

EFEITOS DOS PARÂMETROS DE NITRETAÇÃO A PLASMA SOBRE A RESISTÊNCIA À CAVITAÇÃO DO AÇO 34 CrAINi 7

Flávio José da Silva (ltm-fjsilva@mecanica.ufu.br)

Rodrigo Giannotti da Silva

Sinésio Domingues Franco (ltm-sdfranco@ufu.br)

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Bloco 1R

CEP 38400-902 - Uberlândia/MG

Marcelo Torres Pizza Paes (mtpp@cenpes.petrobras.com.br)

Ricardo Reppold Marinho (reppold@petrobras.com.br)

Petrobras, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello, CENPES - RJ

Resumo. A Nitretação a plasma é um tratamento de endurecimento superficial usado em aplicações onde se requer maior dureza, resistência ao desgaste, à fadiga e à corrosão. Dentre os parâmetros de nitretação, o teor de nitrogênio pode levar à formação de diferentes estruturas nitretadas e diferentes comportamentos com relação ao desgaste. A seleção dos parâmetros de tratamento é importante para a potencialização da superfície nitretada. Neste trabalho apresenta-se um estudo da influência do tempo de nitretação e do percentual de nitrogênio sobre a resistência à cavitação do aço DIN 1.8550 nos estados recozido e temperado/revenido. Avaliou-se os mecanismos de desgaste através de microscopia ótica e eletrônica de varredura, difratometria de raios-X e interferometria Laser. Os resultados mostraram que a nitretação aumenta em uma ordem de grandeza a resistência à cavitação, quando comparada com amostras não nitretadas. Amostras nitretadas com maior percentual de nitrogênio apresentaram uma elevada taxa de desgaste nos estágios iniciais devido à presença da camada branca. Um melhor desempenho foi verificado nas amostras nitretadas com menor teor de nitrogênio. O tempo de nitretação não interferiu significativamente na resistência à cavitação. Além disso, há indícios de que a estrutura original recozida e nitretada leva a melhores desempenhos nesse sistema tribológico.

Palavras-chave: cavitação, nitretação, camada branca, microestrutura.

1. INTRODUÇÃO

A Nitretação é um processo termoquímico aplicado a substratos metálicos (geralmente ferrosos), no qual o nitrogênio é introduzido na superfície até uma certa profundidade, formando nitretos de alta dureza. Dentre as propriedades modificadas, citam-se: a dureza superficial, a resistência à fadiga, ao desgaste e à corrosão do material. Normalmente, a camada nitretada é composta de duas regiões: uma superficial denominada de camada de compostos, ou camada branca, e a outra, logo abaixo desta, de zona de difusão ou de precipitação. A camada de compostos é formada essencialmente por nitretos de ferro (γ' -Fe₄N e/ou ϵ -Fe_{2,3}N). Sua presença depende dos parâmetros de nitretação, principalmente da concentração de nitrogênio. As diferentes estruturas obtidas, ou seja, a presença de camada branca, bem como sua constituição (diferentes tipos de nitretos), podem resultar em diferentes comportamentos tribológicos. Praticamente todas as pesquisas envolvendo o comportamento tribológico de camadas nitretadas avaliam apenas o comportamento em relação ao desgaste por deslizamento ou à abrasão, onde a característica frágil da camada branca (Alsaran,

2003) e a delaminação da zona de difusão (Podgornik e Vizintin, 2001) geralmente são evidenciadas.

Com relação à cavitação, fenômeno que consiste na formação e subsequente colapso de bolhas contendo vapor e/ou gás dentro de fases líquidas (Czichos e Habig, 1992), a degradação gerada pode levar a perdas significativas de matéria, e até ao sucateamento de componentes tais como: pás de turbinas hidráulicas, rotores de bombas, dentre outros. Nestes casos, a escolha de materiais adequados e/ou a aplicação de tratamentos ou revestimentos superficiais, que resultem numa maior resistência à cavitação desses componentes, é essencial. A nitretação apresenta um forte potencial de aplicação, todavia, relativamente pouco pode ser encontrado na literatura técnica sobre o comportamento de diferentes camadas nitretadas em aços quanto à cavitação. Resultados mais recentes mostram, que a nitretação pode aumentar significativamente a resistências à cavitação de aços de baixa liga (Huang et al., 1989). Esse comportamento foi atribuído à elevada resistência a danos de origem mecânica das zonas de difusão e de compostos (camada branca). Entretanto, a presença da frágil camada branca pode levar a um menor desempenho na resistência à cavitação. Outro fator que deve ser levado em consideração é o efeito da microestrutura original do material nitretado. Portanto, a seleção dos parâmetros de tratamento mais adequados é de grande importância para a potencialização da superfície nitretada em aplicações envolvendo a cavitação.

O presente trabalho tem com objetivo verificar a influência do tempo de nitretação e do percentual de nitrogênio sobre a resistência à cavitação do aço DIN 1.8550 (34 CrAlNi 7) nos estados recozido e temperado/revenido.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais, Preparação e Caracterização das Amostras

Amostras com dimensões de 27 mm de diâmetro e 15 mm de altura foram retiradas de barras cilíndricas do aço DIN 1.8550 (34 CrAlNi 7). Dois tratamentos foram empregados, a saber: a) têmpera (890°C/30 min/óleo) seguida de revenimento (640°C/30 min) e b) recozimento (890°C/resfriamento ao forno). A composição química do aço empregado é mostrada na Tabela (1).

Tabela 1. Composição química do aço DIN 1.8550 (34 CrAlNi 7).

Elemento	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Nb	V
% em peso	0,32	0,031	0,011	0,28	0,74	1,71	0,94	0,17	1,06	0,23	0,01	0,02

A face de interesse das amostras foi retificada e lixada com papel abrasivo de SiC (de 220 até 1000 *mesh*) e, finalmente, polida com pastas de diamante de 6, 3 e 1 μm . Na sequência, as amostras foram nitretadas a plasma. Para verificar o efeito do tempo e composição do gás foram selecionadas 4 condições de processo de nitretação. Uma realizada com mistura gasosa de 76% N_2 /24% H_2 (% em volume) por 9 horas, e as outras com mistura gasosa de 5% N_2 /24% H_2 (% em volume) durante 9, 6 e 3 horas. A temperatura de nitretação foi mantida constante em 550 °C para todas as condições.

