

INFLUÊNCIA DA PARTÍCULA ABRASIVA NA RESISTÊNCIA À ABRASÃO DE REVESTIMENTOS CrAlSiN 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 Jr, W. M., Universidade Federal de Uberlândia, washington@femec.ufu.br

Resumo. Durante a conformação, o deslizamento entre a chapa de metal e a ferramenta causa o desgaste. A manutenção das ferramentas envolve o polimento da zona desgastada ou, em casos mais severos, a substituição da mesma. Revestimentos duros têm sido utilizados para diminuir custos. Ensaios de deslizamento alternado em revestimentos CrAlSiN depositados sobre aço ferramenta evidenciaram mecanismos de desgaste abrasivo, causados por partículas oriundas do desgaste anteriores. Neste trabalho, foi investigada a resistência à abrasão destes revestimentos, onde variou-se a topografia do substrato e a arquitetura do revestimento. Dois tipos de arquitetura foram estudados: multicamada e gradiente de composição química. Foi utilizado testes de microabrasão com partículas abrasivas de SiC e SiO₂. Os resultados mostraram que não houve diferença nas taxas de desgaste entre as duas arquiteturas. O sistema de menor severidade apresentou uma taxa de desgaste uma ordem de grandeza menor.

Palavras chave: PVD, CrAlSiN, revestimento multicamada, revestimento gradiente, microabrasão.

1. INTRODUÇÃO

Em processos de conformação há um severo contato durante o deslizamento entre a chapa de metal e a ferramenta. Durante a produção, pode ocorrer a adesão do metal na superfície da ferramenta, o que pode levar ao desgaste. Fragmentos de desgaste anteriores também podem causar o desgaste abrasivo. Trabalhos anteriores mostraram que a resistência ao desgaste abrasivo pode ser melhorada ao utilizar revestimentos depositados por PVD (*physical vapour deposition*) na superfície da ferramenta (IMBENI et al., 2001; SPAIN et al., 2005).

Revestimentos de nitreto de cromo (CrN) tem sido utilizados em ferramentas de corte devido a sua resistência a corrosão e ao desgaste, baixo atrito e baixo nível de tensões internas (LE et al., 2013). Para obter melhores propriedades, tem sido explorada a introdução de novos elementos no nitreto de cromo (PARK et al, 2007). Revestimentos quaternários de CrAlSiN tem sido utilizados devido as suas propriedades e estabilidade (PARK et al, 2007).

Neste trabalho, foi analisado o efeito de diferentes acabamentos superficiais do substrato e arquitetura do revestimento na resistência à abrasão usando testes de microabrasão. A severidade de abrasão foi variada utilizando dois abrasivos: carbeto de silício (SiC) e a sílica (SiO₂).

2. METODOLOGIA

O substrato foi feito de aço ferramenta, com composição química: 0,85%C, 0,90%Si, 0,40%Mn, 8,00%Cr, 2,00%Mo, 0,50%V; temperado a 1030 °C e revenido três vezes a 530-550 °C, resultado em uma dureza de 7,08 ± 0,24 GPa (61 ± 1 HRC).

O revestimento de CrAlSiN foi aplicado pelo processo de PVD pela empresa Platit do Brasil. Para avaliar o efeito do ancoramento do revestimento, a topografia do substrato foi controlada utilizando três processos diferentes de acabamento: polido Ra = 0,120±0,032 ± 0,025 µm, jateado e polido Ra = 0,262 ±0,025 µm e jateado Ra = 0,541 ± 0,017 µm. Dois tipos de arquitetura foram utilizados: multicamada e gradiente de composição química. Os dois lotes apresentam a mesma composição química inicial (interface com o substrato) e final (superfície), como descrito na Tab. 1.

Tabela 1: Características das amostras estudadas.

Amostra	Arquitetura	Espessura [µm]	Comp. química inicial	Comp. química superfície
Lote 2	Multicamada	3,1±0,16	75 % CrN e 25% AlSi	30 % CrN e 70% AlSi

Lote 5	Gradiente	3,9±0,13	75 % CrN e 25% AlSi	30 % CrN e 70% AlSi
--------	-----------	----------	---------------------	---------------------

Foi avaliada a dureza superficial utilizando o indentador Knoop. A carga empregada foi de 50 gf.

A espessura foi avaliada utilizando testes de microabrasão com partículas de diamante. Foram realizados dez testes em cada lote em diferentes posições sobre a amostra (Tab. 1).

