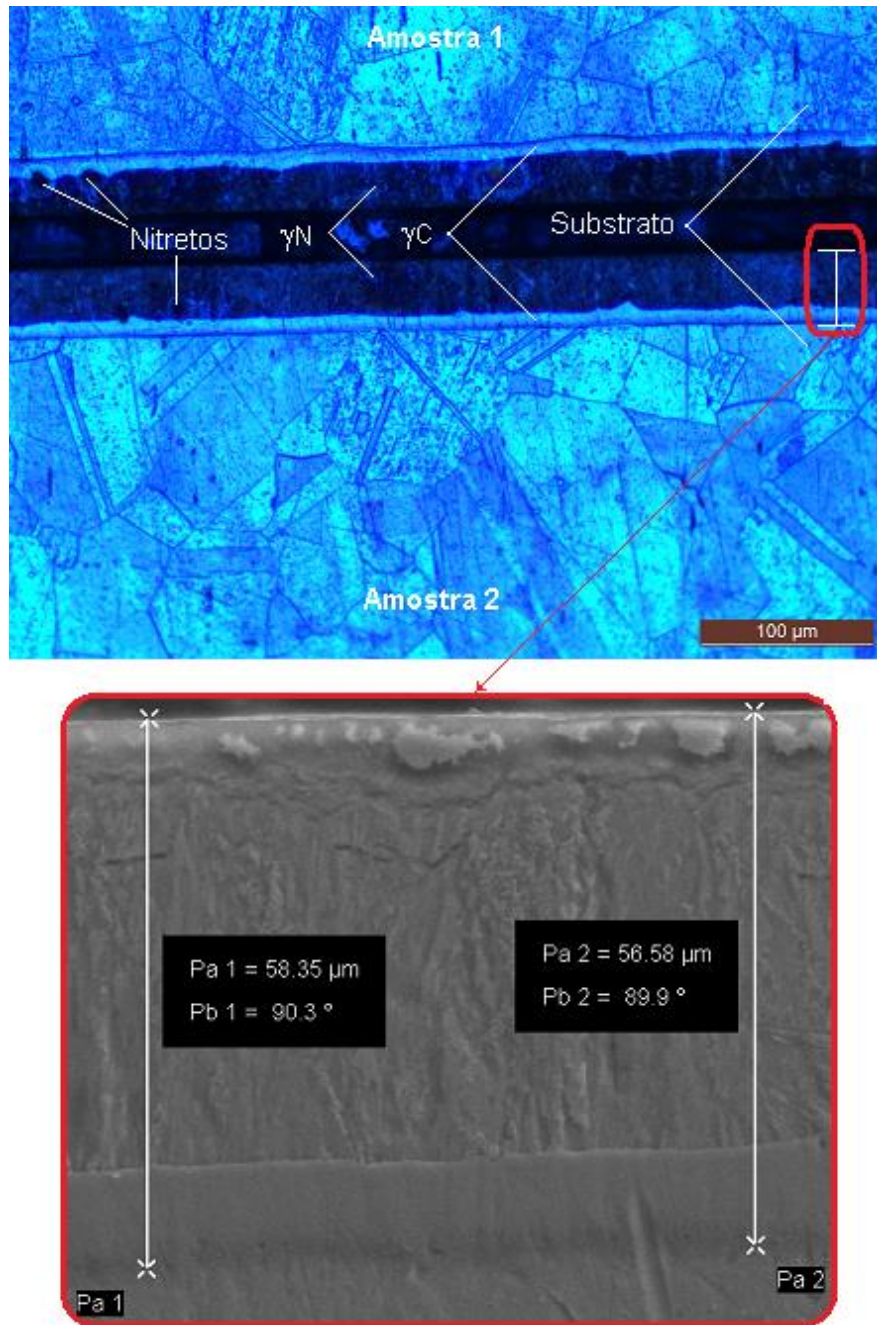


Figura 6. Imagem da microestrutura da seção transversal por MO e micrografia transversal da superfície do aço carbonitretado a plasma em 500°C por 3 horas. Aumento 100x.

