

# ANÁLISE DO DESEMPENHO DE FERRAMENTAS DE METAL DURO REVESTIDAS COM TiN (PAPVD) NO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 8620

## **Renato Françaço de Ávila**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [rfavila1@yahoo.com.br](mailto:rfavila1@yahoo.com.br)

## **Alexandre Mendes Abrão**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [abrao@ufmg.br](mailto:abrao@ufmg.br)

## **G. Cristina Durães de Godoy**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Metalúrgica – Rua Espírito Santo, 35 CEP 30160.030 laboratório 313 [godoy@demet.ufmg.br](mailto:godoy@demet.ufmg.br)

**Resumo.** Neste trabalho é analisado o desempenho de ferramentas de metal duro (classe K10) revestidas com o monocamada TiN (PAPVD), na espessura de  $3,0\mu\text{m}$ , no torneamento do aço ABNT 8620. Para este propósito foi monitorado o volume do desgaste de cratera através do mapeamento topográfico por perfilometria. Esta metodologia recentemente desenvolvida, é considerada a forma mais realística para a análise do desgaste de cratera se comparada aos parâmetros bidimensionais de desgastes citados na norma ISO 3685/93. Os desgastes foram gerados em condições reais de usinagem. Os tempos de corte para a geração dos desgastes bem como procedimentos de limpeza foram ajustados mediante testes preliminares de usinagem. Os resultados obtidos para o conjugado (ferramenta revestida) foram analisados de forma comparativa com a ferramenta de metal duro sem revestimento, tomada como controle. Através de mapeamento topográfico (perfilometria) foi possível identificar dois diferentes regimes de desgaste para o conjugado estudado, sendo demonstrado então o papel fundamental do revestimento na cinética do desgaste de cratera.

**Palavras-chave:** Volume do desgaste de cratera, Torneamento, Análise topográfica, TiN

## **1. INTRODUÇÃO**

A norma ISO 3685/93<sup>(1)</sup> elaborada em 1977 e revisada em 1993 apresenta critérios para o monitoramento de desgastes de ferramentas através de parâmetros bi-dimensionais, medidos no flanco e na superfície de saída da ferramenta. A utilização de novas tecnologias para a descrição da topografia da superfície em 3D através de parâmetros topográficos e estatísticos são apresentados por Stout<sup>(2)</sup> desta forma, novas possibilidades de monitoramento devem ser consideradas no meio científico, particularmente em estudos de Tribologia. A perfilometria corresponde a uma ferramenta poderosa na análise de processos que envolvem modificação da superfície ao longo do tempo de uso. A consistência e robustez no uso desta técnica se apóia em duas novas possibilidades: a primeira diz respeito à precisão da medida (equipamentos de perfilometria com resolução nanométrica tem sido desenvolvidos) e a segunda possibilidade se refere às medições em 3D.

O desenvolvimento das técnicas de revestimento, particularmente PVD (Deposição Física de Vapor) e CVD (Deposição Química de Vapor), para aplicações iniciais em ferramentas de corte de aço rápido e metal duro, teve o seu ápice com o revestimento de TiN, no início dos anos 80 e vem sendo investigados por vários pesquisadores, dentre os quais: Holmberg e Matthews<sup>(3)</sup>, Sttapan et al<sup>(4)</sup>. O superior desempenho deste revestimento para tal aplicação associado a técnicas de deposição mais sofisticadas e controlado por plasma favoreceu o desenvolvimento de vários outros revestimentos, como por exemplo, os revestimentos ternários e os depositados em multicamadas, estudados por Imbeni et al<sup>(5)</sup>. Vários estudos de desempenho de tais revestimentos de forma direta e/ou indireta visam atender as necessidades amplamente requeridas em processos de fabricação por usinagem, dentre estas, por exemplo, podem ser citados: a possibilidade de se utilizar mínimas quantidades de fluidos de corte pela utilização de um revestimento que tenha propriedades autolubrificantes, ou seja: baixo coeficiente de atrito justificados por Jindal et al<sup>(6)</sup>; Bouzakis et al<sup>(7)</sup> e Paldey et al<sup>(8)</sup>, a usinagem de materiais endurecidos com ferramentas de baixo custo e versáteis como o metal duro investigados por Silva et al<sup>(9)</sup> e ainda a possibilidade de que ferramentas revestidas possam atender com maior grau de confiabilidade os processos de usinagem de alta velocidade estudados por Tomita<sup>(10)</sup> dentre outros. Desta forma não se pode considerar esgotadas as investigações relacionadas ao desempenho de revestimentos haja vista que através das mesmas sejam criadas bases de dados para tomada de importantes decisões na manufatura.

