

RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO DE REVESTIMENTOS NCrAlSi MULTICAMADA/GRADIENTE

Teles, V. C., Universidade Federal de Uberlândia, telesv88@gmail.com

Victor, S. Universidade Federal de Santa Catarina, silviu_victor@embraco.com.br

De Oliveira, C. A. S., Universidade Federal de Santa Catarina, carlosa@emc.ufsc.br

De Mello, J. D. B., Universidade Federal de Uberlândia, ltm-demello@ufu.br

Silva, W. M., Federal de Uberlândia, washington@femec.ufu.br

Resumo. Revestimentos PVD são utilizados em diversos setores da indústria principalmente na metal mecânica. Tais revestimentos possuem o objetivo de aumentar a vida útil das ferramentas visando diminuição de custos. Este trabalho tem por objetivo avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos de NCrAlSi depositados sobre um substrato de aço ferramenta SRV2W. Para avaliar o ancoramento dos revestimentos diferentes acabamentos superficiais para o substrato foram adotados: polido, microjateado e microjateado seguido de polimento. Dois métodos de deposição do revestimento foram utilizados: multicamada e gradiente. O método utilizado para avaliar a resistência a abrasão foi a técnica de microabrasão. Amostras que combinam substrato polido e revestimentos tipo gradiente apresentaram melhores resultados em relação aos revestimentos multicamada.

Palavras chave: revestimento, PVD, microabrasão, ferramentas de conformação, acabamento superficial.

1. INTRODUÇÃO

Processos de conformação e laminação envolvem um severo contato entre a folha de metal e a ferramenta de conformação. A resistência deste tipo de contato tribológico pode ser melhorado aplicando revestimentos PVD sobre a superfície das ferramentas (Imbeni, 2001). Portanto, é necessário uma completa compreensão das propriedades intrínsecas do revestimento e da interface revestimento/substrato em diferentes sistemas tribológicos. Neste trabalho, o efeito de diferentes tipos de acabamento superficial do substrato e a arquitetura do revestimento PVD na resistência ao desgaste abrasivo foi analisado utilizando o teste de microabrasão.

2. METODOLOGIA

2.1. Amostras

As amostras foram feitas de aço ferramenta SRV2W. O revestimento de NCrAlSi foi aplicado utilizando o processo PVD. Com o objetivo de avaliar o efeito do ancoramento do revestimento sobre o substrato, três tipos de acabamento superficial foram produzidos antes da deposição: polido (P), microjateado (MJ) e microjateado seguido de polimento (MJP). Dois métodos de deposição do revestimento foram utilizados: revestimento multicamada e revestimento em gradiente. Em ambos os casos, a composição química inicial do revestimento (interface com o substrato) foi de 75% Cr e 25% AlSi e variando de maneira progressiva até a superfície do revestimento que possuía composição química de 30% Cr e 70% AlSi. Neste trabalho a espessura do revestimento foi de 3 μm . As amostras foram chamadas de “2” e “5” para revestimento multicamada e revestimento gradiente respectivamente.

Propriedades mecânicas e estruturais dos revestimentos foram caracterizadas em termos de topografia da superfície (interferometria laser 3D), micro e nano dureza, tensão residual (raios-X) e adesão (teste de adesão Rockwell).

2.2. Teste de microabrasão

O teste de microabrasão utilizado é do tipo esfera livre (Rutherford, Hutchings, 1996). Neste método, a esfera é rotacionada contra o corpo de prova na presença de um fluido com finas partículas abrasivas. Figura (1) apresenta um modelo esquemático do teste de microabrasão. Neste tipo de equipamento a esfera gira sobre a amostra movida por um eixo motor, desta forma, a carga aplicada sobre a amostra é uma componente do peso da esfera. A esfera utilizada como contra corpo é de aço martensítico com 20 mm de diâmetro, induzindo uma carga normal de $0,12 \pm 0,05 \text{ N}$, monitorada por uma célula de carga. A rotação da esfera foi mantida constante a 90 rpm fazendo com que a velocidade tangencial entre esfera e amostra seja de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$.

Como fluido abrasivo foi utilizado água destilada com partículas de carbeto de silício (SiC) suspensas a uma concentração de 20% em massa. O fluido foi agitado durante todo o teste para prevenir a decantação das partículas. Uma bomba peristáltica alimenta o fluido até a interface de contato com uma taxa de uma gota a cada 3 segundos.