As amostras foram submetidas a análises metalográficas (microscopia ótica e eletrônica de varredura – LEO 940 A), medições de dureza e perfil de microdureza e topografia em um interferômetro laser da marca UBM, modelo Expert. Foram realizadas análises de microestrutura das camadas através da técnica de difração de raios-X.

2.2. Ensaios de Cavitação

Os ensaios de cavitação foram realizados segundo a norma da ASTM G32-98 modificado para o método indireto. Os ensaios foram conduzidos em um equipamento Sonic Mills (Fig. 1). Com o auxílio de um micrômetro de resolução de 0,01 mm, a amostra a ser ensaiada era posicionada em um porta amostra a uma distância de 0,5 mm de um contra-corpo de aço inoxidável AISI 316 (figura 1b). A distância entre a amostra e o contra-corpo influi diretamente no desgaste e, neste caso, adotou-se o valor de 0,5 μm , onde a intensidade de desgaste é máxima (Preece, 1979).

Ressalta-se, que a taxa de desgaste do ensaio direto é de 40 a 60% maior que no ensaio indireto (Boccanera *et al.*, 1998). A frequência de vibração do sonotrodo foi de $19,2 \pm 0,1$ kHz. A amplitude de oscilação foi mantida em 45 μm pico a pico, sob uma temperatura de ensaio de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ em água destilada. Para cada nova amostra testada, a superfície do contra-corpo era recondicionada através de lixamento com papel abrasivo de SiC até 1000 *mesh*.

O desgaste das amostras testadas foi determinado através da perda de massa e da profundidade média da região desgastada. Para cada amostra, o ensaio era interrompido em intervalos de tempo regulares, e as amostras limpas em ultra-som. Durante as interrupções, a evolução da superfície de desgaste foi analisada por interferometria a laser e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Imagens de topografia de superfície e perfis das áreas testadas foram geradas. A perda de massa foi determinada por meio de balança analítica com resolução de 0,1 mg e a profundidade média de desgaste através de perfis gerados por interferometria laser.

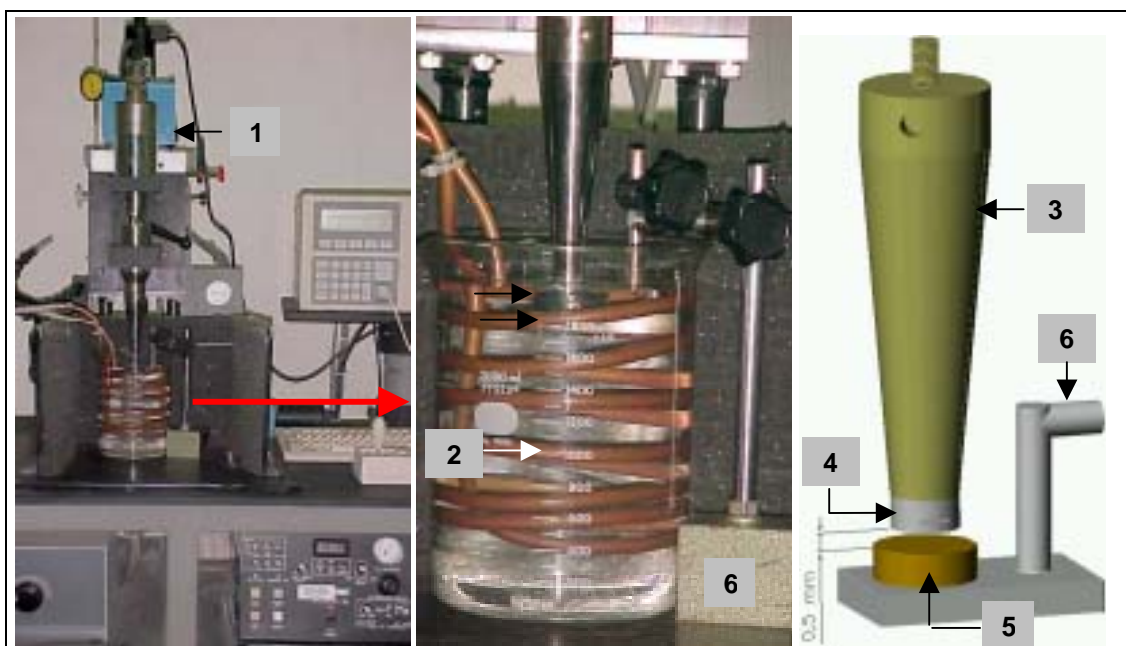


Figura 1. Bancada experimental e detalhes da montagem, (1) sistema de regulação da amostra-micrômetro, (2) sistema de refrigeração, (3) sonotrodo, (4) contra-corpo em aço inoxidável AISI 316, (5) amostra de teste e (6) suporte de fixação da amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados a seguir os resultados de caracterização do aço 34 CrAlNi 7 nitretado a plasma nas seguintes condições de tratamento: mistura gasosa de 76 % N_2 –24 H_2 com 9 horas de tratamento, e de 5 % N_2 –95 H_2 por tempos de 3, 6 e 9 horas (temperatura de nitretação - 550°C). Dois substratos foram utilizados: temperado/revenido e recozido, totalizando 8 diferentes tipos de amostras.

A constituição das camadas nitretadas é apresentada nos difratogramas da Figura (2). Nas condições de nitretação com mistura mais pobre em nitrogênio, 5% N_2 –95% H_2 (Fig. 2a) verifica-se, basicamente, a presença de picos referente ao ferro alfa e a presença picos de nitretos de ferro γ' (Fe_4N). De acordo com os diagramas de equilíbrio do sistema Fe-N, menores teores de nitrogênio levam à formação de ferro $\alpha + \gamma'$ (Fe_4N). Nestes resultados de difração de raios-X, a microestrutura original do substrato não exerceu influência no tipo de nitreto formado. Ou seja, para as amostras nitretadas por 3 horas, os substratos temperado/revenido e recozido apresentaram as mesmas fases. Da mesma forma, o tempo de tratamento de nitretação também não influenciou no tipo de nitreto formado, para uma mesma condição de nitretação.

