

MELHORIA DA RESISTÊNCIA À EROÇÃO CAVITACIONAL PELA DEPOSIÇÃO DO FILME FINO Ti(C,N) POR PAPVD¹

*Túlio Kenji Costa Hashizume²
Geralda Cristina Durães de Godoy³
Marília Mendonça de Lima⁴
Paulo José Modenesi³
Dagoberto Brandão Santos³*

Resumo

A frequência do aparecimento da erosão cavitacional tem estimulado pesquisadores a se aprofundarem nos vários campos de pesquisa, com estudos teóricos e experimentais. A cavitação é um fenômeno que leva a remoção de material em contato com fases líquidas devido ao colapso de bolhas. Neste trabalho buscou-se utilizar um recobrimento protetor de Ti(C,N) sobre um substrato de aço ABNT 1045 como alternativa para evitar o desgaste por cavitação do aço. O sistema de deposição utilizado foi o de PAPVD (deposição física de vapor assistida por plasma), desse modo obteve-se conjugados Ti(C,N) (recobrimento/substrato) com cerca de 3 µm de espessura. Os testes de cavitação foram conduzidos pelo método ultrassônico, segundo ASTM G32-85. De acordo com a difração de raios-X o filme depositado é monofásico com parâmetro de rede de 0,4306 nm. A presença do recobrimento permitiu que o período com baixas taxas de remoção fosse ampliado de 1,5 para 8,2 horas. O papel do recobrimento foi avaliado pelas imagens de mapeamento (MEV), pela análise de EDS e perfilometria 3D. A boa adesão do filme (teste de adesão Rockwell), a baixa rugosidade do processo de deposição e a elevada razão H/E (medida por microdureza Knoop) permitiram a melhoria da resistência à erosão cavitacional. A microdureza mostrou-se uma técnica mais apropriada para avaliar a resistência cavitacional do que a nanodureza. Através da análise de regressão segmentada obteve-se um novo procedimento para determinação do tempo de incubação. Os resultados obtidos demonstram um futuro promissor para o uso de recobrimentos protetores processados por PAPVD.

Palavras-chave: Erosão cavitacional; Recobrimento Ti(C,N); Perfilometria 3D.

¹ 60º Congresso da ABM, 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte - MG

² Bolsista de Iniciação Científica - FAPEMIG

³ Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - UFMG

⁴ Bolsista Recém Doutor – FAPEMIG

Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFMG
Rua Espírito Santo, 35 – Belo Horizonte – MG, CEP 30160-030

INTRODUÇÃO

Há muito tempo, engenheiros e técnicos vem tentando solucionar problemas de desgaste por erosão, sendo a cavitação um dos fenômenos de desgaste de maior desafio. Substituição de peças de aço danificadas por novas tem se tornado cada vez mais onerosa, por isso muitas empresas tem criado o departamento de tribologia com o intuito de desenvolver materiais e técnicas, visando resolver estes problemas. Cavitação é definida como a repetida nucleação, crescimento e colapso de cavidades ou bolhas em um líquido. Quando um líquido é sujeito a tensões trativas suficientemente altas, provocadas pela súbita queda da pressão abaixo da pressão de vapor, vazios ou cavidades são formados em sítios de nucleação dentro do líquido e crescem sob condições de tração. Quando esse líquido é sujeito a tensões compressivas, devido a pressões hidrostáticas mais altas, essas cavidades tornam-se instáveis e entram, violentamente, em colapso. A pressão produzida pelo colapso pode causar deformação localizada e/ou remoção de material da superfície de um sólido presente nas vizinhanças da cavidade. Essa remoção de material é conhecida como “dano” ou “erosão cavitacional” que, além do fator mecânico, pode envolver fatores químicos, principalmente se o filme estiver danificado, permitindo ocorrer corrosão em taxas altas [1]. A taxa de erosão em função da contínua exposição à cavitação, normalmente, não é uma função linear, apresentando estágios distintos [2]. Possíveis mecanismos de desgaste, ainda não conhecidos completamente, para descrever a erosão provocada pela cavitação podem envolver “ondas de choque” ou “microjatos”. A taxa de erosão cavitacional é influenciada pela textura superficial e propriedades mecânicas. Estudos mostraram que materiais resistentes à cavitação exibem: superfície plana, boa resistência à corrosão e elevada resiliência. A resiliência é expressa por $U_0=1/2(S_0^2/E)$ (onde S_0 é o limite de escoamento e E o módulo de elasticidade) [3]. Como o limite de escoamento está relacionado com a dureza (H) do material, valores elevados para a razão H/E significam uma elevada resiliência, portanto uma enorme capacidade do material absorver e devolver energia sem deformação permanente. Assim, materiais com elevada resiliência poderão ser mais resistentes a erosão cavitacional [4]. Como materiais que apresentam tais características são de custo elevado, o uso de recobrimentos processados por deposição física de vapor (PVD) tem sido estimulado. Dentre os procedimentos de engenharia de superfície empregados na redução do desgaste por cavitação, além do uso de recobrimentos, citam-se: nitretação e tratamento térmico. PVD é a terminologia genérica utilizada para algumas técnicas de deposição de recobrimentos caracterizados pela atomização ou vaporização de uma fonte sólida do material a ser depositado sobre o substrato. Dentre as tecnologias PVD, a deposição física de vapor assistida por plasma (PAPVD) é interessante como método de obtenção de recobrimentos tribológicos. A PAPVD proporciona o aumento da adesão do revestimento, a obtenção de espessura uniforme do recobrimento (baixa rugosidade) e a possibilidade de controle da estrutura do filme. Esses fatores são importantes para a boa resistência à cavitação. Os recobrimentos de carbonitreto de titânio [Ti(C,N)] aliam elevadas durezas dos filmes TiC com as baixos módulos de elasticidade do TiN, proporcionando uma elevada razão H/E . Tal fato, maior dureza e facilidade maior de deformação, justifica o seu uso em cavitação [2,5]. De modo geral, o uso de recobrimentos aumenta a resistência mecânica, a capacidade de suportar cargas, assim aumentando a resistência a fenômenos de degradação superficial que dependem de resistência mecânica superficial. No caso da erosão cavitacional, um baixo módulo de elasticidade