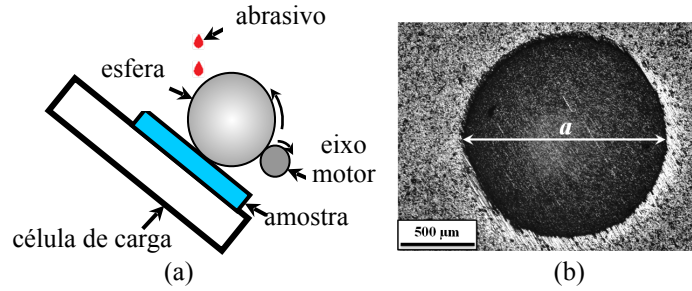


Figura 1: (a)- Representação esquemática do teste de microabrasão (b)- cratera de desgaste em uma amostra microjateado seguida de polimento e com revestimento em gradiente (MJP5).

Para materiais revestidos, o modelo de Archard para desgaste deve ser expandido para se determinar o volume desgastado no substrato (V_s) e no revestimento (V_c), como apresentado na Eq. (1). Nesta interpretação, o volume total desgastado ($V_T = V_c + V_s$) é proporcional a distância deslizada (S) e a força normal (N). Os coeficientes de desgaste k_c e k_s representam a taxa de desgaste do revestimento e do substrato, respectivamente (Rutherford, Hutchings, 1996, Gee *et. al.*, 2003, Kusano *et. al.*, 2004).

$$S*N=(V_c/k_c + V_s/k_s) \quad (1)$$

Assumindo que a cratera de desgaste seja esférica e possui o mesmo perfil do contra-corpo, V_s e V_c podem ser calculados utilizando as Eq. (2) e (3), respectivamente (Rutherford, Hutchings, 1996, Kusano *et. al.*, 2004).

$$V_s=(\pi*a^4)/(64*R), \text{ para } a < R \quad (2)$$

$$V_c=\pi*t/4*(a^2+4*R*t), \text{ para } a < R \quad (3)$$

Onde R é o raio do contra corpo, a é o diâmetro interno da cratera e t é a espessura total do revestimento.

Neste trabalho, o método de Allsopp (Kusano *et. al.*, 2003) foi adotado para se determinar os coeficientes k_s e k_c . A espessura do revestimento t foi determinada utilizando imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da seção transversal das amostras. A Equação. (1) pode ser rearranjada para a Eq. (4), desta forma, a equação de regressão linear do gráfico SN/V_c por V_s/V_c fornece o valor dos coeficientes k_s e k_c .

$$SN/V_c = 1/k_s * V_s/V_c + 1/k_c \quad (4)$$

Dez testes, consecutivos, com duração de 5 minutos foram realizados no mesmo lugar (com verificação do diâmetro interno da calota entre os testes), desta forma, o tempo total de teste foi de 50 minutos. O diâmetro interno da cratera foi mensurado utilizando um microscópio acoplado ao equipamento. Um interferômetro a laser foi utilizado para verificar a forma esférica da cratera produzida nos teste. Os mecanismos de desgaste foram observados via MEV. A Tabela (1) apresenta os parâmetros utilizados nos testes de microabrasão.

Tabela 1: Parâmetros do teste de microabrasão.

Diâmetro da esfera	20 mm	Diâmetro médio das partículas	5 μm
Carga normal	0,12 ± 0,05 N	Concentração das partículas abrasivas	20% (em peso) em água destilada
Velocidade de deslizamento	0,10 m.s ⁻¹	Taxa de alimentação do fluido abrasivo	1 gota a cada 3 segundos
Abrasivo (Logitech®)	Carbeto de silício (SiC)	Tempo de teste	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 min.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização dos revestimentos

A seção transversal das amostras multicamada e gradiente são apresentadas na Fig. (2). Nestas imagens o revestimento possui espessura de 1,5 μm obtidos por processo PVD. Para realçar o contraste entre as camadas, essa

imagem foi obtida usando MEV com uma combinação de detectores de elétrons retro-espalhados e elétrons secundários. A Figura (2a) apresenta a camada rica em Cr (clara) e a camada rica em AlSi (escura) intercaladas. A Figura (2b) apresenta o revestimento com estrutura em gradiente, na qual a região clara próxima ao substrato e rica em Cr e a região escura próxima a superfície é rica em AlSi.