As consideráveis espessuras das camadas encontradas podem ter sido causadas por sobreaquecimento durante o tratamento termoquímico, em vista que, não houve considerável aumento na resistência superficial. Além disso, o ataque com ácido mostrou estruturas bem nítidas, de aspectos diferenciados, com teores consideráveis de carbono. Apesar da resistência a oxidação em altas temperaturas, estes aços tratados termicamente por longo período de tempo, em temperaturas próxima a 550°C, tem tendência à corrosão intercrystalina próximo aos contornos de grãos e agregados de carbonetos, em atmosfera rica em nitrogênio e metano.⁽²³⁾

Os valores de coeficiente de difusão (D) apresentados na Tabela 2 indicam que com o aumento da temperatura há um aumento significativo dos valores de coeficiente de difusão. Verifica-se também que a difusividade do carbono é muito maior em relação ao nitrogênio na austenita. Em razão dos diferentes coeficientes de difusão gerarem diferentes gradientes de concentração na camada, o carbono alcança maiores profundidades de penetração, o que promove o espessamento da camada.

TABELA 2. Coeficiente de difusão (D) dos átomos de nitrogênio e carbono nas temperaturas de 440, 470 e 500°C aplicadas no tratamento de carbonitretação. As constantes D_0 e Q utilizadas nos cálculos foram extraídas do Bhadeshia (2006)⁽²⁴⁾. Os cálculos foram feitos a partir da Equação de Arrhenius.

Coeficiente de Difusão (D) (m ² /s)	440°C	470°C	500°C
Carbono	$0,33 \times 10^{-15}$	$0,89 \times 10^{-15}$	$0,23 \times 10^{-14}$
Nitrogênio	$0,51 \times 10^{-16}$	$0,16 \times 10^{-15}$	$0,45 \times 10^{-15}$

A Figura 7 apresenta os difratogramas de raios X da superfície das amostras do aço AISI 304 não carbonitretadas e carbonitretadas nas temperaturas de 440, 470 e 500°C.

Na amostra carbonitretada na temperatura de 440°C, verifica-se que houve alargamento e deslocamento dos picos (111) e (200) em relação aos da austenita do aço não carbonitretado. O pico correspondente ao plano (220) desapareceu e a intensidade das reflexões correspondentes aos planos (311) e (222) foram significativamente reduzidas. As alterações no comportamento dos picos de deslocamento e alargamento indicam a formação da austenita expandida (N e C) devido a ocupação dos átomos de nitrogênio e carbono nos sítios octaédricos da matriz austenítica (Fe). O grau de deslocamento dos picos é dependente do tipo e da quantidade de intersticiais⁽³⁾.

Na amostra carbonitretada a 470°C, foram detectados menos picos correspondentes a N + C e apareceram picos de nitretos e carbonetos.

No tratamento em 500°C, foram identificados picos de CrN, Fe₃C, Fe₃N e Fe₄N (γ'). A presença desses nitretos se confirmam nas micrografias apresentadas na Figura 6, onde se observou claramente a presença deles sob a forma de precipitados na camada rica em carbono (C) e nitrogênio (N).