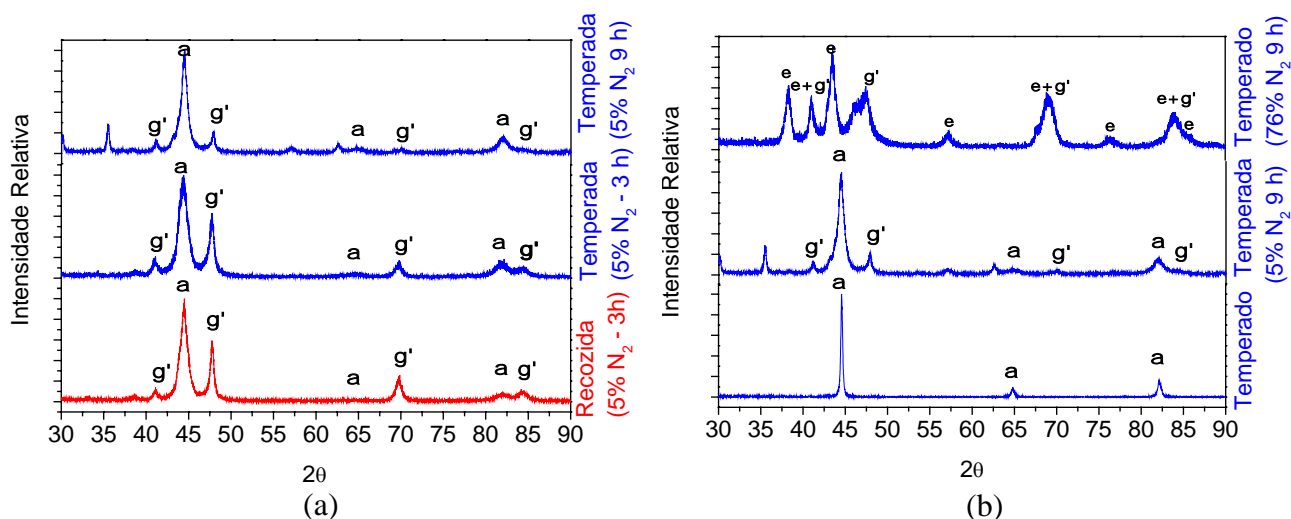


Figura 2. Espectros de difração de raios-X, (a) amostras recozidas e temperadas, nitretação com 5% N_2 por 3 e 9 horas e (b) amostras temperadas, sem nitretação, nitretação com 5% N_2 e nitretação com 76% N_2 por 9 horas. Temperatura de nitretação - 550°C.

Na condição de nitretação mais rica em nitrogênio (76% de N_2), Fig (2b), nota-se a presença de uma camada polifásica formada por nitretos do tipo ϵ e γ' , que correspondem ao esperado para esse aço (Chatterjee-Fischer *et al.*, 1995). Os difratogramas indicam 5 picos que se referem à fase ϵ ($Fe_{2-3}N$), sendo 1 muito intenso e outros de média a menor intensidade. Verificou-se também a formação de 1 pico da fase γ' (Fe_4N), e 3 picos coincidentes para as fases $\epsilon+\gamma'$. A Figura (3) mostra o aspecto metalográfico das amostras nitretadas, onde é possível evidenciar a formação da camada branca, logo acima da zona de difusão. Essa é identificada pela região mais escura, e a zona de compostos ou camada branca pela região clara, que é menos atacada pelo Nital.

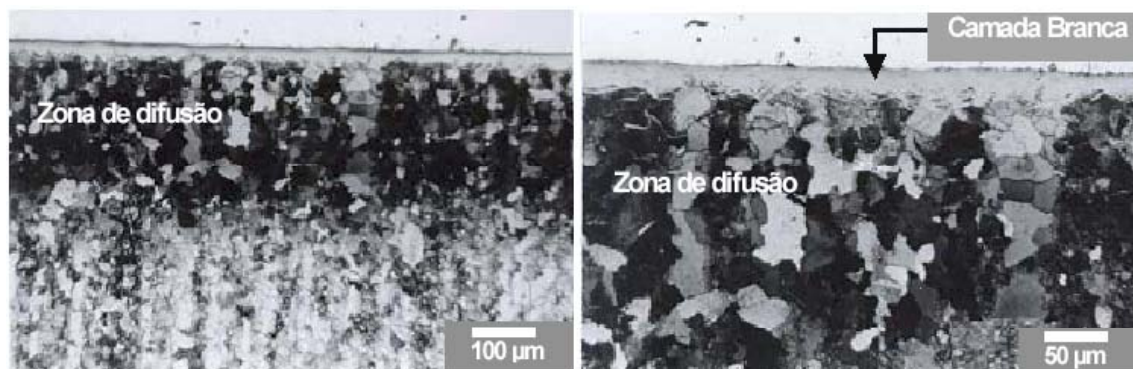


Figura 3. Amostra recozida, nitretada em mistura gasosa com 76% N_2 a 550° por 9 horas.

Em todas as condições de nitretação foi possível verificar a formação da zona de difusão. Através de microscopia ótica, a formação da camada branca foi verificada apenas nas amostras nitretadas com 76% de N_2 . Para melhor identificação da camada branca, foram realizadas fotomicrografias em microscópio eletrônico de varredura (Fig. 4). Uma maior ampliação permitiu verificar detalhes da camada branca. Todavia, a zona de difusão não é notada com facilidade. Nas amostras nitretadas por 6h e 5% de N_2 , observou-se a formação de uma pequena camada branca com aproximadamente 3µm na amostra temperada/revenida e de 5µm na amostra recozida. Com baixa concentração de nitrogênio, esperava-se, que a zona de compostos não fosse formada, como observado nos tempos de 3 e 9 horas de nitretação (Fig. 5b). Assim, acredita-se que, com aumento do tempo de nitretação a camada branca tenha sido formada, atingindo uma espessura máxima, em torno de 6 horas e, em seguida, o bombardeamento de íons e elétrons a tenha destruído. Nas amostras nitretadas com mistura mais em rica nitrogênio (76% de N_2), nota-se a formação de um camada branca de aproximadamente 23 µm. A formação desta camada parece crescer a partir de

precipitados aciculares, que se unem para formar uma densa camada de nitretos (Blawert *et al.*, 1998). Logo abaixo desta camada, observa-se uma rede grosseira de precipitados aciculares, indicando o início da zona de difusão (Fig. 4).