também é desejável, o que muitas vezes é difícil de encontrar em sistemas de alta resistência mecânica. Neste trabalho, buscou-se através da deposição de um filme fino Ti(C,N) a melhoria da resistência à cavitação de um aço carbono comum, ABNT 1045. Monitoramento por MEV e por perfilometria 3D permitiu elucidar o papel do recobrimento no mecanismo de degradação cavitacional do conjugado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Corpos de prova cilíndricos de aço ABNT 1045 com 16 mm de diâmetro e 15 mm de altura foram usinados. A composição química do aço empregado é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 1045.

Elemento	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb
% em peso	0,47	0,02	0,01	0,23	0,82	0,03	0,03	0,06	0,01

As amostras foram lixadas manualmente utilizando lixas de SiC de granulometrias 100, 120, 220, 400, 600 e 1000 meshes. Após o lixamento, as amostras foram polidas utilizando pastas de diamante de 9, 3 e 1 μm com o objetivo de garantir uma baixa rugosidade, necessária para a boa adesão do filme processado por PAPVD. Antes da deposição do filme as amostras foram submetidas a uma limpeza por erosão (sputtering) e subsequente aquecimento em plasma de argônio. Durante o tempo de deposição de 1 hora, as amostras de aço foram submetidas a pressão de 0,5 Pa, a tensão de bias do substrato de 50 V e a temperatura de 400 - 450 $^{\circ}\text{C}$. As espessuras dos conjugados (recobrimento/substrato) de Ti(C,N) obtidos foram de $(2,70 \pm 0,02)$ μm . A difratometria de raios-X foi realizada, utilizando o difratômetro Philips PW 1710, antes do teste de erosão cavitacional, para a caracterização das fases cristalinas presentes. A fim de se caracterizar o conjugado obtido, foram realizados testes de microdureza Knoop e de adesão Rockwell [6]. A microdureza e o módulo de elasticidade foram avaliados pelo microdurômetro da Future Tech FM-1, com um tempo de aplicação da carga de 30 segundos e carga de indentação Knoop de 2,0 N. Este procedimento também foi empregado no aço 1045 puro. A metodologia utilizada para se medir o módulo de elasticidade pode ser encontrada na referência [7]. Durante a realização do teste de erosão cavitacional, programou-se paradas em alguns instantes para realização dos testes de perfilometria e microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens de microscopia eletrônica da superfície foram realizadas no equipamento JSM-6360LV da JEOL. A análise química dos elementos presentes foi realizada pelo Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) da Thermo Noran modelo Quest. Esta análise de composição foi realizada, no aumento de 75x, na região central da amostra. Como o aparelho não consegue captar bem elementos de baixo número atômico, o monitoramento do filme Ti(C,N) foi realizado apenas pela presença do Ti na superfície do conjugado. Os testes de perfilometria 3D, utilizados para monitorar a textura superficial, foram importantes para acompanhar a erosão por cavitação. O equipamento empregado foi o perfilômetro da Hommelwerke T4000. Os principais parâmetros perfilométricos adotados na varredura das amostras são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis utilizadas para o teste de perfilometria.