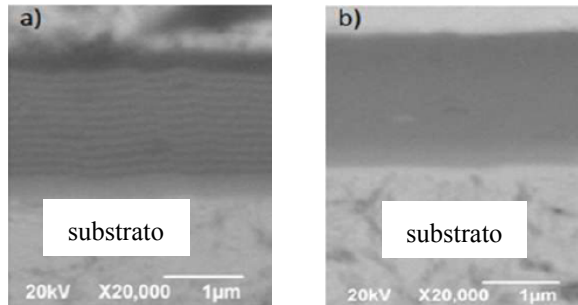


Figura 2: Exemplos de seção transversal das amostras: (a) revestimento multicamada e (b) revestimento em gradiente.

Testes de nanodureza mostraram que o valor da dureza dos revestimentos é de 9,28 GPa para a amostra com revestimento em gradiente e de 6,79 GPa para o revestimento multicamada. Esses valores são para indentações com 1 µm de profundidade.

3.2. Testes de microabrasão

Um exemplo da evolução do volume desgastado e do coeficiente de desgaste obtidos nos testes de microabrasão da amostra MJ5 é apresentado na Fig. 3.

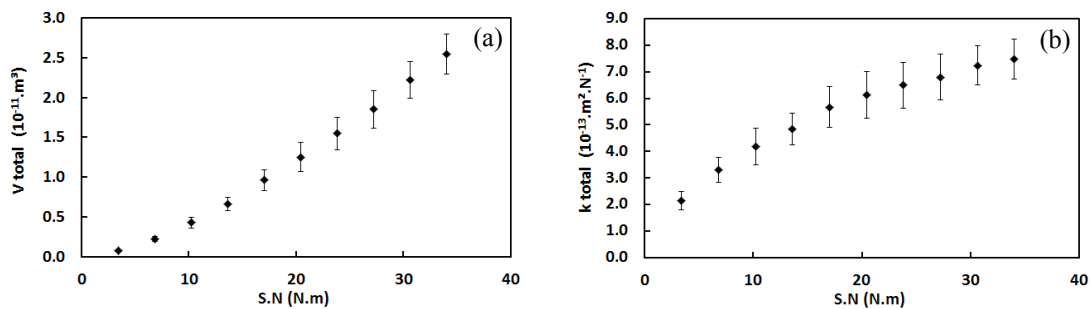


Figura 3: (a) Volume desgastado no teste de microabrasão ($V_T \times S.N$) e (b) $k_T \times S.N$ para a amostra MJ5.

O coeficiente de desgaste (kt), calculado a partir do volume total desgastado ($V_T = V_C + V_S$), tende a um valor constante com a distância percorrida. Foi considerado constante quando a diferença nos valores de kt , dos últimos quarto pontos, foi inferior a 5%, como mostrado na Fig. (3b).

Os coeficientes de desgaste, ks e kc , foram calculados utilizando a linearização da Eq. (4). A Figura (4) apresenta a reta de regressão linear obtida para a amostra MJ5.

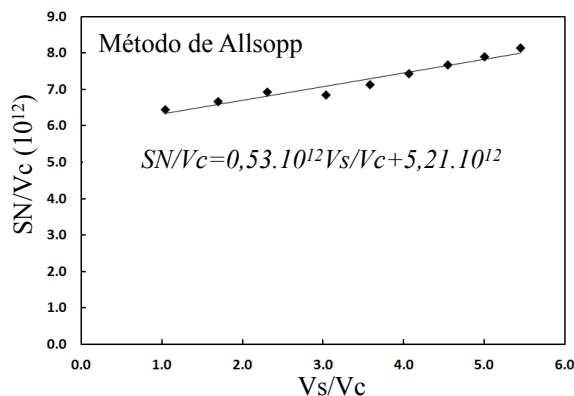


Figura 4: Reta de regressão linear dos resultados obtidos para amostra MJ5.

Este gráfico de linearização foi semelhante em todas as condições testadas. Segundo a Eq. (4) pode-se calcular o coeficiente de desgaste do substrato (k_s) pelo coeficiente angular da reta de regressão e do coeficiente de desgaste do revestimento (k_c) pode ser obtido pelo coeficiente linear (o ponto onde a reta de regressão intercepta o eixo das ordenadas). A Figura (5) apresenta os valores de k_s e k_c obtidos para todas as amostras.