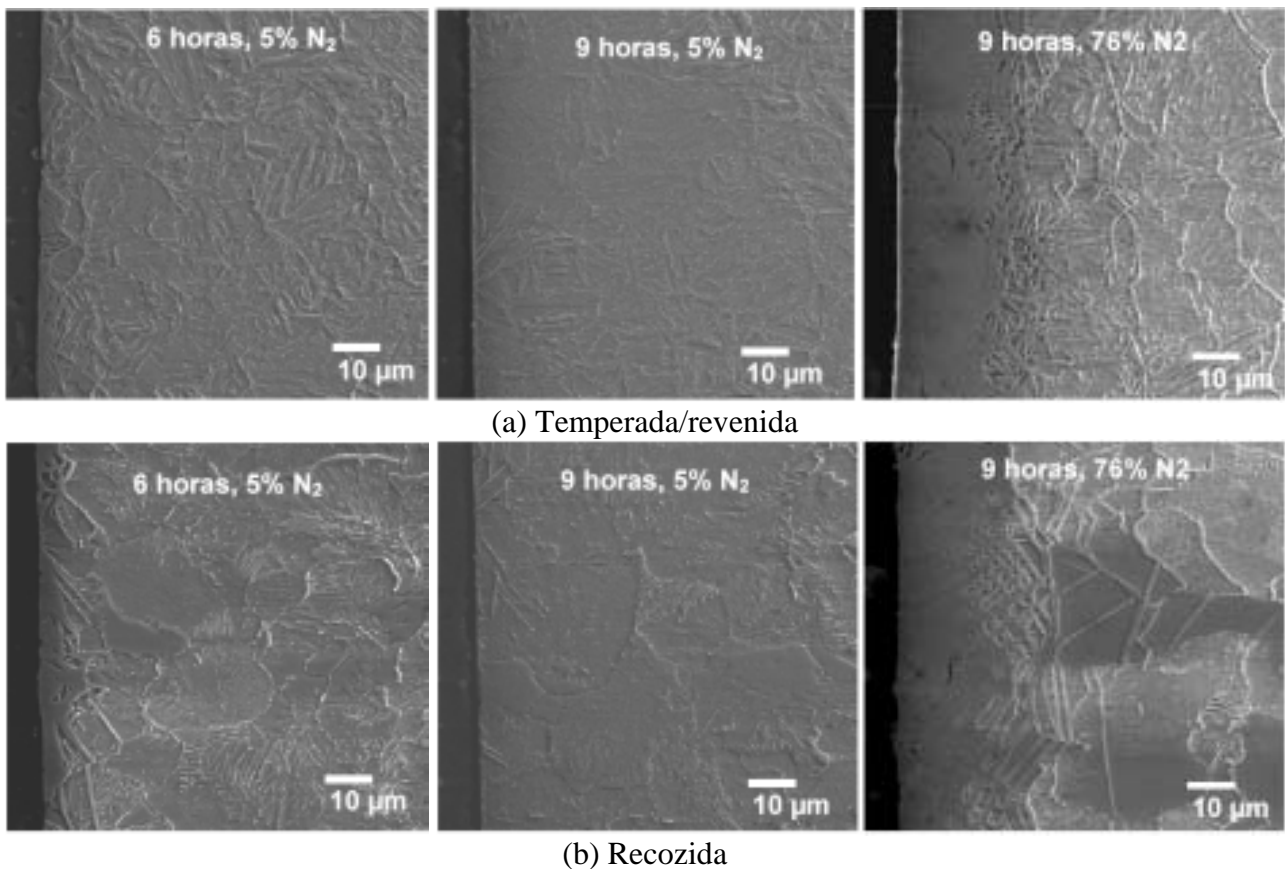


Figura 4. Aspecto típico das camadas nitretadas em mistura gasosa com 5% N_2 (6 e 9 horas) e 76% N_2 (9 horas), (a) temperada/revenida e (b) recozida, (MEV).

A Figura (5a) apresenta os valores de espessura total das camadas nitretadas e a Fig. (5b) as espessuras de camada branca. Observa-se, que não existe diferença entre a espessura de camada nitretada de amostras temperadas e recozidas, independentemente de tempo ou composição do gás.

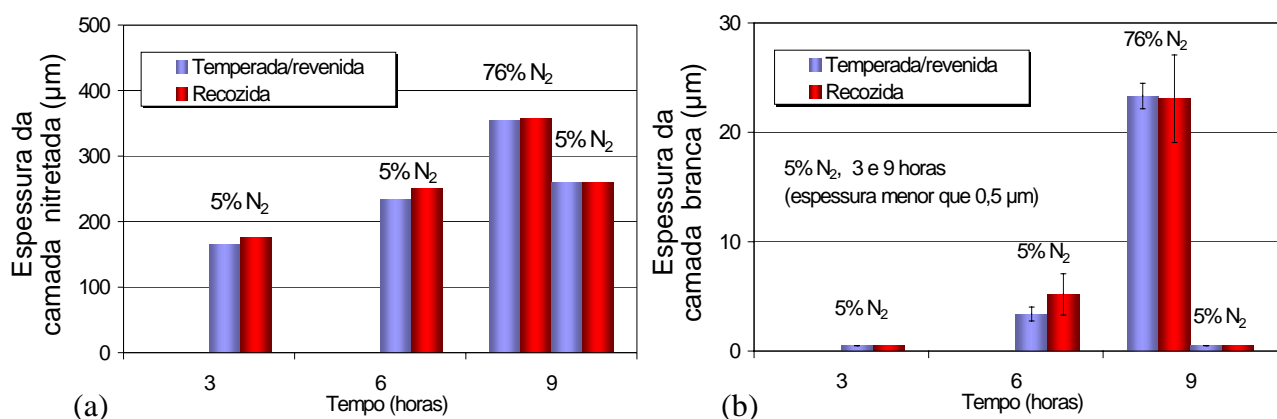


Figura 5. Espessura da camada, amostras temperada/revenida e recozidas, (a) nitretada e (b) camada branca, mistura gasosa com 5% de N_2 (6 e 9 horas) e 76% de N_2 (9 horas).

