

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DE FILMES DUROS DEPOSITADOS POR PAPVD EM SUBSTRATO DE METAL DURO¹

Cleomar Schmitz²
Carlos José de Mesquita Siqueira³
Ricardo Diego Torres²

Resumo

Neste trabalho está sendo investigado o comportamento do coeficiente de atrito de filmes duros depositados sobre substrato de metal duro. Os filmes TiN, TiCN e TiAlN foram depositados através da técnica de Arco Catódico (PAPVD). O comportamento do coeficiente de atrito, μ , dos revestimentos foi determinado para as cargas de 1, 5 e 10 N. Os ensaios de determinação do coeficiente de atritos foram conduzidos a seco e com umidade relativa entre 40 e 60%. Também foi determinada a influência da rugosidade no coeficiente de atrito. A rugosidade dos insertos foi modificada através da operação de microjateamento. O microjateamento foi realizado antes do processo de deposição do filme. Os insertos microjateados apresentaram uma rugosidade superior a 0.1 Ra, enquanto que os insertos que não sofreram microjateamento apresentaram uma rugosidade inferior a 0.05 Ra. Os resultados encontrados mostram que as amostras microjateadas apresentaram um μ superior a aquelas que não sofreram esta operação. A rugosidade influencia no coeficiente de atrito, as amostras microjateadas com revestimento de TiN apresentaram um μ superior a aquelas que não sofreram esta operação. O coeficiente de atrito do metal duro revestido com TiN diminuiu com o aumento da carga. Os ensaios variando a umidade das amostras de metal duro sem revestimento, mostram que a umidade aumentou o coeficiente de atrito quando comparado com ensaios realizados a seco.

Palavras-chave: Filmes duros; PAPVD; Coeficiente de atrito.

TRIBOLOGICAL BEHAVIOR STUDY OF HARD COATINGS DEPOSITED IN HARD METAL SUBSTRATE BY PAPVD

Abstract

In this work is being investigated the behavior of the friction coefficient in hard coatings deposited on hard metal substrate. The TiN, TiCN and TiAlN coatings were deposited in hard metal through the technique of Cathodic Arc (PAPVD). The friction coefficient of the hard coatings was determined in a tribometer by the ball on flat technique. The friction coefficient of the hard coatings was determined for 1, 5 and 10 N loads. At a given load the friction coefficient was determined with the humidity changing from dry to a humidity of 50% condition. The surface of the hard metal substrate was changed by the microblasting operation. Microblasting increases the surface roughness. The friction coefficient of the coated hard metal with TiN lowered with the increase of the load. The humidity around 50% increases the friction coefficient. The samples that were submitted to microblasting the friction coefficient was higher mainly due to roughness of the samples

Key words: Hard coatings; PAPVD; Friction; Coefficient.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM/PUCPR

³ Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – UFPR

1 INTRODUÇÃO

Os filmes finos são largamente utilizados em diversas aplicações tecnológicas tais como discos rígidos, DVDs, CDs, semicondutores, vidros estruturais, automóveis, ferramentas e matrizes.^[1] A deposição de filmes finos em substratos é realizada através das técnicas de PVD (Physical Vapor Deposition) ou, ainda, CVD (Chemical Vapor Deposition).

Em todas as tecnologias de deposição via PVD os átomos do material a ser depositado são evaporados e ionizados e posteriormente acelerados em direção ao substrato submetido a um potencial negativo. Para a formação dos filmes duros geralmente são introduzidos gases reativos (N_2 , C_2H_2 , O_2 , etc.) na camada de revestimento. Os processos PVD transcorrem em uma atmosfera à base de íons metálicos e de gases reativos ionizados, formando o plasma conforme mostrado na Figura 1. As temperaturas de deposição dos filmes nos processos PVD variam entre 400 e $600^\circ C$.^[2]

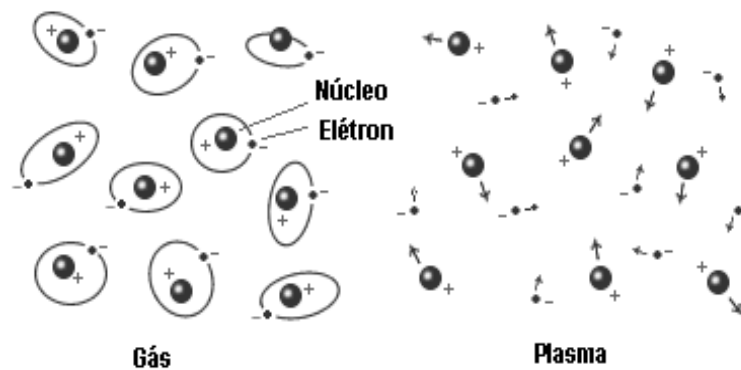


Figura 1. Matéria no estado gasoso e no estado de plasma. Note que antes havia um gás de átomos neutros e em seguida um gás de íons e elétrons livres.^[2]