Parâmetros de perfilometria			
Velocidade de varredura (mm/s)	0,5	Área varrida (mm^2)	64
Espaçamento entre as medições (μm)	160	Apalpador móvel	TK300

Com auxílio do software Mountains [8], foram obtidas as imagens tridimensionais dos perfis de rugosidade com o uso de um polinômio de 2º grau, para redução de forma, e filtro de 0,8 mm, para separar perfis de ondulação e rugosidade. O ensaio de erosão cavitacional procedeu-se conforme a norma ASTM G 32-85 [9]. A amostra foi imersa em um recipiente com água destilada sob uma temperatura de ensaio de (22 ± 1) °C. O ensaio era interrompido em alguns intervalos para pesagem das amostras. A perda de massa foi determinada por meio de balança analítica com resolução de 0,1 mg, de forma a se obter a variação de massa em função do tempo. A partir dos dados de perda de massa, utilizando a densidade de $7,86 \text{ g/cm}^3$ para ambas as amostras, foi construído o gráfico de perda de volume. A interpretação da curva perda de volume x tempo permite a comparação de resultados entre diferentes materiais. Análise estatística dos dados experimentais foi realizada, com auxílio do programa *Statistica for Windows* [10]. Quando uma função se comporta de forma distinta em diferentes faixas de valores de x, podem-se ajustar modelos de regressão linear em diferentes partes do conjunto de dados. Como o ponto de quebra (t) é desconhecido, este passa a ser um parâmetro que deve ser estimado. O problema resultante passa, assim, a ser um problema de regressão segmentada não linear [11].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de difração de raios-X do conjugado Ti(C,N) mostrou que o recobrimento possui uma única fase cristalina CFC, do tipo B1 NaCl, expressa por $\text{TiC}_x\text{N}_{1-x}$. Um valor de parâmetro de rede igual a 0,4306 nm foi determinado e observado uma orientação preferencial segundo o plano cristalino (111). Sendo o recobrimento monofásico e de posse do valor do parâmetro de rede determinado, estimou-se a composição química do mesmo ($\text{TiC}_{0,7}\text{N}_{0,3}$), a partir do gráfico presente na Figura 1.

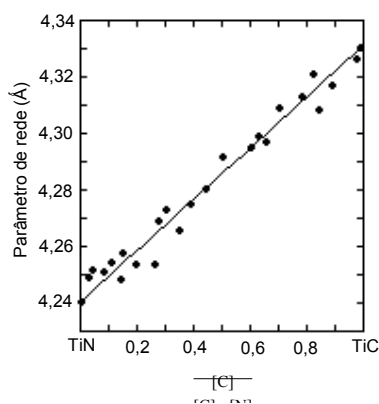


Figura 1. Relação entre a composição do filme $\text{Ti}(\text{C}_x\text{N}_{1-x})$ e o parâmetro de rede [12].

A análise qualitativa de adesão do conjugado foi realizada comparando e classificando conforme padrão [13]. Obteve-se adesão suficiente do revestimento ao substrato para forças aplicadas de até 981 N, pois nestes casos só apareceram trincas. Esses resultados indicam uma boa adesão do recobrimento. Os valores de microdureza Knoop, obtidos para os sistemas em estudo, com carga 2,0 N, mostram que a dureza do conjugado foi muito superior ao do aço ABNT 1045 (Tabela 3). Observa-se que a adição de um filme fino de espessura de $(2,70 \pm 0,02)$ μm foi capaz de influenciar na dureza superficial do substrato-aço, quase que triplicando o valor. O módulo de elasticidade encontrado para os sistemas aço e aço-recobrimento foi estatisticamente igual. Ou seja, embora se tenha conseguido alterar a dureza superficial, o módulo de elasticidade permaneceu constante o que acarretou o aumento da razão H/E. Valores determinados de dureza e módulo de elasticidade por [14], indicam valores muito superiores de dureza para sistemas aço-

Ti(C,N), entorno de 40 GPa. No entanto, os níveis diferentes de carga utilizados por esses autores (25 mN) e neste trabalho (2,0 N) indicam que a microdureza Knoop refletiu a dureza do aço, desde que uma maior penetração foi alcançada, enquanto os resultados de nanoindentação, produzidos por esses autores, refletiram a dureza intrínseca dos recobrimentos, sem a influência da dureza do substrato-aço. No fenômeno erosão por cavitação, embora os mecanismos relativos à implosão de bolhas de vapor não se encontrem totalmente elucidados, sabe-se que são produzidas pressões na superfície da ordem de GigaPascal, em tempos de duração da ordem de microsegundos [15]. Neste nível de intensidade de pressões, o fenômeno cavitação se faz acontecer a níveis maiores de profundidade de penetração, que os alcançados por medidas de nanoindentação (da ordem de 200 nm). Desta forma, provavelmente, microdurezas refletem mais a resistência mecânica oferecida pelo material que medidas de nanoindentação.