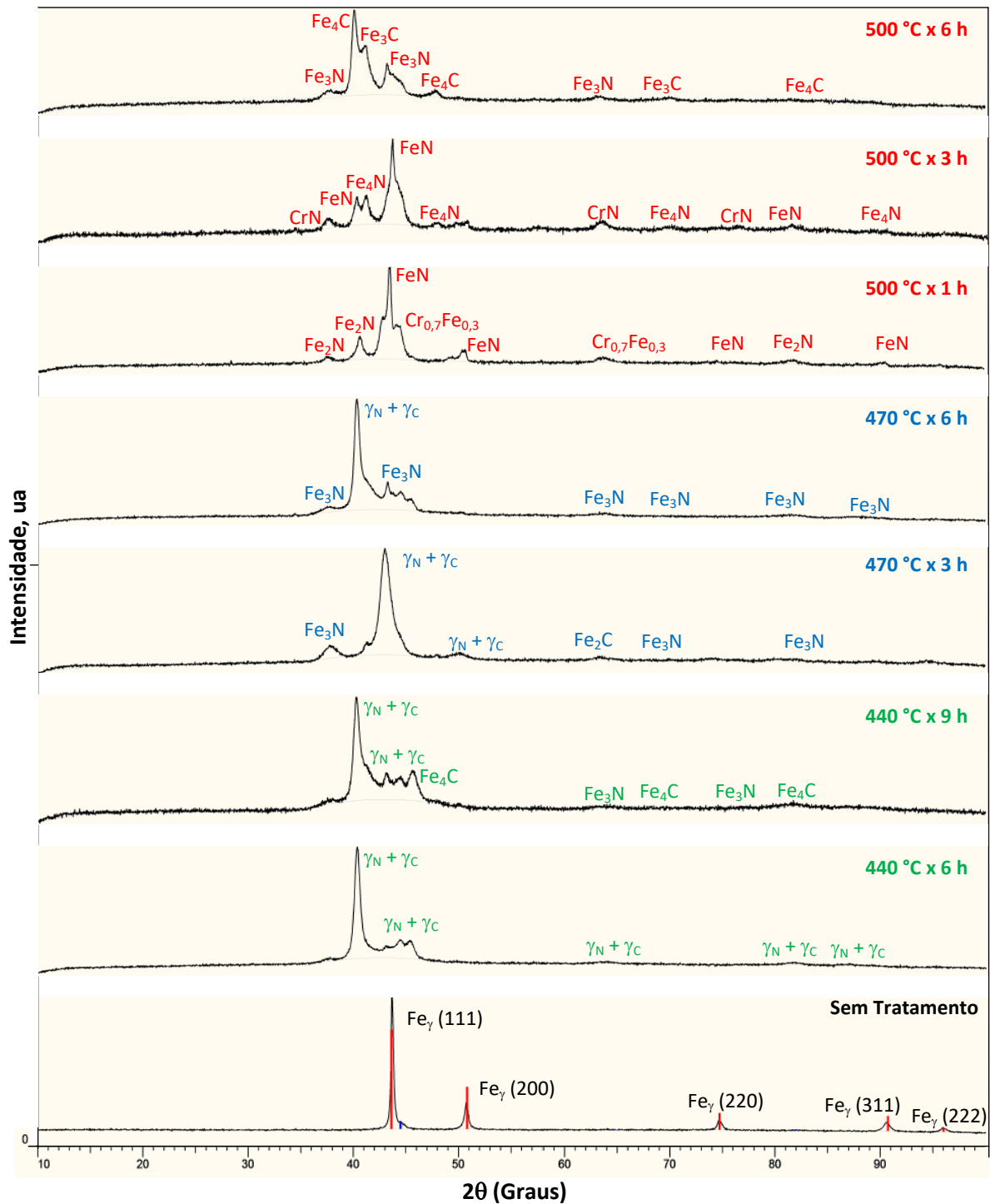


Figura 7. Difratoograma de raios-X (DRX) da superfície do aço AISI 304 sem tratamento e carbonitretada a plasma em 440, 470 e 500°C.

A maior resistência ao desgaste é apresentada pela camada de menor espessura e com região de menor proporção de regiões escuras, isto é, aquela que apresentou a fase S livre ou com menor proporção de nitretos e carbonetos.

Os valores de dureza medidos nas superfícies carbonitretadas nas temperaturas de 440, 470 e 500°C são apresentados na Figura 8 e na figura 9 o

desvio padrão, ou seja, a dispersão dos valores de dureza medidos em relação ao valor médio.

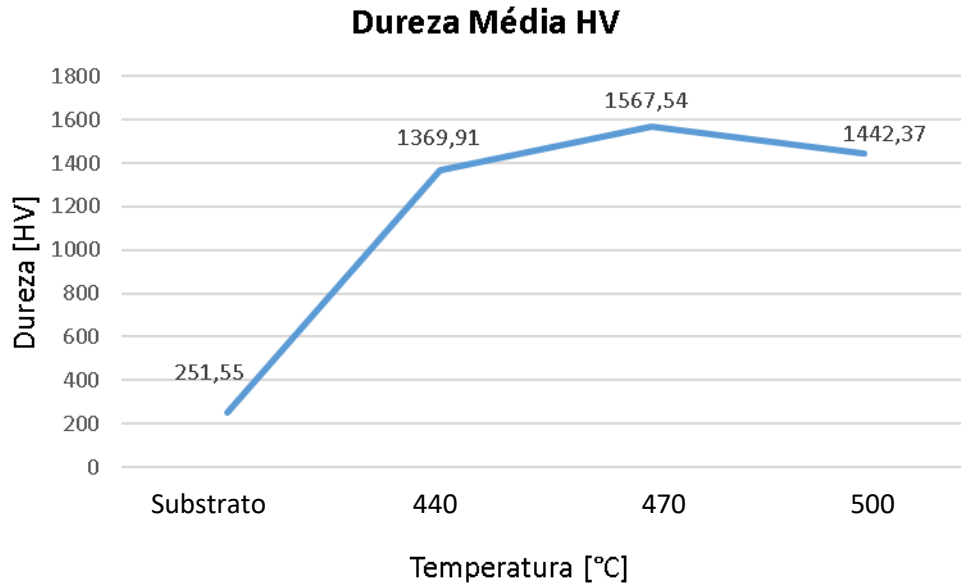


Figura 8. Média da dureza superficial em relação às temperaturas de tratamento.