Para as amostras com menor teor de nitrogênio, 5% de N_2 , a espessura de camada endurecida máxima foi de 260 µm. As maiores espessuras foram observadas nas amostras nitretadas com 76% de N_2 , onde foi medido um valor máximo de 365 µm. O crescimento da camada é controlado pelo tempo e temperatura de nitretação. Isto é verificado na Fig. (5a), quando comparados os valores de espessura de camada endurecida para os tratamentos realizados em 3 horas, 6 e 9 horas (5% de N_2).

Todavia, de 6 para 9 horas o crescimento foi pequena menor, tanto para as amostras temperadas/revenidas, quanto para as recozidas.

Os perfis de microdureza são apresentados na Figura (6). Observa-se, nestes gráficos uma redução na dureza da superfície para o centro da amostra. Na Fig. (6a) observa-se que quanto maior o tempo de nitretação menos acentuada é esta redução. Todavia, quanto maior o tempo, menor é a dureza máxima obtida na superfície. Comparando-se amostras nitretadas com diferentes concentrações de nitrogênio e mesmo tempo (Fig. 6b), observa-se que o perfil de microdureza apresenta uma maior queda, da superfície para o interior do substrato, na condição de tratamento com 5% de N_2 . Os perfis de dureza dos substratos temperado/revenido e recozido são muito semelhantes, diferindo apenas nos valores durezas da região não nitretada.

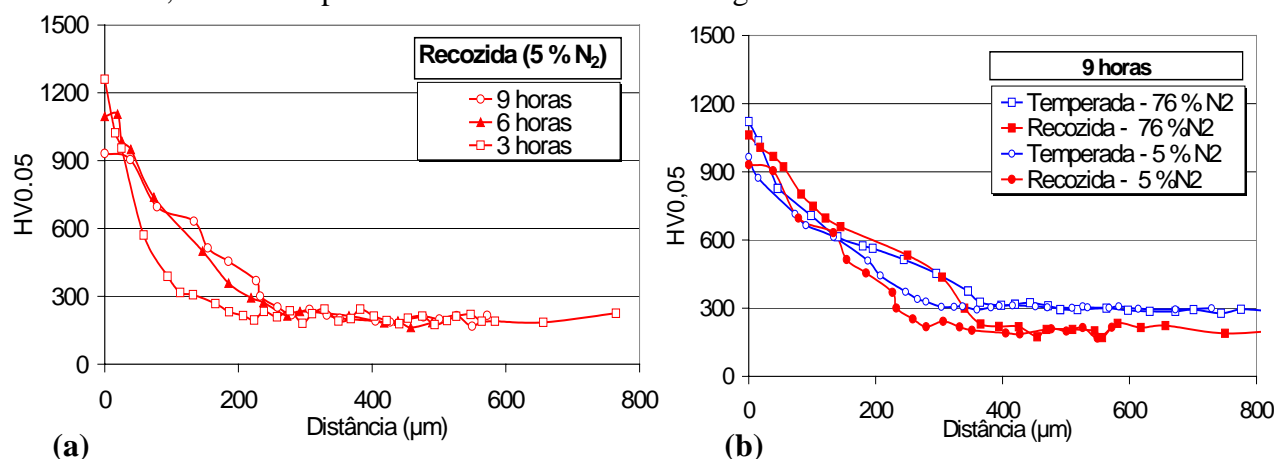


Figura 6. Perfis de microdureza de amostras nitretadas, (a) recozida, 5% de N_2 por 9, 6 e 3 horas e (b) amostras temperada/revendida e recozida, 76% e 5% de N_2 por 9 horas, todas a 550°C.

Os resultados de cavitação são apresentados na Figura (7). Foram utilizados dois métodos de avaliação da erosão por cavitação das diferentes amostras testadas. Observa-se, que a classificação entre as amostras é a mesma quando o critério de avaliação é a perda de massa (Fig. 7a) ou a profundidade média de desgaste (Fig. 7b). A norma ASTM G-32-98 sugere que os dados de perda de massa sejam convertidos em perda de volume, e apresentados na forma de profundidade média de erosão. Isto porque materiais de diferentes densidades podem apresentar a mesma perda de massa, mas diferentes taxas de erosão. Neste caso, a profundidade média de erosão foi medida diretamente do perfil obtido na interferometria laser. Este método é mais rápido e preciso, quando comparado com a medição da perda de massa. Principalmente quando as perdas de massa são muito pequenas, e requerem uma rigorosa metodologia de limpeza e secagem da amostra, bem como, balança de alta resolução (0,01mg).

Na Figura (7) são apresentadas os resultados das amostras nitretadas em diferentes percentuais de nitrogênio (5% e 76% de N_2), bem como, os das amostras do aço DIN 34 CrAlNi 7 não nitretadas nos estados temperado/revendido e recozido. Nota-se, que a amostra recozida apresenta a maior profundidade de erosão; praticamente o dobro da profundidade da região desgastada da amostra temperada/revendida. O melhor desempenho das amostras temperadas/revenidas sem nitretação em relação às só recozidas não-nitretadas, pode ser atribuído à maior resistência mecânica da martensita revenida em relação à microestrutura ferrítica/perlítica. As menores perdas de massa e/ou profundidades de desgaste foram medidas nas amostras nitretadas com mistura gasosa de 5% N_2 – 95 H_2 . Nesta condição, não há camada branca e a camada nitretada é constituída basicamente por nitretos de ferro γ' (Fe_4N). Os resultados obtidos mostram que a nitretação com mistura gasosa de 5% de N_2 aumenta em uma ordem de grandeza a resistência à cavitação, quando comparada com amostras não nitretadas.