Tabela 3. Valores médios de microdureza (H), módulo de elasticidade (E) e razão H/E para os sistemas em estudo (I.C. = intervalo de confiança).

Sistema	H _{médio} (GPa)	I.C. (95%) (GPa)	E _{médio} (GPa)	I.C. (95%) (GPa)	H/E
Conjugado Ti(C,N)	6,3	[6,1;6,5]	129	[112;146]	0,049
Aço 1045	2,6	[2,5;2,7]	117	[96;138]	0,022

Os parâmetros topográficos iniciais das amostras, S_a (média aritmética das amplitudes), S_q (média quadrática das amplitudes), S_z (distância média dos cinco maiores picos e os cinco maiores vales), S_{ku} (kurtosis) e S_{sk} (assimetria da curva de distribuição de amplitudes) são mostrados na Tabela 4. Esses parâmetros de amplitude entre o aço e o conjugado aço-revestimento foram bem próximos, mesmo para o parâmetro S_{sk} , pois, para valores entre -1 e 1, a superfície tem a mesma distribuição gaussiana de amplitudes. Isto significa que a deposição de recobrimentos por PAPVD, nos níveis de espessura produzidos neste trabalho, não influencia a rugosidade final do substrato. Além disso, pode-se concluir que a textura superficial não apresentou como o fator responsável pelas respostas diferenciadas dos sistemas em estudo, relativo à resistência à cavitação.

Tabela 4. Parâmetros iniciais do perfil de rugosidade obtidos para sistemas estudados.

Amostra	S_a (μm)	S_q (μm)	S_z (μm)	S_{ku} (μm)	S_{sk} (μm)
Conjugado Ti(C,N)	0,14	0,20	4,73	12,2	0,44
Aço 1045	0,13	0,19	4,51	13,5	-0,34

