

RESISTÊNCIA AO RISCAMENTO DO AÇO 15-5PH NITRETADO POR PLASMA

Eduardo Hoffmann Martins

Marcello Fedalto

Julio Cesar Klein das Neves

Giuseppe Pintaude

Marcio Mafra

Euclides Alexandre Bernardelli

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica, Campus Curitiba
eduardohmartins@alunos.utfpr.edu.br, marcello.fedalto@gmail.com, ebarnardelli@utfpr.edu.br, jkneves@utfpr.edu.br,
pintaude@utfpr.edu.br, mafra@utfpr.edu.br

Resumo. O presente estudo está relacionado com o aço inoxidável 15-5PH, que possui alta resistência mecânica e à corrosão. Neste trabalho realiza-se um estudo de resistência ao desgaste, visando determinar, dentre pontos de tempo e temperatura de nitretação a plasma, o melhor resultado no coeficiente de atrito dos materiais. Para tal foi realizado o ensaio de riscamento com carga variável e constante de amostras nitretadas por tempos de 2 e 6 horas e temperaturas de 663 e 763K. Os resultados mostram que aumentando o tempo e a temperatura de tratamento o coeficiente de atrito diminui, tanto nos ensaios de riscamento com carga variável quanto para carga constante. Com conclusão tem-se que o coeficiente de atrito é dependente das fases presentes e da dureza da camada de compostos.

Palavras chave: Nitretação a plasma, aço inoxidável 15-5PH, desgaste, coeficiente de atrito.

1. INTRODUÇÃO

O 15-5PH (PH – *Precipitation Hardening*) é um aço inoxidável martensítico endurecido por precipitação e possui características atrativas a várias aplicações, tais como na indústria aeroespacial, química, petroquímica, de processamento de alimentos, papel e metalurgia geral, pois concilia boas propriedades em temperaturas de até 300°C, alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e boa tenacidade em direções longitudinais e transversais tanto em um metal base, quanto em possível juntas soldadas (A&K Steel, 2017).

Utilizado no aço 15-5PH, o processo de envelhecimento consiste em aquecer o material até uma temperatura suficiente para atingir a austenitização, onde há dissolução de elementos de liga. Posteriormente, o material é resfriado rapidamente para a formação de martensita. Então, é novamente aquecido em temperaturas intermediárias para que haja a formação dos precipitados de cobre (Beraldo, 2013).

Somado ao envelhecimento, tratamentos superficiais são aplicados ao 15-5PH para conferir endurecimento superficial, aumento na resistência ao desgaste e o melhoramento de resistência à fadiga, devido ao desenvolvimento de forças de compressão nas camadas superficiais. Dentre as técnicas existentes destaca-se a nitretação por plasma, a qual introduz nitrogênio formando uma camada nitretada (Bogaerts *et al.*, 2002). O desgaste pode ser classificado em quatro mecanismos de ocorrência. O primeiro ocorre por adesão, quando a ligação adesiva é intensa o bastante para superar o deslizamento, gerando a deformação plástica. O segundo tem por ação a abrasão, o que ocorre dependente da dureza e formato dos materiais em contato. Quando esse desgaste se dá por repetidos movimentos é chamado de desgaste por fadiga. Finalmente, pode ocorrer o desgaste corrosivo, ou triboquímico, quando o material desgastado é posto em meios corrosivos líquidos ou gasosos (Kato e Adashi, 2001).

Já quando se relaciona o desgaste com o método de nitretação para o aço 15-5PH, foi verificado em Cohen e Rosen (1986) que o volume desgastado em amostras nitretadas é significativamente inferior que amostras não nitretadas, devido a elevação da dureza e a microestrutura da camada composta e o coeficiente de atrito é inferior para amostras nitretadas por íons implantados e inicialmente inferior para nitretadas a plasma, sendo que estas, com o decorrer do risco, tornam-se equivalentes a amostras não nitretada. Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar resistência ao riscamento quando se varia tempos e temperaturas de nitretação a plasma. O parâmetro selecionado para esta análise foi o coeficiente de atrito.