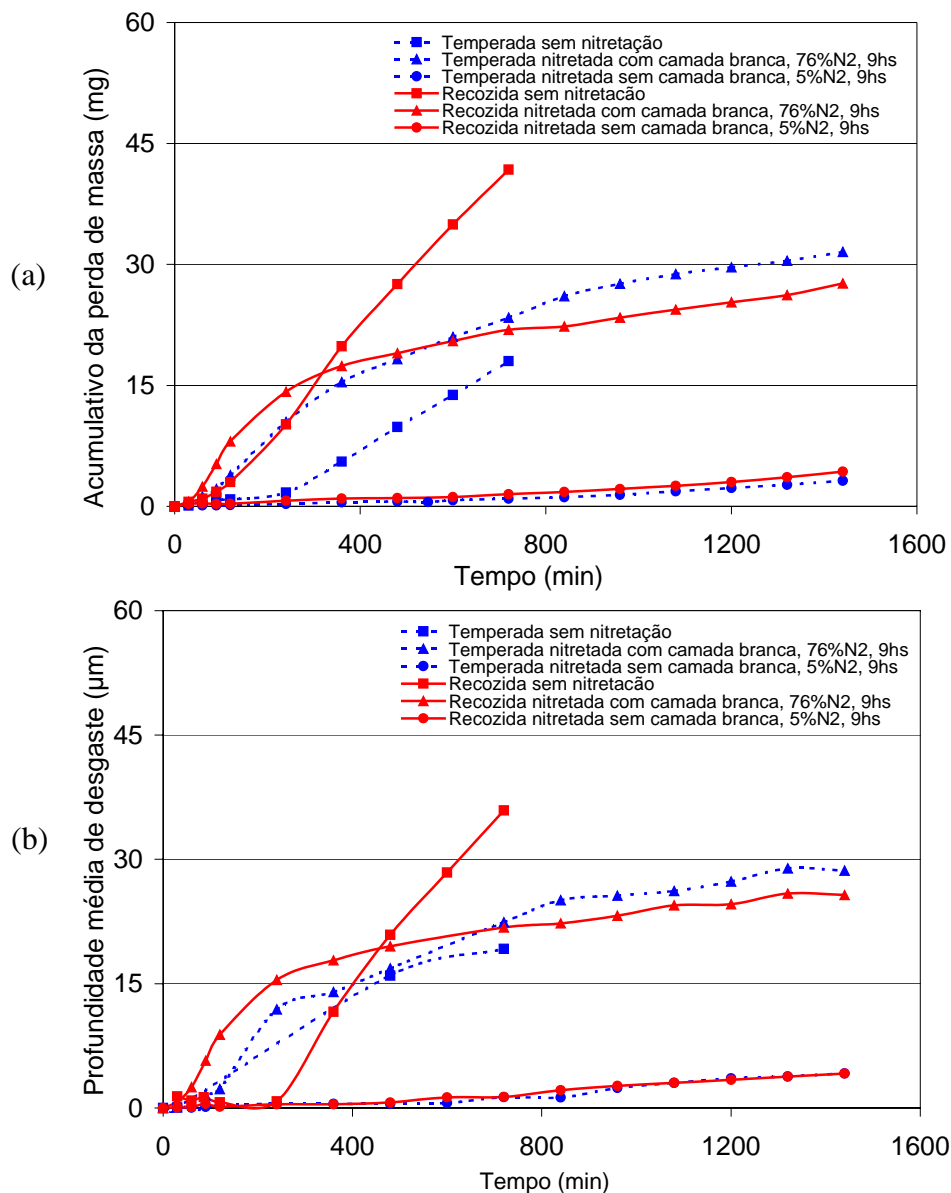


Figura 7. Resistência à cavitação de amostras não nitretadas e nitretadas com 5% e 76% de N₂, (a) Perde de massa acumulada (b) Profundidade média de desgaste, em função tempo de teste.

Utilizando-se maior percentual de nitrogênio (mistura gasosa de 76% N₂/24% H₂) na nitretação, observa-se uma elevada taxa de desgaste nos estágios iniciais, que, após um certo tempo é reduzida e se estabiliza em valores próximos aos das amostras nitretadas com mistura gasosa de 5% de N₂. Este comportamento é atribuído à presença da camada branca. Após 1 h de teste, a superfície das amostras nitretadas com 76% de N₂ desenvolvem cavidades apreciáveis, mesmo em baixos aumentos (Figura 8). Essas cavidades são formadas pelo desenvolvimento de microtrincas dentro da camada branca, que é constituída por nitretos ϵ -Fe₂₋₃N e γ' -Fe₄N. Esta camada é muito dura e frágil, e não resiste aos esforços mecânicos gerados pela cavitação. Após 12 h de teste, praticamente toda camada branca é eliminada, e a superfície volta a apresentar uma topografia menos rugosa (Fig. 8). Acredita-se que as taxas de desgaste das amostras com camada branca tendam aos valores das amostras sem camada branca à medida que esta seja totalmente eliminada. De qualquer modo, seja nos instantes iniciais ou no regime estacionário da taxa de desgaste da camada branca, a sua presença é maléfica. A profundidade da região desgastada é quase uma ordem de grandeza inferior nas amostras sem camada branca. Esses resultados evidenciam o efeito maléfico da camada branca na cavitação, sugerindo que, na medida do possível, ela seja evitada, ou, então, removida.

Os efeitos da microestrutura original do aço 34 CrAlNi 7 podem ser observados na Fig. (7). Nas amostras com camada branca há uma nítida superioridade das amostras com microestrutura original

ferrítica/perlítica. Essa superioridade pode estar associada à maior capacidade da microestrutura ferrítica/perlítica em reter trincas de maiores dimensões. Nas amostras sem camada branca (5% de N_2), as taxas de desgaste por cavitação são muito próximas, todavia, uma análise da topografia feita em MEV (Fig. 8) revela que a amostra recozida consegue, depois de 18 horas de teste, manter uma quantidade maior da superfície original, quando comparada com a amostra temperada/revenida.