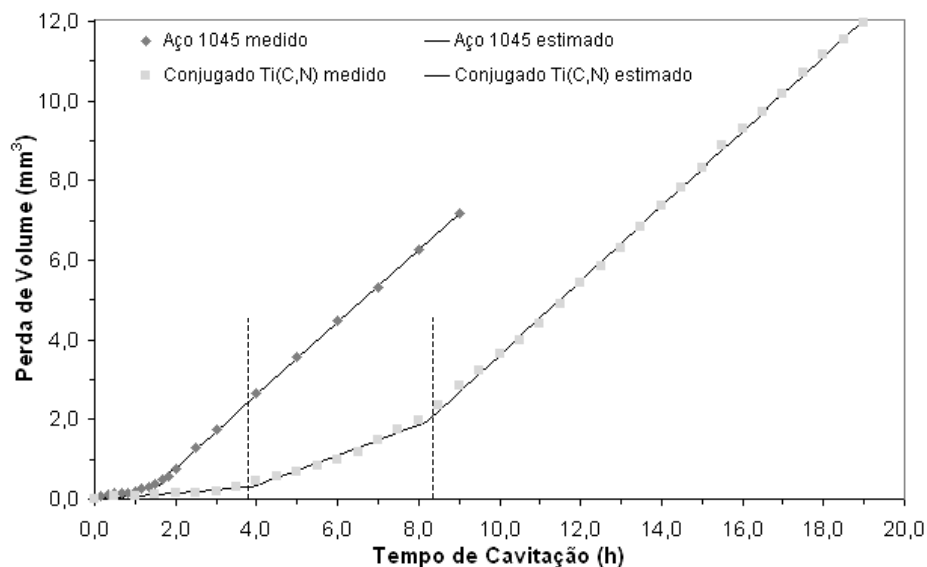


Figura 2. Evolução do desgaste em função do tempo para os sistemas em estudo

Os resultados da perda de massa por erosão cavitacional são apresentados na Figura 2, juntamente com a curva do modelo estatístico proposto ajustado aos dados experimentais. Os gráficos de probabilidade normal dos resíduos indicaram uma distribuição normal dos resíduos, assim como os gráficos de valores experimentais de resíduos versus valores preditos mostraram uma variância constante. Tais fatos comprovam que o modelo proposto teve um bom ajuste aos dados experimentais. Os parâmetros obtidos desta análise estatística estão relacionados na Tabela 5. Nota-se que para o sistema aço apenas dois regimes de desgaste foram observados: o regime de incubação, onde não há perda de massa significativa e o regime de cavitação acelerada, que se iniciou no tempo de 1,5 horas. Este ponto de quebra, entre os dois regimes, foi determinado pela análise estatística segmentada, o que representa um novo procedimento de determinação do tempo de incubação diferentemente do tempo de incubação nominal, t_{in} , determinado pela norma ASTM G 32-85, como sendo igual ao intercepto no eixo x, tempo de cavitação, da reta de maior inclinação traçada na região de cavitação acelerada. A introdução do revestimento Ti(C,N) promoveu o aparecimento de um terceiro regime de desgaste, intermediário entre o regime de incubação e o regime de cavitação acelerada; é o regime denominado de desgaste cavitacional do recobrimento. Isto significa que a deposição de um recobrimento de Ti(C,N) promoveu taxas baixas de erosão cavitacional até tempos de 8,5 horas. Observa-se também que a partir deste tempo, as inclinações de cada sistema são estatisticamente iguais, assim, conclui-se que a partir deste tempo de 8,5 horas o recobrimento residual não exerceu nenhuma influência na resistência à cavitação do aço ABNT 1045. A figura 3 confirma estes resultados. Durante o período de incubação, nas primeiras quatro horas, houve perda de 20% do filme. Já no período de regime de erosão cavitacional do filme, houve perda de 60% do mesmo, durante um período de 4 horas. No início do último estágio (regime de erosão cavitacional acelerado) havia apenas cerca de 20% quantidade esta de recobrimento que não influenciou a taxa de erosão cavitacional observada para o aço não recoberto. O resultado de perda de volume do conjugado Ti(C,N) é comparável com o das ligas metálicas e aços nitretados [16].

Tabela 5. Análise estatística das curvas de perda de volume do conjugado de Ti(C,N) e do aço 1045 (intervalo de confiança de 95%).

	Conjugado Ti(C,N)	Aço 1045
Primeira Inclinação (mm ³ /h)	0,078 ± 0,004	0,223 ± 0,006
Segunda Inclinação (mm ³ /h)	0,38 ± 0,01	0,92 ± 0,01
Terceira Inclinação (mm ³ /h)	0,94 ± 0,03	-
Primeiro Ponto de Quebra (h)	3,89 ± 0,08	1,48 ± 0,02
Segundo Ponto de Quebra (h)	8,20 ± 0,04	-

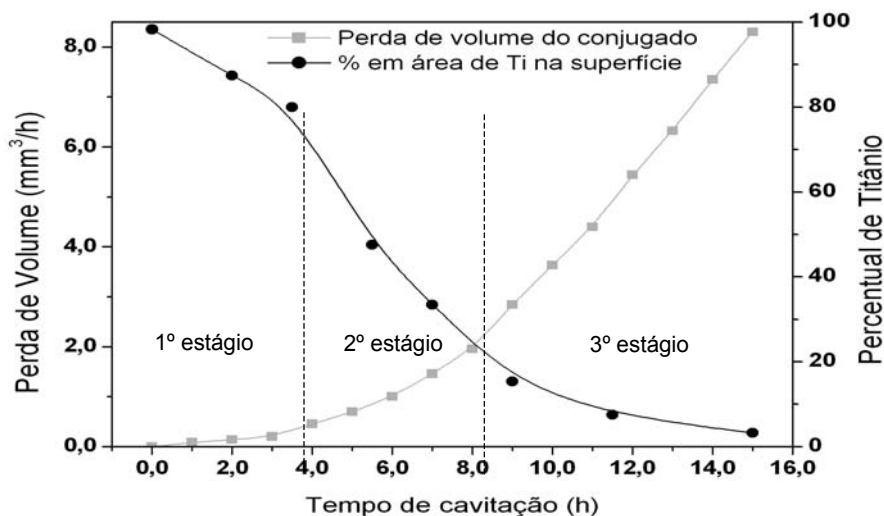
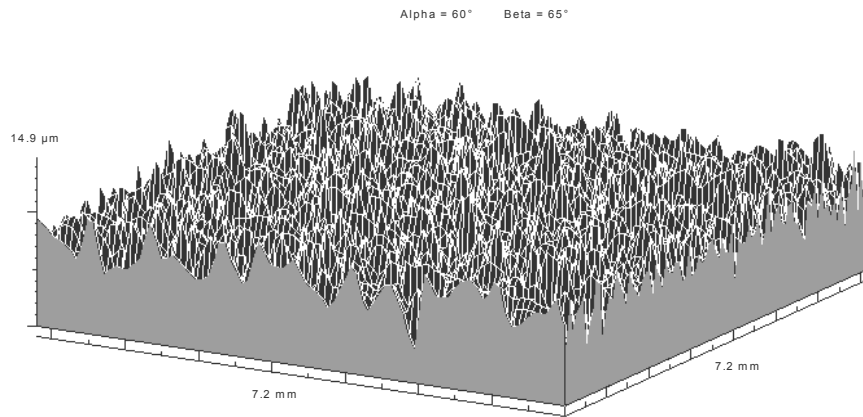
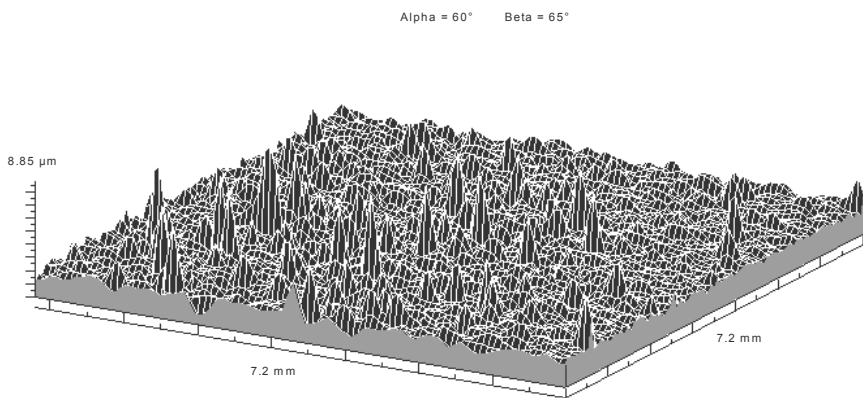