A deposição de filmes finos em ferramentas e dispositivos tem os mais diversos objetivos como produzir dispositivos com elevada força coercitiva para aplicações em discos rígidos, bem como aumentar a resistência ao desgaste de ferramentas e matrizes, com a diminuição do coeficiente de atrito.^[3,4] No âmbito da indústria metal mecânica os filmes finos são largamente aplicados em ferramentas de corte para usinagem de metais fabricados em aço rápido ou metal duro.

As técnicas de deposição de revestimentos aplicados em componentes e ferramentas de corte são Ion Plating e Cathodic Arc Evaporation. Estes métodos de deposição permitem recobrir tanto ferramentas de aço rápido como também insertos de metal duro. Em ferramentas de corte é aplicada a umas variedades de filmes a base de nitretos e carbonitretos de alumínio e titânio em monocamadas e multicamadas, dependendo da aplicação a qual se destina a ferramenta, sendo que a espessura das camadas depositadas varia entre 1 a $5 \mu m$.^[5]

Os revestimentos quando aplicados nos substratos de aço ou metal duro aumentam a resistência ao desgaste abrasivo e adesivo. Os revestimentos também isolam o substrato, evitando o contato deste com o metal que está sendo cortado, prevenindo a interação química entre a ferramenta e a peça. Os revestimentos a base de nitretos e carbonitretos de titânio apresentam durezas acima de 25 GPa, estes revestimentos também apresentam baixo coeficiente de atrito.

O coeficiente de atrito desempenha um papel fundamental no aumento da vida útil das ferramentas de corte. Um coeficiente de atrito baixo proporciona um escoamento fácil do cavaco através da superfície da ferramenta, aumentando desta forma a taxa de extração de calor através do cavaco. O coeficiente de atrito é uma propriedade do par que está em contato, por exemplo, aço/metal duro. Esta propriedade depende da rugosidade das partes em contato, da força que uma exerce sobre a outra e do ambiente onde as partes estão em contato.^[6]

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As ferramentas de metal duro com as medida mostradas na Figura 2, foram usinadas com rebolo de diamante. Após a usinagem algumas ferramentas sofreram microjateamento para a modificação da rugosidade. As ferramentas usinadas e usinadas com microjateamento foram então recobertas com três filmes em um processo industrial de deposição de PAPVD a base de arco catódico. Os recobrimentos aplicados foram TiN, TiCN e TiAlN. A composição química do blank utilizado para fabricação das ferramentas é mostrada na Tabela 1 abaixo.

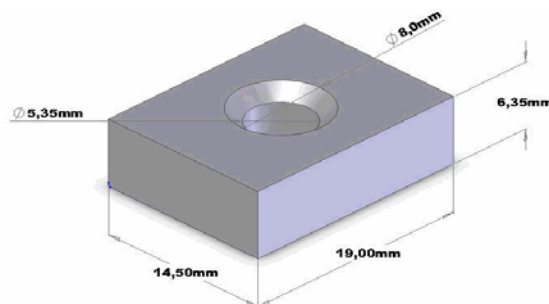


Figura 2. Perfil da ferramenta de metal duro utilizada no projeto.

Tabela 1. Composição química do blank de metal duro (% em peso).

Co (%)	WC (%)	TiC+TaC+NbC (%)
8,5	71,5	20

2.1 Microjateamento

A operação de microjateamento foi realizada em equipamento utilizado para jateamento de componentes. O material utilizado no microjateamento são microesferas de alumina que se choca contra o substrato de metal duro provocando uma modificação da superfície da ferramenta.

2.2 Recobrimento

No processo de deposição a base do arco catódico, o arco é iniciado por uma descarga elétrica no alvo, sendo que neste momento uma pequena quantidade de material evapora criando condições para a sustentação do arco elétrico. Em princípio o arco pode existir sem a presença de gás no plasma. O arco formado move-se rapidamente na superfície do alvo e sem a presença de um campo magnético, o movimento é direcionado. Uma tensão negativa (tensão de polarização) é aplicada no substrato atraindo o material evaporado em direção ao mesmo. Uma tensão de polarização típica em processos de evaporação situa-se em torno de 200 V.

2.3 Caracterização

A rugosidade Ra das ferramentas foi determinada com o auxílio de um rugosímetro da marca Taylor Hobson – FormSurf Series 2, com apalpador mecânico de 1,5 à 2,5 μm de raio.