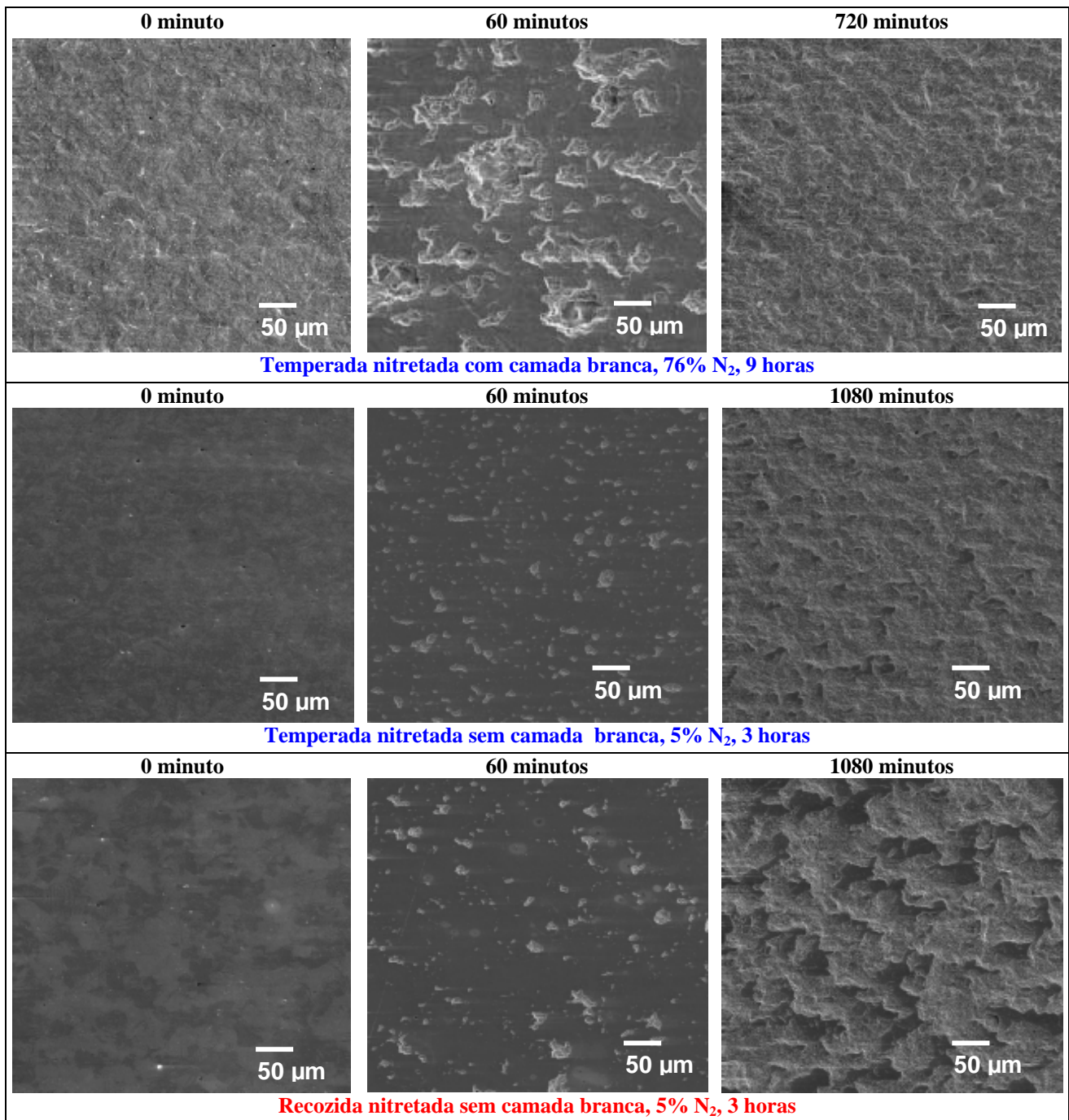


Figura 8.- Evolução dos mecanismos de desgaste das amostras nitretadas.

A Figura (9) apresenta a profundidade média de desgaste função tempo de teste em amostras nitretadas com 5% N_2 , nos tempos de 3,6 e 9 horas de nitretação. Observa-se, que a taxa de desgaste é praticamente a mesma para todos os tempos de nitretação. Todavia, as amostras nitretadas com 6 horas de tratamento, temperada/revenida e recozida apresentaram uma maior profundidade média de desgaste. Nesta condição, as amostras apresentaram a formação de pequena camada branca com aproximadamente $3\mu m$ na amostra temperada/revenida e de $5\mu m$ na amostra recozida (Fig. 4 e 5b), o que justifica este comportamento.

Os diferentes perfis de dureza e espessuras de camada nitretadas obtidos com a variação do tempo de nitretação com baixa concentração de nitrogênio não tiveram influência na taxa de desgaste. Isto provavelmente porque as profundidades de erosão são muito pequenas (menores que 6 μm).