2.1. Teste de microabrasão

Figura (1a) mostra, esquematicamente, o teste de microabrasão de esfera livre (RUTHERFOR; HUTCHINGS, 1997). Neste método, a esfera gira sobre a amostra na presença de um fluido abrasivo. A esfera utilizada foi de aço martensítico com diâmetro de 20 mm. Nesta condição a carga aplicada foi de $0,130 \pm 0,05$ N. A carga foi monitorada, continuamente, por uma célula de carga. A rotação do eixo foi mantida constante e a velocidade tangencial entre esfera e amostra foi de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$.

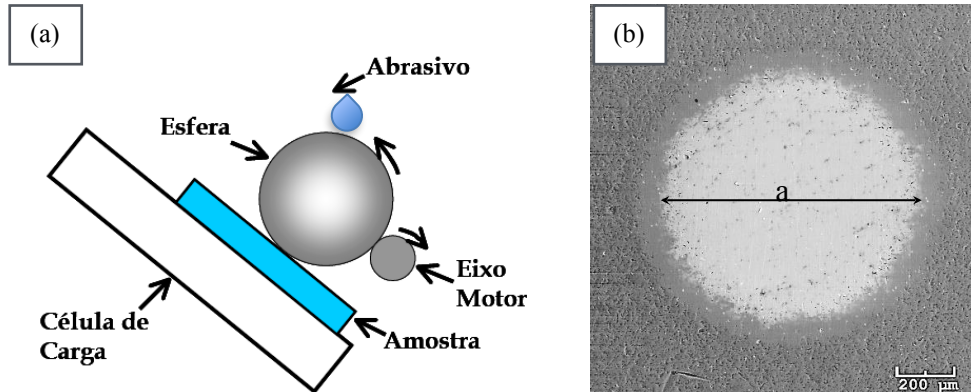


Figura 1: (a) Esquema do teste de microabrasão. (b) Cratera de desgaste produzida na amostra JP2.

As partículas abrasivas foram suspensas em água destilada a uma concentração de 20 % em massa. O abrasivo foi agitado continuamente para prevenir a decantação e bombeado por uma bomba peristáltica até o contato.

Para materiais revestidos, o modelo de Archard pode ser estendido levando em consideração o volume desgastado do substrato, V_s , volume desgastado do revestimento, V_c , a distância deslizada, S , e a carga normal, N , como apresentado na Eq. (1). Os coeficientes de desgaste k_c e k_s representam as taxas de desgaste do revestimento e do substrato, respectivamente (KUSANO; VAN ACKER; HUTCHINGS, 2004).

$$SN = \frac{V_c}{k_c} \frac{V_s}{k_s} \quad (1)$$

Assumindo que a cratera de desgaste possui a mesma geometria do contra corpo, V_s e V_c pode ser calculados utilizando as Eq. (2) e (3), respectivamente (KUSANO; VAN ACKER; HUTCHINGS, 2004).

$$V_s = \frac{4a^4}{64R} \quad (2)$$

$$V_c = \frac{\pi t}{4}(a^2 + 4Rt) \quad (3)$$

para $(t/R \ll a/R \ll 1)$

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

Neste trabalho, o método de Allsopp (KUSANO; VAN ACKER; HUTCHINGS, 2004) foi adotado para se determinar os coeficientes k_s e k_c . 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 .

$$\frac{SN}{V_c} = \frac{1}{k_c} \frac{V_s}{V_c k_s} \quad (4)$$

Seis testes, consecutivos, foram realizados no mesmo lugar (com verificação do diâmetro interno da calota entre os testes). 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 (2) apresenta os parâmetros utilizados nos testes de microabrasão.

Tabela 2: Parâmetros dos testes de microabrasão.

Diâmetro da esfera	20 mm
Carga normal	0.13 ± 0.05 N
Velocidade tangencial	0.10 m.s^{-1}
Abrasivo	Carbeto de Silício(SiC) (Logitech®) Sílica (SiO ₂) (Sigma-Aldrich®)
Diâmetro médio das partículas	SiC – $6.35 \mu\text{m}$ SiO ₂ – $2.60 \mu\text{m}$
Concentração de abrasivos	20 wt% em água destilada
Tempo de teste	SiC - 10, 20, 30, 45, 60 e 75 min. SiO ₂ - 180, 210, 240, 270, 300, 330 e 360 min.

Os tempos de testes foram determinados a partir do regime permanente de desgaste.