Figura 3. Relação entre a taxa de desgaste e a presença percentual do filme Ti(C,N), determinada pela dosagem de Ti por EDS durante o teste de cavitação.

O desempenho comparativo do conjugado Ti(C,N), após 3 horas de erosão cavitacional, é mostrado pelas imagens dos perfis de rugosidade das superfícies na Figura 4. Essas imagens correspondem ao perfil invertido em relação ao eixo z, o que facilita a visualização dos danos causados ao material. Assim, os picos observados representam os vales do perfil original (não espelhado em z). Para o tempo de 3 horas, o aço 1045 já se encontra no regime de cavitação acelerada, porém o conjugado Ti(C,N) ainda se encontra no período de incubação. O melhor desempenho do conjugado Ti(C,N), em relação ao aço 1045, é evidente na análise dos histogramas da Figura 5. Esta distribuição de picos foi obtida dos perfis apresentados na Figura 4. A amplitude e a quantidade de picos presentes no perfil invertido do aço é bem superior ao conjugado. Esses resultados evidenciam o efeito benéfico da deposição do filme pela técnica de PAPVD. A adição do filme provocou uma mudança da distribuição gaussiana de picos presente no aço para uma distribuição assimétrica.



(a)



(b)

Figura 4. Imagens do perfil topográfico de rugosidade invertido em z do (a) aço 1045 e (b) conjugado Ti(C,N).

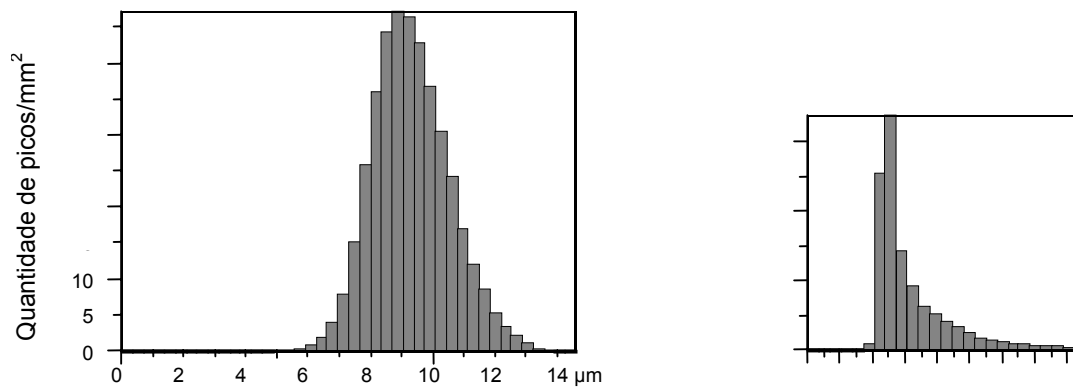


Figura 5. Distribuição de picos dos perfis de rugosidade para sistemas estudados.