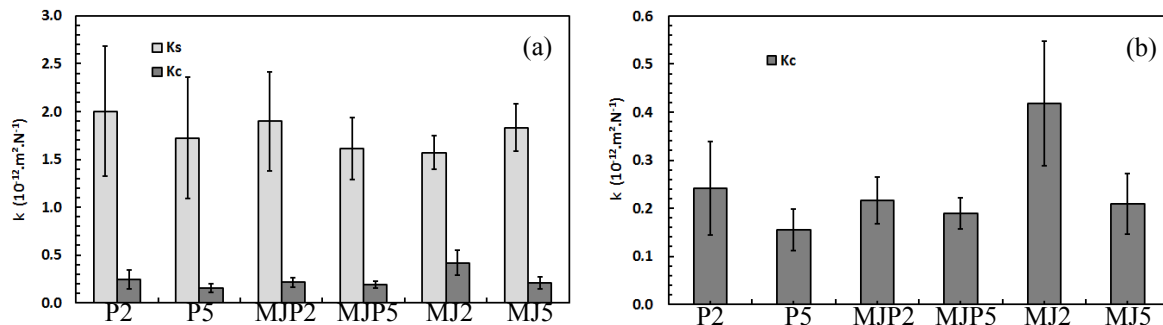


Figura 5: (a) valores de k_c e k_s de todas as amostras estudadas, (b) valores de k_c das amostras estudadas.

A análise de variância (ANOVA) mostrou que os valores de k_s são estatisticamente equivalentes para todas as amostras testadas. Os valores de k_c são uma ordem de grandeza menor que os valores de k_s , indicando que o revestimento PVD são mais resistentes que o substrato de aço ferramenta. Segundo Kusano *et. al.* (2003) pequenos valores para a razão V_c/V_s acarretam em altos erros relativos nos valores de coeficiente de desgaste do substrato, Fig. (5a).

O valor do coeficiente de desgaste do revestimento, k_c , foi maior para a amostra microjateada com revestimento em multicamada (MJ2) em relação a MJ5, como mostrado na Fig. (5b). Isto pode ser relacionado a menor dureza do revestimento multicamada. Mesmo com os altos desvios-padrão ocorreu a mesma tendência de menores valores de k_c no revestimento gradiente, tanto para amostras polidas (P) como para microjateadas seguidas de polimento (MJP) e também está relacionado a diferença de dureza dos revestimentos.

Amostras que foram apenas polidas apresentaram os menores coeficientes de desgaste do revestimento, provavelmente devido ao melhor ancoramento mecânico do revestimento sobre o substrato.

4. CONCLUSÕES

A metodologia apresentada foi eficiente para verificar a resistência ao desgaste de diferentes revestimentos PVD.

Os valores de k_s foram estatisticamente equivalentes para todas as amostras estudadas.

Os valores de k_c foram uma ordem de grandeza menor que os valores de k_s indicando que os revestimentos PVD são mais resistentes ao desgaste abrasivo que o substrato de aço ferramenta.

O valor de k_c foi maior para a amostra microjateada e com revestimento multicamada (MJ2) que para a amostra MJ5. A mesma tendência foi observada para as amostras com acabamento polido (P) e microjateado seguido de polimento (MJP).

Amostras que passaram apenas pelo polimento apresentaram os menores coeficientes de desgaste do revestimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

6. BIBLIOGRAFIA

- V. Imbeni, C. Martini, E. Lanzoni, G. Poli, I.M. Hutchings, Tribological behaviour of multi-layered PVD nitride coatings, *Wear* 251 (2001) 997–1002.
- Rutherford, K. L., Hutchings, I. M., Theory and Application of a Micro-Scale Abrasive Wear Test, *Journal of Testing and Evaluation*, 25, (1997) 250 - 260.
- M.G. Gee, A. Gant, I.M. Hutchings, R. Bethke, K. Schiffman, K. Van Acker, S. Poulat, Y. Gachon, J. von Stebut, Progress towards standardisation of ball cratering, *Wear* 255 (2003) 1–13.
- Y. Kusano, K. Van Acker, I.M. Hutchings, Methods of data analysis for the micro-scale abrasion test on coated substrates, *Surface and Coatings Technology* 183 (2004) 312–327.