4. Resultados e discussão

A Figura (2) mostra parte da calota de desgaste produzida com partículas abrasivas de SiO₂. Observam-se as camadas as que compõe o revestimento multicamada, Fig. (2a). As setas indicam a direção das partículas.

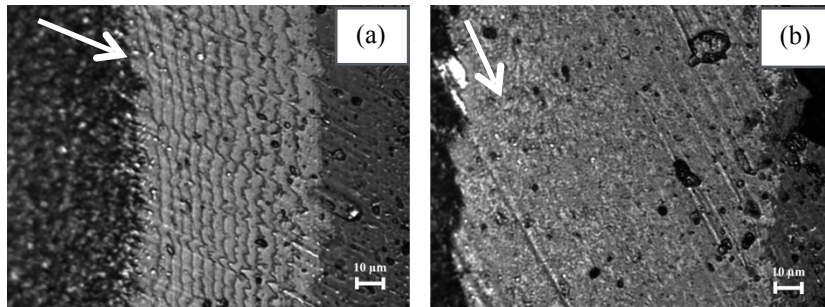


Figura 2: (a) Revestimento multicamada; (b) Revestimento gradiente de composição química.

Os resultados de dureza Knoop e coeficiente de desgaste do revestimento, k_c , são mostrados na Fig. (3).

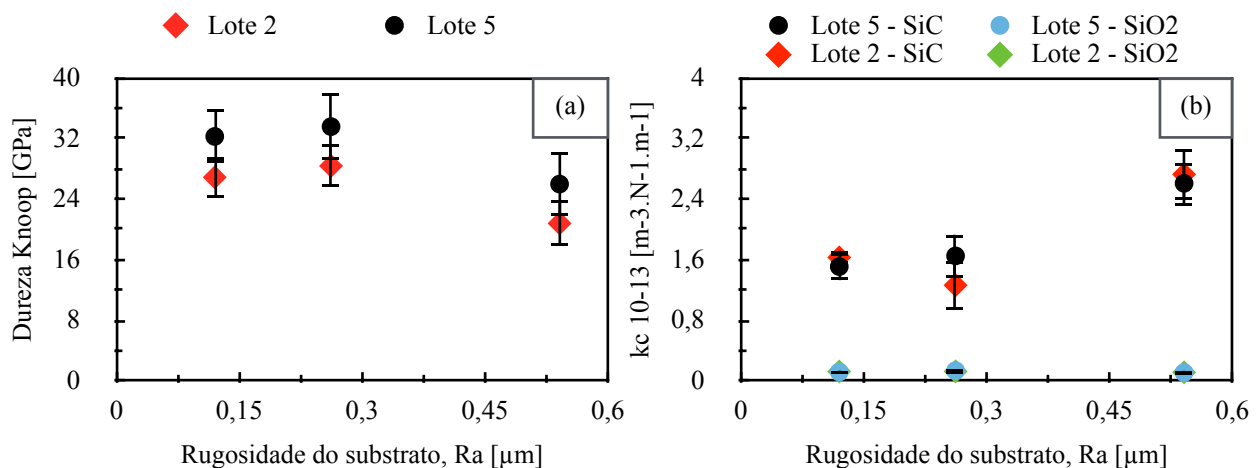


Figura 3: (a) Microdureza Knoop dos revestimentos estudados. Carga 50 gf. (b) Coeficiente de desgaste do revestimento, utilizando como abrasivo: SiC e SiO₂.

A Figura (3a) mostra que os menores valores de dureza foram para as amostras com substrato jateado de cada grupo. Isto pode ser em decorrência do maior número de defeitos que o substrato rugoso pode inserir no revestimento.

Ao comparar os lotes 2 e 5, para todos os substratos estudados, o revestimento gradiente apresentou maior valor de dureza comparado ao revestimento multicamada, Fig. (3a). Chang et al, (2009) encontraram resultados semelhantes ao estudar revestimento TiAlSiN multicamada e gradiente.

Observa-se na Fig. (3b) que ao utilizar o SiC como abrasivo as maiores taxas de desgaste são para as amostras com substrato mais rugoso. Para todos os substratos, os valores de k_c foram similares entre as amostras com revestimento tipo gradiente e multicamada.

Ao utilizar SiO_2 como abrasivo não houve variação nas taxas de desgaste com o aumento da rugosidade do substrato. Esse resultado pode ser em função da degradação das partículas abrasivas de sílica, pois, os revestimentos são três vezes mais duros que os abrasivos.