2. METODOLOGIA

As amostras utilizadas de aço 15-5PH, são as mesmas utilizadas por Bernardelli (2007), sendo que estas foram previamente envelhecidas e nitretadas a plasma com diferentes temperaturas e tempos de tratamento. O resultado de dureza da camada composta e do núcleo foram obtidos por Bernardelli (2007) e são dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Tempos, temperaturas e durezas das amostras (Bernardelli, 2007)

Amostra	Temperatura [K]	Tempo [h]	Dureza da camada composta [HV]	Dureza do núcleo [HV]	Espessura de camada [μm]
N1	663	2	$1278,1 \pm 78,5$	$464,5 \pm 9,1$	$5,55 \pm 0,35$
N2	763	2	$1210,2 \pm 76,4$	$433,7 \pm 8,3$	$21,71 \pm 1,98$
N3	663	6	$1295,6 \pm 45,6$	$488,4 \pm 9,7$	$11,59 \pm 1,48$

O ensaio tribológico, *Scratch Test*, ou ensaio de riscamento em português, foi realizado no equipamento CETR-UMT Bruker do Laboratório de Superfícies e Contato (LASC) da UTFPR. O corpo desgastante foi um penetrador Rockwell C de ponta em diamante e perfil cônico de 120° . Os ensaios foram realizados inicialmente com carga variável de 19 a 60 N e comprimento de risco de 5 mm, a fim de determinar a carga crítica, sendo que esta foi definida como sendo aquela onde houve ruptura da camada composta.

Posteriormente ao ensaio de riscamento com carga variável, foi realizado um ensaio com carga constante com 66% da carga crítica ao contrário do que foi feito por Kuiry (2012), que considera a carga crítica como sendo imediatamente menor que a carga crítica, a fim de termos condições similares de camada para a determinação das relações existentes entre o coeficiente de atrito e as temperaturas e tempos de nitretação a plasma, sendo que esses ensaios foram realizados no mesmo equipamento do ensaio com carga variável. Os ensaios constantes também tiveram comprimentos de risco iguais a 5 mm, sendo que tanto estes como os anteriores foram realizados sem a presença de lubrificantes.

3. RESULTADOS

3.1. Determinação da carga crítica

O resultado obtido pelos ensaios de carga variável está disponibilizado no gráfico presente na Fig. 1. É possível observar que para cada uma das amostras existem dois tipos de comportamento da evolução do coeficiente de atrito, sendo um mais linear, até um determinado valor de carregamento, e outro onde o coeficiente de atrito aumenta rapidamente. Este fenômeno já havia sido observado por Cohen e Rosen (1986) e por Yost *et al.* (1983), quando estes concluíram que a mudança de comportamento do coeficiente de atrito se dá no momento de rompimento ou lascamento da camada nitretada, sendo que a carga na qual houve a mudança de tendência é chamada de carga crítica.

Os resultados apresentados na Fig. 1 mostram que tanto a temperatura quanto o tempo de nitretação aumentaram a carga crítica das amostras. O aumento do tempo de nitretação, conforme apresentado por Bernardelli (2007), resultaram em um aumento da dureza e da espessura da camada nitretada, já o aumento da temperatura de nitretação, resultou em um aumento da espessura da camada composta, porém ocorreu uma diminuição da dureza tanto do núcleo quanto da camada nitretada, por conta de possibilitar a formação de precipitados maiores o que favorece o coalescimento dos precipitados.