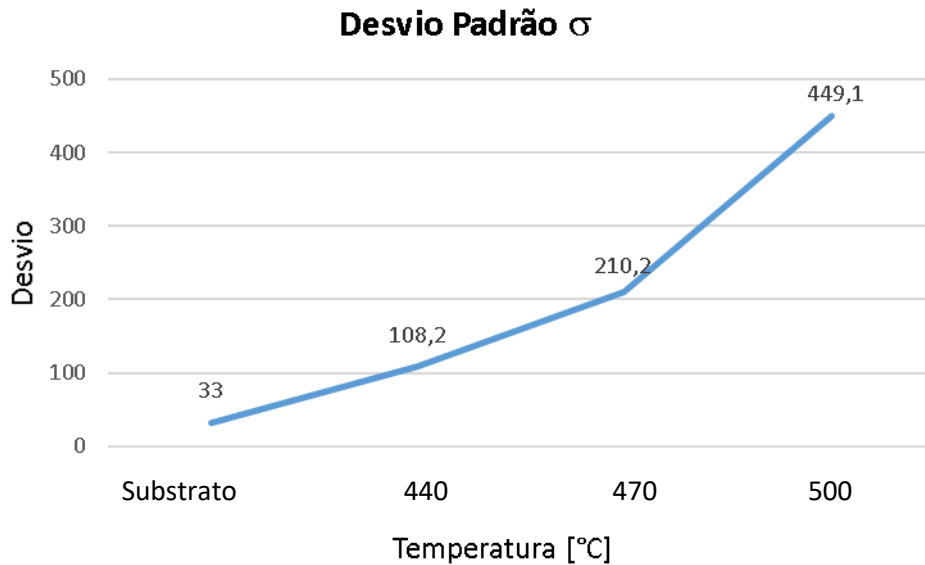


Figura 9. Desvio Padrão das medidas de dureza na superfície x temperaturas de tratamento.

A dureza superficial aumentou de forma considerável após a carbonitreção a plasma, subindo de 251 HV (substrato) para 1.370 HV (topo da camada) quando a amostra é carbonitretada na temperatura de 440°C. Com o aumento da temperatura para 440°C, atinge-se 1.567 HV. Aumentando a temperatura de carbonitreção para 500°C, no entanto, verifica-se uma queda de dureza para 1.442 HV.

A supersaturação da superfície do material com os intersticiais (nitrogênio e carbono) formando austenita expandida promove a geração de fortes tensões, resultando no aumento da dureza⁽²⁵⁾. A difusão desses elementos é favorecida pela temperatura; sendo assim, quanto maior a temperatura, mais intersticiais se difundem e maior será a espessura da camada de austenita expandida. Contudo, em temperaturas mais altas, ocorre o início da formação de precipitados, que termodinamicamente são mais estáveis. Esses precipitados possuem alta dureza e ao mesmo tempo provocam o esgotamento da matriz de elementos de liga (principalmente de cromo, diminuindo a dureza no entorno⁽²⁶⁾).

Esse aumento de dureza nas regiões de precipitados e a redução da mesma no entorno ocasiona elevação do desvio padrão da dureza média. De fato, o desvio padrão da média aritmética da microdureza aumentou de forma significativa, principalmente nas amostras carbonitretadas nas temperaturas de 470 e 500°C, que foram as amostras que tiveram formação de precipitados.

O aumento do desvio padrão sinaliza elevação na diferença de dureza entre regiões da peça. Esse aquecimento leva a diferença de deformações elásticas na superfície. Quando esta for submetido a desgaste abrasivo, pode haver formação de indentações pela diferença de deformação, alterando o micromecanismo de desgaste do tipo microcorte para microlascamento, característico de superfícies frágeis, reduzindo a resistência ao desgaste. Isso foi constatado pelo aumento do coeficiente de desgaste das amostras tratadas em temperaturas maiores, mostrado na figura 2(a).