Também pode ser observado na Fig. (3b) que, como esperado, as taxas de desgaste do revestimento aumentam uma ordem de grandeza ao mudar o abrasivo de SiO_2 para SiC. Este resultado pode estar relacionado a severidade do sistema, Ha/Hs, Tab. (3).

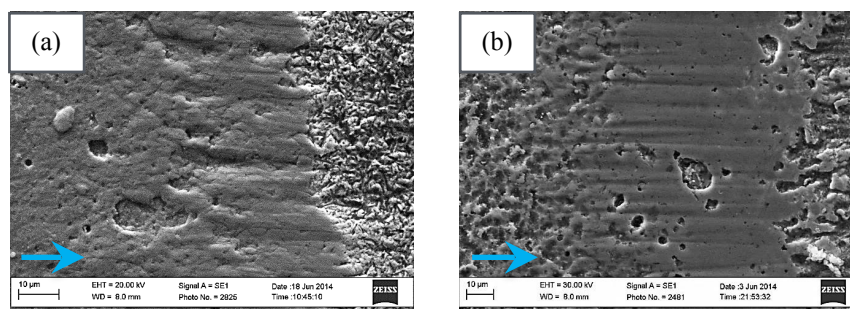
A Tabela (3) mostra os valores de dureza dos abrasivos e a faixa de severidade de abrasão dos sistemas estudados (ZUM GAHR, 1998). Observa-se que em ambos os casos a severidade Ha/Hs foi menor que 1,2, sendo classificada como abrasão suave.

Tabela 3: Dureza dos abrasivos e severidade do sistema.

Abrasivo	Dureza [HV] (HUTCHINGS, 1992)	Ha/Hs
SiC	2100 - 2600	0,75 - 0,94
SiO_2	850 - 1050	0,30 - 0,38

Apenas os resultados de severidade não explica a diferença de uma ordem de grandeza nos resultados de k_c ao mudar de abrasivo. Estes resultados também podem estar sendo influenciados pela granulometria, Tab. (2), e forma das partículas abrasivas de SiC e SiO_2 .

A Figura (4) mostra o mecanismos de desgaste predominante ao utilizar SiC e SiO_2 como abrasivo. Observa-se que em ambos os casos o mecanismo predominante foi o microcorte/microsulcamento em função do deslizamento das partículas abrasivas na interface entre corpo e contra corpo.

Figura 4: Mecanismo de desgaste: (a) SiC e (b) SiO_2 .

3. CONCLUSÕES

- As taxas de desgaste dependem da severidade de abrasão. O carbeto de silício apresentou as maiores taxas de desgaste sendo seguidas pela sílica.
- Nos dois casos o mecanismo de desgaste predominante foi o de microcorte/microsulcamento.
- A partícula de sílica fragmentou durante o processo de abrasão. Este fenômeno pode ter ocorrido devido a baixa dureza da partícula comparada a dureza do revestimento.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES, FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- Imbeni, V. C., Martini, E., Lanzoni, G., Poli, I.M. Hutchings, Tribological behaviour of multi-layered PVD nitride coatings, *Wear* 251 (2001) 997–1002.
- Kusano, Y., 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
- Le, V. V., Nguyen, T.T., Kim, S. K., Pham, K.H., Effect of the Si content on the structure, mechanical and tribological properties of CrN/AlSiN thin films, *Surface & Coatings Technology* 218 (2013) 87-92.
- Park, I. W., D. S. Kang, J. J. Moore, S. C. Kwon, J. J. Rha, K. H. Kim, Microstructures, mechanical properties, and tribological behaviors of Cr-Al-N, Cr-Si-N, and Cr-Al-Si-N coatings by a hybrid coating system, *Surface and Coatings Technology* 201 (2007) 5223-5227.
- 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.
- Spain, E., Avelar-Batista, J.C., Letch M., Housden, J., Lerga, B., Characterisation and applications of Cr–Al–N coatings, *Surface & Coatings Technology* 200 (2005) 1507– 1513.
- Chang, Y., Yang, S.-J., Wu, W., Kuo, Y.-C., Lee, J.-W., Wang, C.-J. Mechanical properties of gradient and multilayered TiAlSiN hard coatings, *Thin Solid Films* 517 (2009) 4934 - 4937.
- Zum Gahr, K. H. Wear by hard particles, *Tribology International* 31 (1998) 587 – 596.