Neste cenário, muitas técnicas de caracterização vêm sendo desenvolvidas no sentido de se tornar mais realista e precisa as investigações. Neste trabalho, particularmente é apresentada o desempenho de ferramentas revestidas com TiN(PAPVD - *Plasma-assisted physical vapour deposition*) pelo monitoramento do volume do desgaste de cratera com o tempo de corte, realizado via mapeamento topográfico. Esta metodologia foi desenvolvida recentemente por Ávila<sup>(11)</sup> e mostrou-se muito promissora para o estudo de desgastes em ferramentas revestidas.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A ferramenta de corte utilizada como substrato foi o metal duro (classe K10) conforme a especificação ISO SNMA120408-H1P. Utilizou-se uma geometria com o maior número de arestas de corte e superfícies de saída lisas (sem quebra-cavacos). O suporte é especificado pela ISO PSDNN2525-M12. Os principais ângulos do conjunto (ferramenta/suporte) são ângulo de posição  $\chi_r = 45^\circ$ , ângulo de saída  $\gamma_o = -6^\circ$  e ângulo de inclinação  $\lambda_o = -5^\circ$ . O aço ABNT 8620 foi escolhido como material peça a ser usinado. Os corpos de prova foram produzidos na dimensão ( $\Phi 76 \times 300\text{mm}$ ) executando-se as operações de desbaste, faceamento e furos de centro.

O revestimento de TiN foi produzidos na TECVAC (Inglaterra) que utilizou a técnica de deposição do revestimento PAPVD com feixe de elétrons como fonte de aquecimento e com evaporação do Ti em um plasma de Ar + N<sub>2</sub>. Uma camada de Ti (100 a 300nm) sobre o substrato foi depositada inicialmente visando à melhoria da adesão do revestimento.

Os testes de usinagem foram realizados em um torno ROMI modelo Centur 30S equipado com uma unidade CNC com potência e rotação máxima de 6,5kW e 3500rpm, respectivamente. O fluido de corte utilizado foi o sintético SYNTILO 910. Os principais parâmetros de corte utilizados foram: 300m/min, 0,25mm/rot e 1,0mm para a velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, respectivamente.

Para a limpeza das ferramentas visando a remoção de Fe do interior da cratera, realizou-se um ataque com HCl (1:1) imersos em 100ml para cada ferramenta por 20 minutos em ultrassom. Os resíduos foram monitorados pela técnica de absorção química realizada no espectômetro de absorção atômica Analyst 300 – Perkin Elmen.

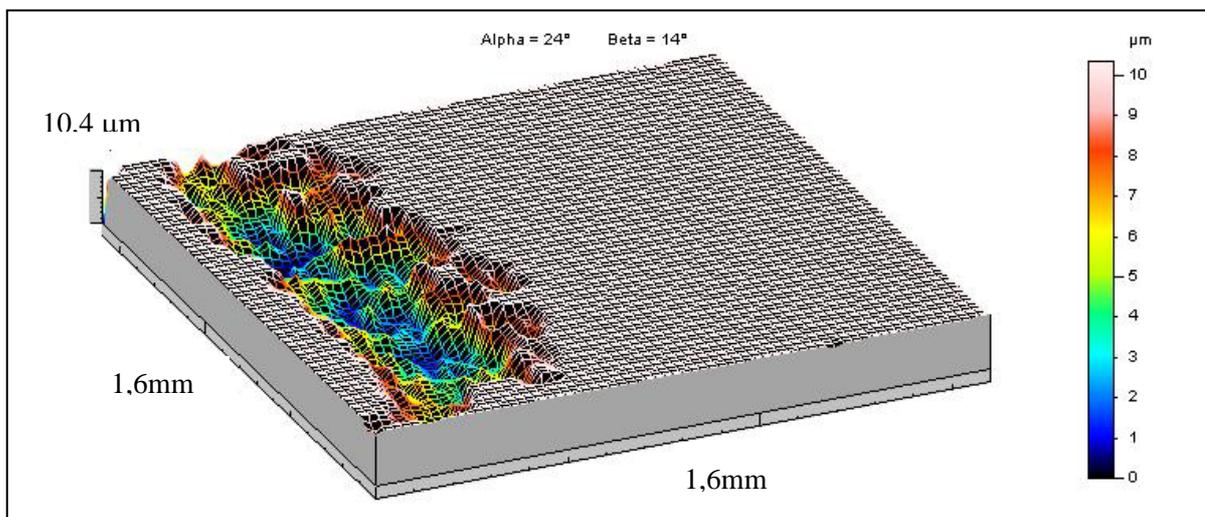
A análise topográfica foi realizada utilizando o perfilômetro Hommelwerke com apalpador do tipo pick-up TKU 300 e o software Hommelmap Expert 3.0. Uma varredura de área igual a (1,6 x 1,6)mm foi realizada com passos (y) de 55,0 $\mu\text{m}$  em uma velocidade de varredura (vt) igual a 0,50mm/s. Foram realizadas 30 medições bidimensionais dentro desta área de varredura. Para a avaliação do volume desgastado relativo à cratera, utilizou-se o procedimento de avaliação de