As medidas de microdureza Vickers foram realizadas em um microdurômetro HMV2 da marca Shimadzu. A carga utilizada nos ensaios de microdureza foi 50 gramas.

O ensaio de coeficiente de atrito em amostras usinadas e recobertas foi realizada em um tribômetro linear da marca CSM com deslizamento recíproco, esfera sobre o plano. A esfera utilizada nos ensaios foi confeccionada em aço 100Cr6 com diâmetro de 6 mm de diâmetro. A velocidade e distância de deslizamento da esfera de aço sobre o substrato de metal duro foi 3,14 cm/s e 2 mm respectivamente. O coeficiente atrito foi determinado em ensaios com umidade relativa entre 40 e 60%, temperatura $22\pm 2^\circ\text{C}$. As cargas foram 1N, 5N e 10N. Parâmetros baseados na norma ASTM G133-95.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A rugosidade Ra das ferramentas variou nas três etapas do processo de fabricação. Na condição de usinado as ferramentas apresentaram uma rugosidade média em torno de 34 nm. Quando as ferramentas foram submetidas ao microjateamento com esferas de alumina a rugosidade aumentou, situando-se na faixa de 95 nm. Verificou-se, ainda, que a rugosidade aumento no processo de deposição dos filmes, situando-se em torno de 112 nm.

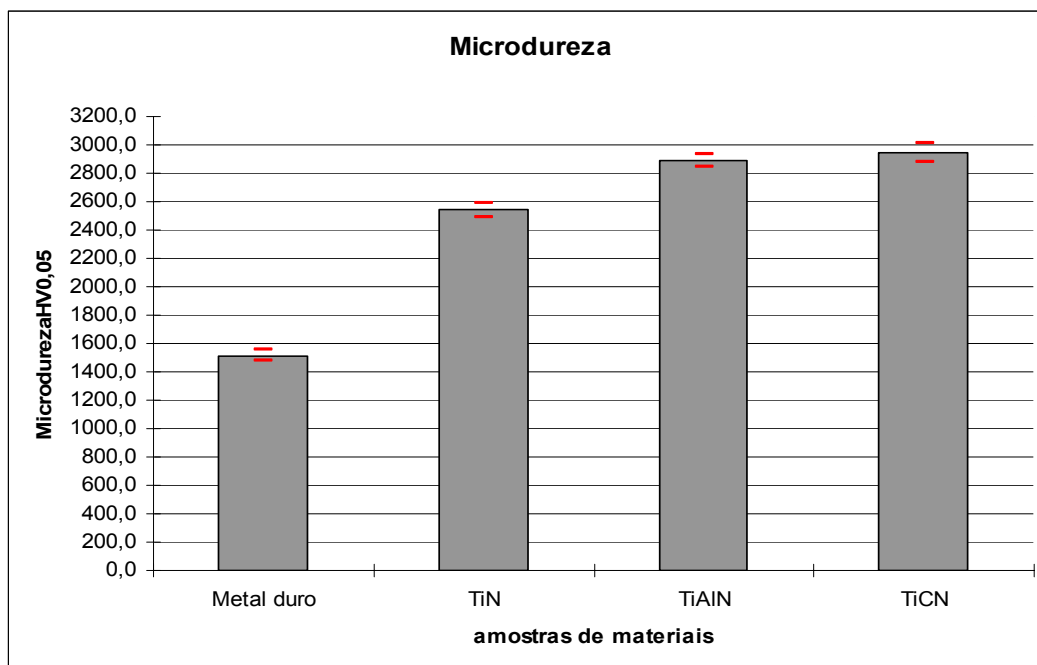


Figura 3. Apresenta as medidas de microdureza Vickers do substrato de metal duro sem revestimento e revestidos com TiN, TiAlN e TiCN..

A microdureza aumentou significativamente com a deposição de revestimentos nos substratos de metal duro. Nos substratos sem revestimento, a microdureza média situou-se em torno de 1500HV. Com aplicação de TiN nos substratos usinado e microjateados, a dureza aumentou para 2550HV. A aplicação de TiAlN, elevou a dureza para 2850HV. O revestimento que apresentou a maior dureza foi o TiCN, em torno de 2900HV.