4. CONCLUSÕES

No tratamento termoquímico de carbonitreção a plasma a formação de uma camada de austenita expandida homogênea, sem presença de precipitados e de baixa rugosidade, é fundamental para que haja melhoria das propriedades tribológicas, como a redução do coeficiente de desgaste.

As camadas formadas após a carbonitreção tornam-se mais espessas com o aumento da temperatura (440°C - 19 a 23 µm, 470°C - 27 a 32 µm e 500°C - 56 a 60 µm). No entanto, a elevação da temperatura promove a precipitação de carbonetos e nitretos (CrN, Fe₃C, Fe₃N e Fe₄N) existindo uma temperatura limite para obter camadas de austenita expandida livres de precipitados.

A carbonitretação por plasma promove o aumento da resistência ao desgaste no aço AISI 304 em todas as temperaturas de tratamento estudadas (440°C, 470°C e 500°C).

A máxima resistência ao desgaste é obtida na temperatura de carbonitretação de 470°C por 3 h. Sob essa condição, a austenita expandida é homogênea e livre de precipitados, possui espessura entre 19 e 23 µm, e coeficiente de desgaste (k) 16,6% menor que o do substrato não carbonitretado. Além disso, a dureza na superfície é aumentada de 251 HV para cerca de 1.567 HV.

A espessura de camada e a formação de carbonetos e nitretos não são determinantes no aumento da resistência ao desgaste. O fator determinante para obter maior resistência ao desgaste é a formação da austenita expandida livre de precipitados.

REFERÊNCIAS

- 1 AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Alloy digest sourcebook**: stainless steels, ASM international, Material Park: Ohio, 2000.
- 2 CHEN, F.S.; CHANG, C. N. Effect of CH₄ addition on plasma nitrocarburizing of austenitic stainless steel. **Surface & Coatings Technology**, Department of Materials Engineering: Tatung University, p. 9-18, 2003.
- 3 DONG, H. S-phase surface engineering of Fe–Cr, Co–Cr and Ni–Cr alloys. **International Materials Reviews**, v. 55, n. 2, p. 65-98, 2010.
- 4 CAETANO, R. R.; FRANCO JR., A. R.; PINEDO, C. E. Características de formação da austenita expandida na nitretação por plasma do aço inoxidável austenítico AISI 316 Grau ASTM F138. **CBECIMAT**, São Paulo, p. 2, 2002.
- 5 REIS, R. F.; BORGES, P. C.; PANDOLFO, V. Nitretação por plasma do aço ISO 5832-1 em alta temperatura: Influência do tempo de tratamento e sua aplicação no processo “SHTPN”. **Revista Matéria**, v. 18, n. 04, p. 1525-1540, 2013.
- 6 ZHU, X.; HUANG, H.; XU, K.; HE, J. Structure and properties of plasma nitrided austenitic stainless steel. In: **20th ASM Heat Treating Society Conference Proceedings**, p. 217-221, 9-12 October 2000.
- 7 MENTHE, E.; RIE, K. T.; SCHULTZE, J.W.; SIMSON, S. Structure and properties of plasma nitrided stainless steel. In: **Surface and Coatings Technology**, vols. 74-75, p. 412-416, 2000.
- 8 RIVIÈRE, J.P. et al. Microstructure of expanded austenite in ion-nitrided AISI 316L single crystals. **Surface and Coatings Technology**, Vol. 201, fasc.19, p. 8210-8214, março 2007.
- 9 VENKATESAN, K. et al. Influence of chromium content on corrosion of plasma-nitrided steels. **Corrosion**, 53 (7), pp. 507-515, 1997.
- 10 LARISCH, B.; BRUSKY, U.; SPIES, H.-J. Plasma nitriding of stainless steels at low