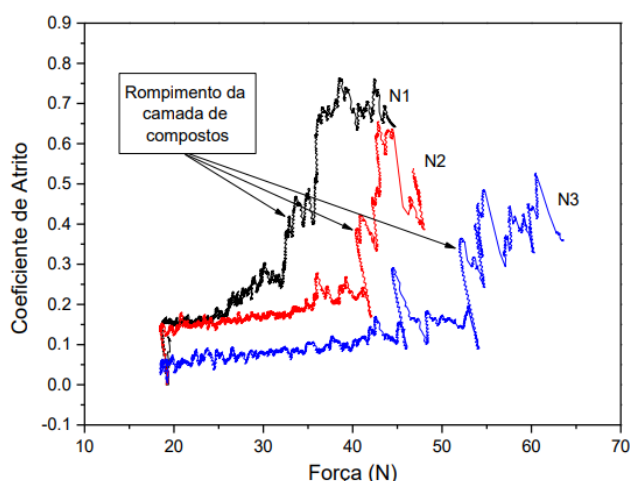


Figura 1. Ensaio de riscamento com carga variável para determinação de carga crítica

3.2. Ensaio com carga constante

Os resultados de coeficiente de atrito considerando carga constante, utilizando 66% do valor da carga crítica, são apresentados na Tab. 2. A Fig. 2 traz a mudança do coeficiente de atrito em função do tempo de riscamento. Observa-se que tanto o aumento da temperatura quanto do tempo de nitretação a plasma diminuíram o coeficiente de atrito, sendo que o menor coeficiente de atrito foi obtido para o maior tempo de tratamento.

Yost et al. (1983) e Hamzah, E. et al. (2007) também observaram a influência do coeficiente de atrito com íons de N^+ implantados e não encontraram um padrão de mudança. Entretanto, estes trabalhos compararam amostras não nitretadas com nitretadas, o que pode ter gerado tal resultado. Em contrapartida, Kliauga, Pohl e Klaffke (1998), os quais estudaram a implantação de nitrogênio em aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos encontraram uma redução no coeficiente de atrito quando realizada a implantação de nitrogênio e relacionaram este resultado com o fato de que a presença do nitrogênio no material modificou o filme de óxido da superfície, o que reduziu as tensões de cisalhamento sub-superficiais e aumentou o tempo para o início de uma fissura. Também correlacionaram essa redução com a elevação da dureza gerada, o que impede uma maior penetração do pino desgastante se comparada com a amostra sem tratamento.

Bernardelli (2007) mostrou que a microestrutura da camada de compostos é influenciada pelo tempo e temperatura de nitretação do aço inoxidável 15-5PH. O autor observou que aumentando que a quantidade de austenita γ' e de CrN aumenta com o aumento da temperatura de tratamento, em detrimento da fase ϵ ($Fe_{2-3}N$), visto que os picos a $38,33^\circ$ e $68,42^\circ$, relacionados a fase ϵ diminuíram com o aumento da temperatura e os picos de difração a $47,91^\circ$, relacionados a fase γ' , entretanto, com o aumento do tempo de tratamento a proporção das fases é pouco alterada. Este resultado mostra que a composição de fases, o que afeta a dureza da camada de compostos, altera o coeficiente de atrito.

Tabela 2. Coeficientes de atrito em ensaios com carga constante

Amostra	Carga [N]	Coeficiente de atrito
N1	23	$0,172 \pm 2,59E-4$
N2	27	$0,120 \pm 1,86E-4$
N3	31	$0,085 \pm 3,22E-4$

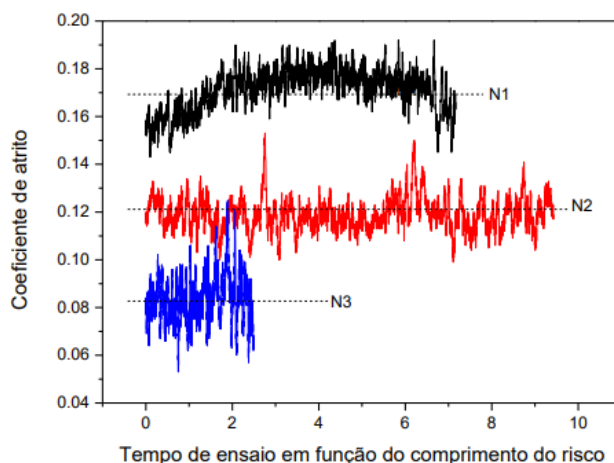


Figura 2. Ensaio de riscamento com carga constante a 2/3 da carga crítica

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o coeficiente de atrito foi influenciado pela temperatura e tempo de nitretação. O menor coeficiente de atrito foi observado para o maior tempo de nitretação, sendo que tal resultado deve estar associado ao aumento da dureza, com consequente redução na penetração do pino durante o ensaio de desgaste, e a composição de fases da camada nitretada.

3. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a toda a equipe do LASC UTFPR, em especial ao Isaac Ramon, que muito nos ajudou na realização dos ensaios de riscamento.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado e apoio a pesquisa, projeto universal CNPq 43008/2016-7.

4. REFERÊNCIAS

- AK STEEL CORPORATION, 2017. 15-5PH® Stainless Steel. West Chester Township.
- BERALDO, C. H., 2013. Efeito da Temperatura de envelhecimento sobre as propriedades mecânicas e resistência à corrosão por pite do aço inoxidável martensítico endurecido por precipitação UNS S46500. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 107p.
- BERNARDELLI, E. A., 2007. Tratamento Concomitante de Nitretação e Envelhecimento a Plasma do Aço Inoxidável 15-5 PH. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 127p.
- BOGAERTS, A., NEYTS, E., GIJBELS, R., MULLEN, J.V.D., 2002. Gas Discharge and Others Applications. Spectrochimica Acta part B, p. 609-658
- COHEN, A.; ROSEN, A., 1986. The influence of the nitriding process on the dry wear resistance of 15-5 PH stainless steel. Wear. Vol 108. p. 157-168.
- HAMZAH, E. *et al.* Influence of nitrogen flow rate on friction coefficient and surface roughness of tin coatings deposited on tool steel using arc method. Surface Review and Letters. Vol. 14. N° 05, pag. 1007-1013. 2007
- KATO, K., ADACHI, K., 2001. Wear Mechanism. Modern Tribology Handbook. Ed, CRC Press LLC. Cap 7. Volume 1. Páginas 273 -299.
- KÇIAUGA, A.M; POHL, M.; KLAFFKE, D., 1997. A comparison of the friction and reciprocating wear behaviour between an austenitic (X 2 CrNiMo 17 13 2) and a ferritic (X 1CrNiMoNb 28 4 2) stainless steel after nitrogen ion implantation. Surface and Coating Technology. N° 102. Pág. 237-244.
- KUIRY, S., 2012. Advanced Scratch Testing for Evaluation of Coatings. Bruker Nano Surfaces Division. 36p.
- YOST, F. G., 1983. *et al.* The effects of N+ implantation on the wear and friction of type 304 and 15-5 PH stainless steels. Thin Solid Films. Vol. 107. p. 287-295.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

RISEING RESISTANCE OF THE 15-5PH STEEL NITRIDED BY PLASMA

Eduardo Hoffmann Martins

Marcello Fedalto

Julio Cesar Klein das Neves

Giuseppe Pintaude

Marcio Mafra

Euclides Alexandre Bernardelli

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

eduardohmartins@alunos.utfpr.edu.br, marcello.fedalto@gmail.com, ebarnardelli@utfpr.edu.br, jcneves@utfpr.edu.br, pintaude@utfpr.edu.br, mafra@utfpr.edu.br

Abstract. The present study is related to stainless steel 15-5PH, which has high mechanical strength and corrosion. In this work a wear resistance study is carried out, aiming to determine, between determined points of time and temperature of plasma nitriding, the best result in the coefficient of friction of the material. For this, the scratch test was carried out with variable and constant load of nitrided samples for times of 2 and 6 hours and temperatures of 663 and 763K. The results show that increasing the treatment time and temperature the coefficient of friction decreases, both in tests for variable load and for constant load. It is concluded that the coefficient of friction is dependent on the phases present and the hardness of the layer of compounds.

Keywords: Plasma nitriding, 15-5PH stainless steel, wear, coefficient of friction.

RESPONSIBILITY NOTICE

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