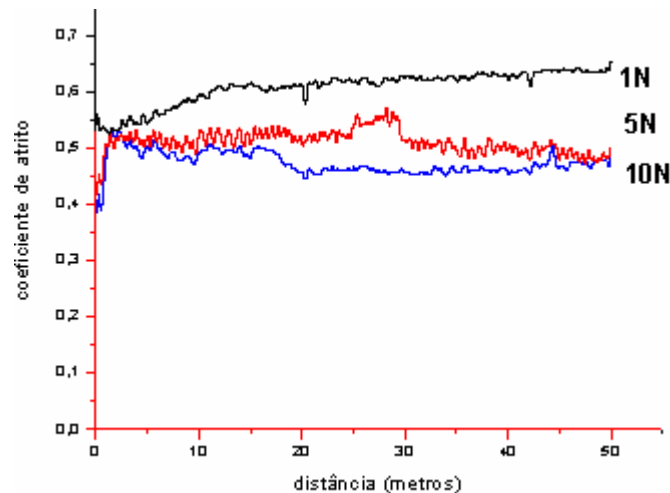


Figura 4. mostra o coeficiente de atrito do substrato de metal duro usinado com revestimento de TiN variando com a carga de 1N, 5N e 10N.

A Figura 4 mostra a variação do coeficiente de atrito com a carga aplicada durante o ensaio realizado no tribômetro. Examinado a Figura 4, nota-se que o coeficiente de atrito é influenciado pela carga aplicada. A carga menor produz um coeficiente de atrito maior, que pode ser justificado pela dificuldade de deformação plástica e elástica das asperezas, maior dificuldade na remoção de resíduos para fora da trilha de desgaste e superfície mais áspera.^[7]

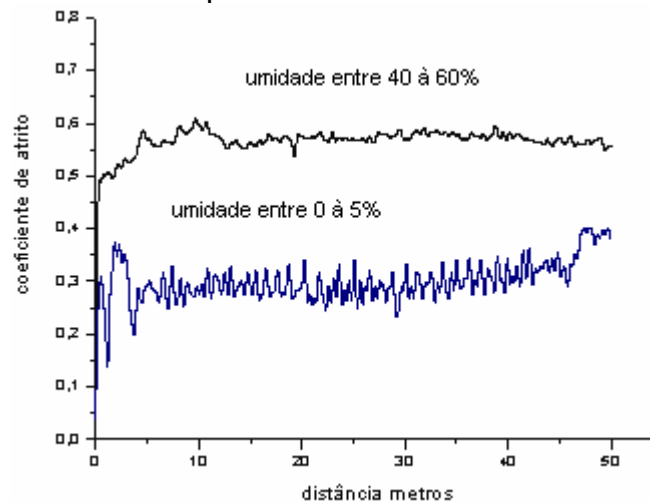


Figura 5. A influência da umidade no coeficiente de atrito no metal duro - carga aplicada de 10 N.

A Figura 5 mostra a variação do coeficiente de atrito obtida com diferentes parâmetros de umidade durante o ensaio no tribômetro para o metal duro sem revestimento. O coeficiente de atrito variou significativamente com a redução da umidade relativa. Com a humidade entre 40 e 60% o coeficiente de atrito situou-se na ordem de 0,6, já com umidade relativa entre 0 e 5% o coeficiente de atrito situou-

se na ordem de 0,35. O aumento do coeficiente de atrito com a humidade pode ser explicado pela interação triboquímica entre a esfera de aço, substrato de metal duro e a umidade relativa. A interação triboquímica acarreta em um aumento da rugosidade e, conseqüentemente, ao aumento da área de contato entre a esfera de aço e o substrato de metal duro.^[8]

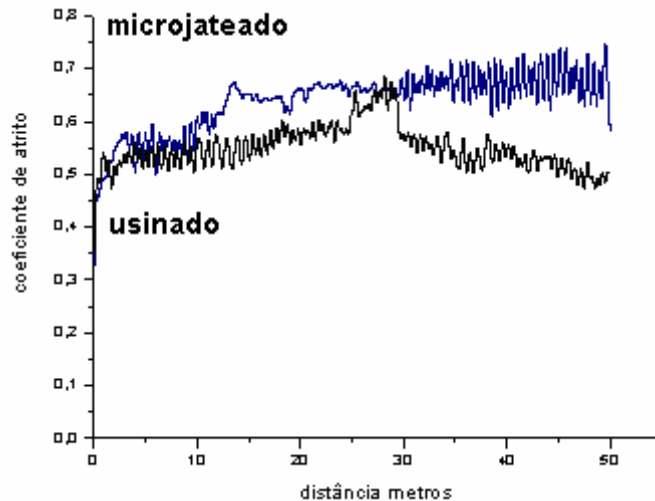


Figura 6. Influência da operação de microjateamento no coeficiente de atrito nas amostras revestidas com TiN – carga aplicada de 5 N e umidade entre 40 e 60%.