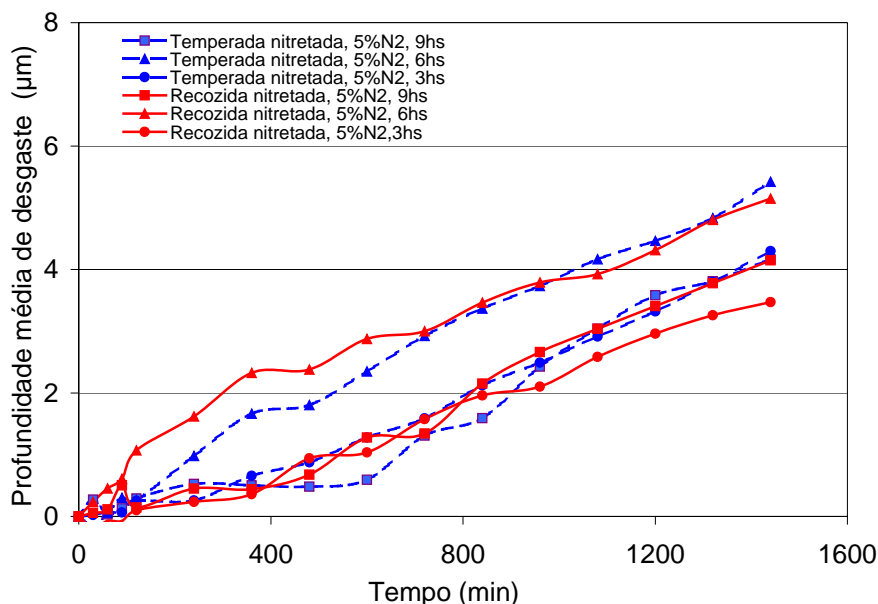


Figura 9 – Profundidade média de desgaste função tempo de teste em amostras nitretadas com 5% de N_2 , tempos de 3, 6 e 9 horas de nitretação.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho avaliou-se o desempenho do aço 34 CrAlNi 7 com relação à cavitação nos seguintes estados: temperado/revenido e recozido, nitretado ionicamente em diferentes concentrações de nitrogênio e tempos de tratamento. Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) a têmpera seguida de revenimento a uma dureza de cerca de 300HV30 melhora consideravelmente o desempenho desse aço em relação ao estado ferrítico/perlítico;
- b) o melhor desempenho com relação à resistência a cavitação foi verificado nas amostras nitretadas com menor teor de nitrogênio (5% N_2);
- b) as amostras nitretadas com 76% de N_2 apresentaram elevadas taxas de remoção nos estágios iniciais. Este comportamento é atribuído à fragmentação da camada branca presente nestas amostras;
- c) recomenda-se, na medida do possível, a supressão da camada branca em aplicações que envolvam cavitação;
- d) na presença de camada branca, há indicações de um desempenho superior de amostras recozidas. Acredita-se que esse melhor desempenho possa estar relacionado à maior capacidade da microestrutura ferrítica/perlítica em reter trincas originadas dentro da camada branca. Em amostras sem camada branca, a taxa de desgaste foi a mesma para amostras temperadas/revenidas e recozidas.
- e) O tempo de nitretação não exerceu influência na taxa de erosão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de doutorado concedida a Flávio José da Silva e à Petrobras pelo apoio financeiro. Os autores agradem ainda o LAMEF/UFRGS pela realização dos tratamentos termoquímicos e difração de raios-X.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alsaran, A., 2003, "Determination of tribological properties of ion-nitrided AISI 5140 steel", *Materials Characterization*, vol. 49, pp. 171–176.
- ASTM G32-98, "Standard Test Method for Cavitation Erosion Using Vibratory Apparatus", American Society for Testing and Materials, 1998.
- Blawert, C., et., 1998, "Surface treatment of nitriding steel 34CrAlNi7: A comparison between pulsed plasma nitriding and plasma immersion ion implantation", *Surface and Coatings Technology*, vol. 98, pp 1181-1186.
- Boccanera, L., Barra, S.R., Buschinelli, A.J.A., de Freitas, C.R.R. e dos Santos, J.V., 1998, "Influência do acabamento superficial, porosidade e diluição sobre a resistência à cavitação de revestimentos soldados", V Ibero-Americano de Soldagem, Fortaleza-CE.
- Chatterjee-Fischer, R. *et al.*, "Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen – Nitrieren und Nitrocarburieren", Expert Verlag, 1995, Berlin.
- Czichos, H. und Habig, K.H., 1992, "Tribologie Handbuch - Reibung und Verschleiß", Vieweg Verlag, Braunschweig, 1992.
- Huang, W.H., Chen, K.C. and He, J.L., 2002, "A study on the cavitation resistance of ion-nitrided steel", *Wear*, Vol. 052, pp. 459-466.
- Podgornik, B. and Vizintin, J., 2001, "Wear resistance of pulse plasma nitrided AISI 4140 and A355 steels", *Materials Science and Engineering*, vol. A315, pp. 28–34.
- Preece, C.M., 1979, "Cavitation erosion in treatise in materials science technology", vol. 16 *Erosion*, Academic Press, pp. 249-307.

EFFECTS OF PLASMA NITRIDING PARAMETERS ON THE CAVITATION RESISTANCE OF 34 CrAlNi 7 STEEL

Flávio José da Silva (ltm-fjsilva@mecanica.ufu.br)

Rodrigo Giannotti da Silva

Sinésio Domingues Franco (ltm-sdfranco@ufu.br)

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica, Laboratório de Tribologia e Materiais, , Bloco 1R, CEP 38400-902 - Uberlândia/MG

Marcelo Torres Pizza Paes (mtpp@cenpes.petrobras.com.br)

Ricardo Reppold Marinho (reppold@petrobras.com.br)

Petrobras, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello, CENPES - RJ

Abstract. *Plasma nitriding is a surface strengthening treatment widely used in components to improve their mechanical properties; their wear resistance, fatigue and corrosion behavior. Nitriding is also an important treatment in situations where cavitation occurs. However, little is known about the cavitation behavior of steel nitrided layers. By changing processing parameters, as for example the nitrogen content in the plasma chamber, different structures can be achieved. Therefore, the selection of the correct processing parameters is a very important factor in improving the wear behavior of nitrided layers. In this paper, the effects of the nitriding parameters on the wear behavior of 34 CrAlNi 7 steel are studied (time and nitrogen content in the plasma chamber). Annealed and quenched/tempered steel samples were nitrided. Their wear mechanisms were investigated by using optical and scanning electron microscopy, X-ray diffraction and laser interferometry. The results showed that cavitation wear resistance increases about 10 times after nitriding. When using high nitrogen content (76%N₂), a high wear rate was observed at the beginning of the tests owing to the compound layer (white layer). Specimens nitrided with lower nitrogen content (5% N₂) showed better cavitation behaviour. The nitriding time did not change cavitation resistance. Additionally, there was evidence of better performance in the nitrided layers of the annealed samples.*

Key words: *cavitation, plasma nitriding, white layer, microstructure.*