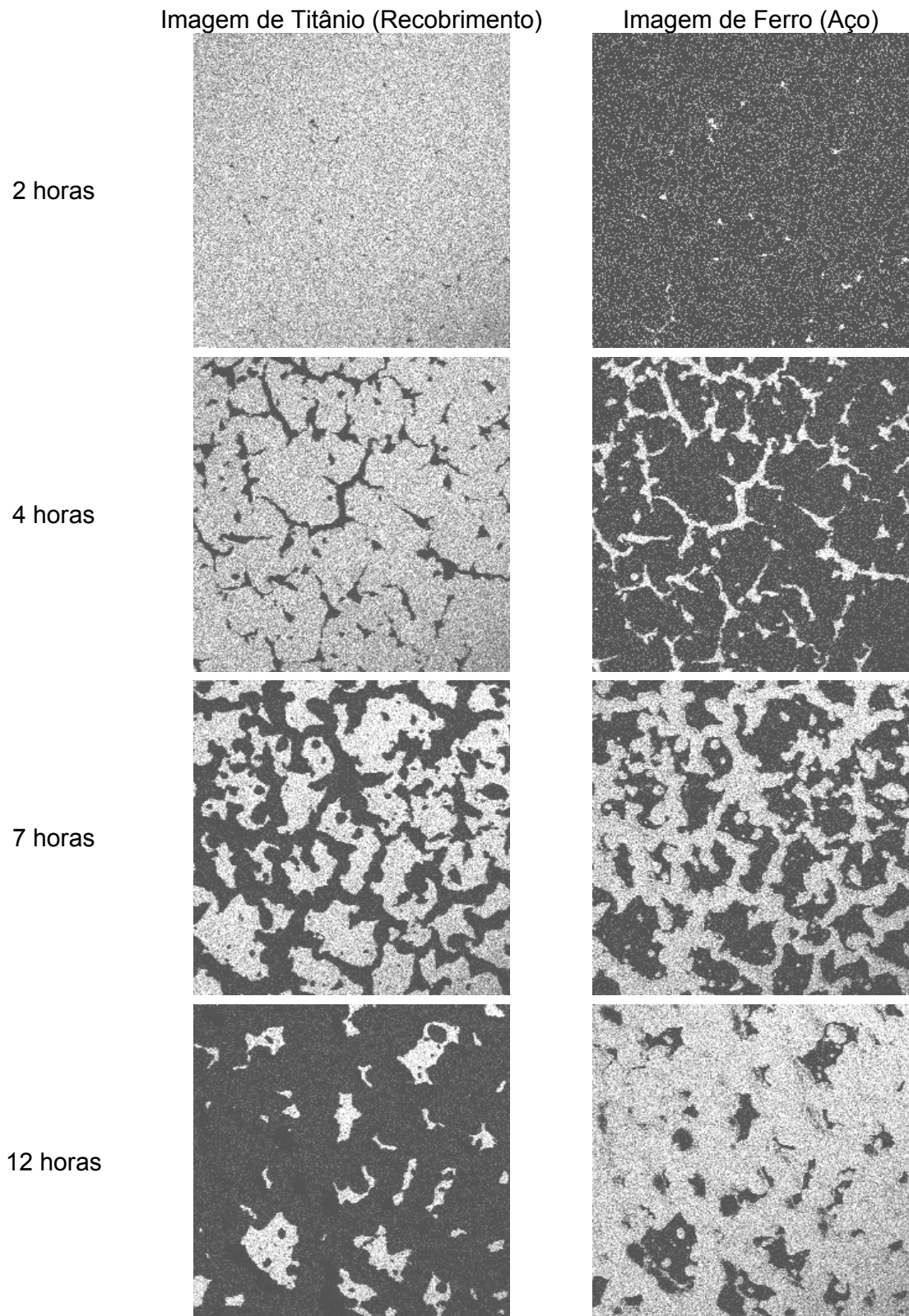


Figura 6. Fotomicrografias da área central do conjugado Ti(C,N) em diferentes intervalos de cavitação. MEV 30x.

As imagens de mapeamento produzidas em MEV (figura 6) mostram a evolução da degradação do recobrimento e o posterior aumento da exposição do aço ao desgaste. Observa-se que até quatro horas apenas uma pequena área estava sem o recobrimento (tempo de incubação). Houve uma intensa mudança para o tempo de sete horas, indicando um estágio de desgaste do recobrimento. Nas imagens de Ti e Fe obtidas, as regiões mais claras correspondem à presença dos respectivos elementos.

CONCLUSÕES

A deposição do filme fino de Ti(C,N), processado por PAPVD, aumenta significativamente a resistência à erosão cavitacional de um aço carbono ABNT 1045. O tempo para atingir a cavitação acelerada passou de 1,5 horas para 8,2 horas no conjugado. A melhor performance do conjugado Ti(C,N) está relacionada a maior razão H/E em relação ao aço não recoberto, a boa adesão do filme e a baixa rugosidade alcançada pelo conjugado no processo de deposição. A perfilometria 3D foi importante na comparação e quantificação dos desgastes nos sistemas estudados, esclarecendo o papel do recobrimento na erosão cavitacional. Pela análise de EDS e imagens de mapeamento em MEV pode-se monitorar a degradação do filme.