A Figura 6 mostra o efeito da operação de microjateamento no coeficiente de atrito quando comparado com a amostra sem microjateamento (amostra usinada). A operação de microjateamento aumenta o coeficiente de atrito em relação ao coeficiente de atrito da amostra usinada. O aumento do coeficiente de atrito é justificado pelo aumento da rugosidade que a operação de microjateamento produz na superfície do substrato de metal duro. A operação de microjateamento produz um aumento da rugosidade Ra de 40 nm para 112 nm.

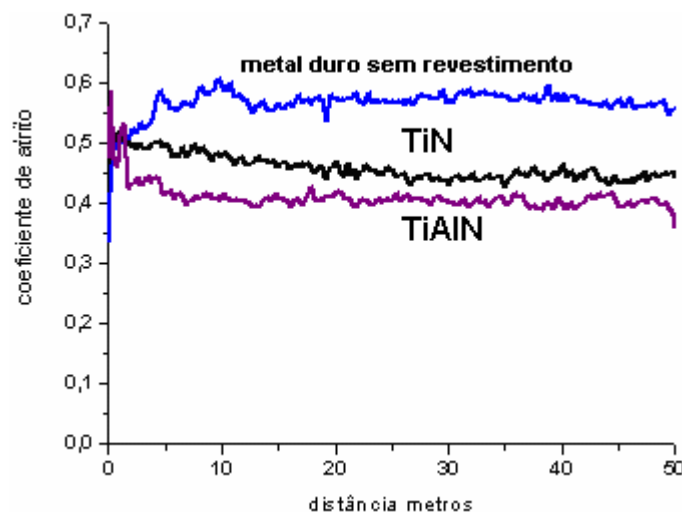


Figura 7. Variação do coeficiente de atrito dos revestimentos TiN e TiAlN - carga aplicada de 10 N e umidade entre 40 e 60%.

A Figura 7 mostra o comportamento do coeficiente de atrito das amostras de metal duro sem revestimento e revestidas com TiN e TiAlN. Os revestimentos TiN e TiAlN diminuem o coeficiente de atrito. O aumento da dureza proporciona o aumento da resistência ao desgaste de deslizamento (sliding wear), evitando a formação de

debris. A dureza do metal duro sem revestimento é da ordem de 1500 HV. A deposição de TIN eleva a dureza para 2550 HV, enquanto a adição de TiAlN produz um aumento ainda maior, em torno de 2900 HV. Cabe mencionar que a deposição do revestimento eleva a rugosidade do substrato, no entanto, o aumento da dureza desempenha um papel fundamental na diminuição do coeficiente de atrito.

4 CONCLUSÃO

O microjateamento aumenta a rugosidade da superfície, ocasionando um aumento no coeficiente de atrito. A umidade nos substratos de metal duro, devido à reação triboquímica, aumenta a rugosidade, tendo influência direta no aumento do coeficiente de atrito. O aumento da carga diminui o coeficiente de atrito. A deposição de revestimentos nos substratos de metal duro produz um aumento na dureza e uma diminuição no coeficiente de atrito.

REFERÊNCIAS

- 1 Heidsieck, H.- “ Status of Vacuum and Plasma Technology”, Surface & Coatings Technology 112 (1999) 324-338.
- 2 PVD EDUCATIONAL GUIDE “EDUCATIONAL GUIDE to Vacuum Deposition Technology” [http:// www.SVC.ORG/Ed_PVD.html](http://www.SVC.ORG/Ed_PVD.html) (22mai; 1997).
- 3 Grzesik, W. –“Na Integrad Approach to Evaluating the Tribo-Contact for Coated Cutting Inserts”, Wear 240 (2000) 9-18.
- 4 Salas, O. Kearns, K. Carrera, S. Moore, J.J.-“ Tribological Behavior of coatings for Al Die Casting Dies”, Surface & Coatings Technology 172 (2003) 117-127.
- 5 Yurara, D. A.-“Aplicação de Revestimentos PVD em ferramentas de corte” – Relatório Técnico da Brasimet – Agosto de 2000
- 6 Ludema, K. C. Friction, In: CRC Handbook of Lubrication, Vol. II Theory & Design, CRC Press, p. 31-48, 1988.
- 7 Lackner, J.M., Waldhauser, W., Ebner, R. Large-area high-rate laser deposition of smooth TiCN coatings at room temperature – mechanical and tribological properties, Surface & Coatings Technology 188-189 (2004) 519-524.
- 8 Pourboix, M. Atlas of Electrochemical Equilibria In Aqueous Solutions, NACE International, Houston, Texas, USA, 1974.