- temperatures. **Surface and Coatings Technology**, v. 116–119, p. 205–211, 1999.
- 11 LIANG, W., et al., **Surface and Coatings Technology**, v. 130, p. 304-308, 2000.
 - 12 CZERWIEC, T.; HE, H.; MARCOS G.; THIRIET, T.; WEBER S.; MICHEL H. Fundamental and Innovations in Plasma Assisted Diffusion of Nitrogen and Carbon in Austenitic Stainless Steels and Related Alloys. **Plasma Processes and Polymers**, v. 6, p. 401-409, 2009.
 - 13 ICHII, K.; FUJIMURA, K. and TAKASE, T. Technology Reports of the Kansai University, v. 27, p. 135-144, 1986.
 - 14 TSCHIPTSCHIN, A. P.; PINEDO, C.E. Estrutura e propriedades do aço inoxidável austenítico AISI 316L Grau ASTM F138 nitretado sob plasma à baixa temperatura. **Revista Escola de Minas**, Vol. 63, n. 1, p. 137-141, março 2010.
 - 15 LEE, I. Post-oxidizing treatments of the compound layer on the AISI 4135 steel produced by plasma nitrocarburized. **Surface and Coatings Technology**, p. 669-674, 2009.
 - 16 BELL, T. Gaseous and plasma nitrocarburizing. **Surface Hardening of Steel**, v. 4, p. 425-436, 1991.
 - 17 NAUMANN, F. K. et al. Plasma nitrocarburizing. In: **ASM Handbook: Heat treating**. USA: ASM International, Vol. 4, p. 973, 1991.
 - 18 PYE, D. Practical Nitriding and ferritic Nitrocarburizing. **ASM International**, Materials Park, Ohio, USA, 2003.
 - 19 LAMPE, T.; EISENBERG, S.; LAUDIEN, G. Compound Layer Formation During Plasma Nitriding and Plasma Nitrocarburizing. **Surface Engineering**, vol. 9, n° 1, p. 69-76, 1993.
 - 20 NASCIMENTO, F. C. et al. Structural, mechanical, and tribological properties of AISI 304 and AISI 316L steels submitted to nitrogen: carbon glow discharge. **Journal of Materials Science**, v. 44, p. 1045-1053, 2009.
 - 21 BALDWIN, M.J. et al. Plasma-nitrided AISI 316 stainless steel examined by scanning electron microscopy and secondary ion mass spectrometry. **Thin Solid Films**, v. 345, p. 108- 112, 1999.
 - 22 THAIWATHANA, S. et al. Comparison studies on properties of nitrogen and carbon "S" phase on low temperature plasma alloyed AISI 316 stainless steel. **Surface Engineering**, v. 18, p. 433-437, 2002.
 - 23 RAMOS, F.; MOTA, W. **Cementação por Plasma em Baixa Temperatura do Aço Inoxidável Austenítico AISI 304**, 2014, 51 f.
 - 24 BHADSHIA, H. K. D. H; HONEYCOMBE, R. – **Steels Microstructure and Properties**, Elsevier, 3ª ed., EUA, 2006.
 - 25 DIETER, G. **Metalurgia Mecânica**, 2ª ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1981.
 - 26 MAALEKIAN, M. The Effects of Alloying Elements on Steels, **Technische Universität Graz, Institut für Werkstoffkunde, Schweißtechnik und Spanlose Formgebungsverfahren**, v. 1, October, 2007.

INFLUENCE OF PARAMETERS CARBONITRIDING PLASMA IN STEEL WEAR RESISTANCE AUSTENITIC STAINLESS AISI 304

ABSTRACT

This study aims to apply the plasma carbonitriding process in austenitic stainless steel AISI 304 evaluating the influence of temperature and time on the wear resistance. The carbonitriding plasma have been employed in order to improve the surface characteristics of these steels (high hardness and wear resistance without lowering its corrosion resistance) without inducing nitride and carbide precipitates. This was performed by injecting the gas treatment: 77.5% N₂, 20% H₂, 2.5% CH₄, pressure 333 Pa, at times of 1, 3, 6 and 9 hours for the temperature 440°C, 470°C and 500°C. The free ball type microdesgaste assays were performed at intervals allowing the calculation of the distance x of sliding the motor shaft revolutions intervals, as shown in Table 1. The results were evaluated using the calculated wear coefficient (k) and worn volume (V) function L . The best result was obtained at 470°C for 3 h, which was obtained in improving the wear resistance, which k increased by 16.6% and V was reduced by 16.6%. The expanded austenite was formed precipitates free and homogeneous. The test microdesgaste showed increased wear resistance at all temperatures. With increasing temperature the formed layer becomes thicker, it promotes the precipitation of nitrides and decreases the resistance.

Key-words: AISI 304 steel; Microdesgaste; Carbonitriding; Plasma.