Agradecimentos

Agradecimentos à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 HAN, S.; LIN, J.H.; KUO, J.J.; HE, J.L.; SHIH, H.C. The cavitation erosion phenomenon of chromium nitride coatings deposited using cathodic arc plasma deposition on steel. **Surface and Coatings Technology**, v.161, p.20-25, 2002.
- 2 MÜNSTERER, S.; KOHLHOF, K. Cavitation protection by low temperature TiCN coatings. **Surface and Coatings Technology**, v.74-75, p.642-647, 1995.
- 3 DIETER, G.E. **Mechanical Metallurgy**. 2nd edition, Tokyo: McGraw-Hill, 1976, p. 335.
- 4 LIMA, M.M.; GODOY, C.; MODENESI, P.J.; AVELAR-BATISTA, J.C.; DAVISON, A.; MATTHEWS, A. Coating fracture toughness determined by Vickers indentation: an important parameter in cavitation erosion resistance of WC-Co thermally sprayed coatings. **Surface and Coatings Technology**, v.177-178, p.489-496, 2004.
- 5 FANG, T.; JIAN, S.; CHUU, D. Nanochemical properties of TiC, TiN and TiCN thin films using scanning probe microscopy and nanoindentation. **Applied Surface Science**, v.228, p.365-372, 2004.
- 6 JEHN, H.; REINERS, G.; SIEGEL, N. DIN Fachbericht 39, Characterisierung dünner Schichten, **Beuth Verlag**, Berlin, 1993.
- 7 MARSHALL, D.B.; NOMA, T.; EVANS, A.G. A simple method for determining elasticmodulus-to-hardness ratios using Knoop indentation measurements. **Communications of the American Ceramic Society**, v.65, p.175-176, 1982.
- 8 Mountains Map Expert Software, Version 3.0.8.
- 9 ASTM G-32-85. **Standard method of vibratory cavitation erosion test**. p.116-121, 1985.

- 10 Statistica DX for Windows, Version 7, 2005, StatSoft South America.
- 11 MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. **Introduction to linear regression analysis**. 3rd edition, New York: John Wiley & Sons, 2001. cap.7, p.235.
- 12 CHENG, D.J.; SUN, W.P.; HON, M.H. The morphology and structure of chemically vapour-deposited Ti(C,N) coatings. **Thin Solid Films**, v.146, p.45-53, 1987.
- 13 W., HEINKE, LEYLAND, A., MATTHEWS, A., BERG, G., FRIEDRICH, C.; BROSZEIT, E. Evaluation of PVD nitride coatings, using impact, scratch and Rockwell – C adhesion tests. **Thin solid films**, v.270, p.431-438, 1995.
- 14 KARLSSON, L.; HULTMAN, L.; JOHANSSON, M.P.; SUNDGREN, J.E.; LJUNGCRANTZ, H. Growth, microstructure, and mechanical properties of arc evaporated TiC_xN_{1-x} ($0 \leq x \leq 1$) films. **Surface and Coatings Technology**, v.126, p.1-14, 2000.
- 15 PATELLA, R.F.; REBOUD, J.L.; ARCHER, A. Cavitation damage measurement by 3D laser profilometry. **Wear**, v.246, p.59-67, 2000.
- 16 MANN, B.S.; ARYA, V. An experimental study to correlate water jet impingement erosion resistance and properties of metallic materials and coatings. **Wear**, v.253, p.650-661, 2002.

IMPROVEMENT OF CAVITATION EROSION RESISTANCE THROUGH Ti(C,N) THIN FILM DEPOSITION BY PAPVD

*Túlio Kenji Costa Hashizume
Geralda Cristina Durães de Godoy
Marília Mendonça de Lima
Paulo José Modenesi
Dagoberto Brandão Santos*

Abstract

The increase in the emergence of cavitation erosion has stimulated deep researchers in this field, with theoretical and experimental studies. Cavitation is a phenomenon that makes removal of material in contact with liquid phases by bubbles collapse. In this present work, it was used, as alternative to prevent the steel damage by cavitation, a Ti(C,N) protective coating onto a ABNT 1045 steel substrate. PAPVD (plasma assisted physical vapour deposition) was used as deposition system, thus, was gotten conjugated Ti(C, N) (coating/substrate) with about 3 μm of thickness. The cavitation tests had been lead by the ultrasonic method, as ASTM G32-85. The X-rays diffraction appointed that the deposited film is single-phase, with lattice constant of 0.4306 nm. The presence of the coating allowed an increase of the period with low rate of removal from 1.5 to 8.2 hours. The paper of the coating was evaluated by the mapping images (SEM), by the analysis of EDS and 3D profilometry. The good adhesion of the film (Rockwell adhesion test), the low rugosity of the deposition process and high ratio H/E (measured by Knoop indentation) allowed the improvement of the cavitation erosion resistance. The microhardness revealed as more appropriate technique to evaluate cavitation resistance than the nanohardness. Through the analysis of segmented regression a new procedure for determination of the incubation time was gotten. The gotten results demonstrate a promising future for the use of protective coverings processed by PAPVD.

Key-words: Cavitation erosion; Ti(C,N) coating; Profilometry 3D.