volume de uma região contornada, relativa a um “plano horizontal de nivelamento da superfície”, determinado pelo método de mínimos quadrado.

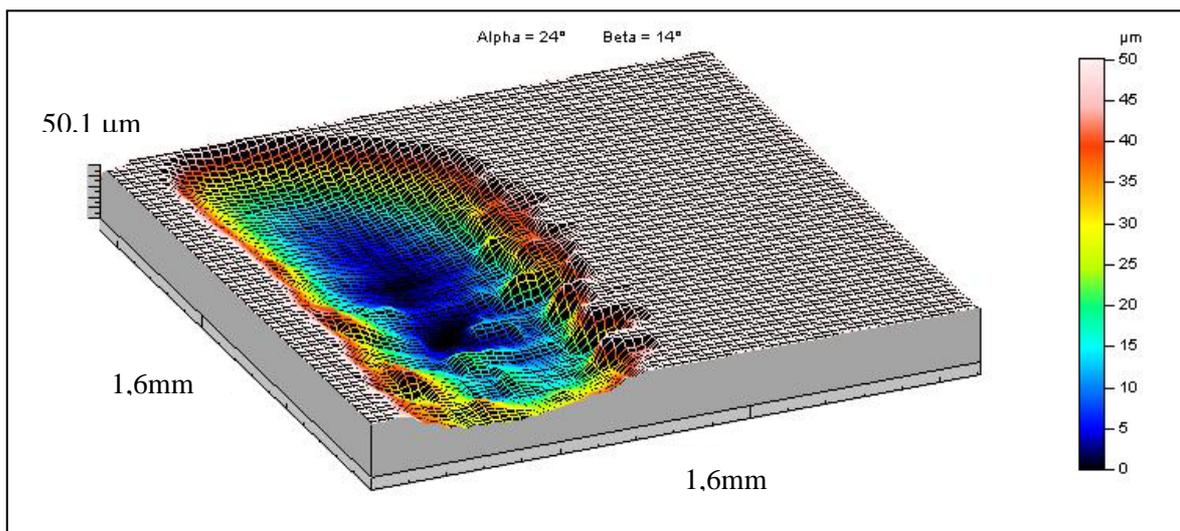
No tempo zero, determinou-se o volume dos vales dentro desta área em referência ao “plano horizontal de nivelamento da superfície”. Para os tempos reais de corte, a variação deste volume inicial em função do aparecimento e aumento da cratera foi denominada “volume do desgaste de cratera”. Os tempos de corte para a geração dos desgastes de cratera foram ajustados em testes preliminares de usinagem em 4, 10, 16, 22 e 28 minutos, tempos intermediários também foram considerados. Uma análise estatística de regressão linear segmentada foi realizada para a descrição do comportamento da evolução do desgaste com o tempo de corte para a ferramenta de corte revestida visto que os pontos experimentais apresentaram dois regimes de comportamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra a topografia da região de desgaste de cratera mapeada da ferramenta sem revestimento e na Figura 2 para a ferramenta revestida com TiN em 10 minutos e 28 minutos.

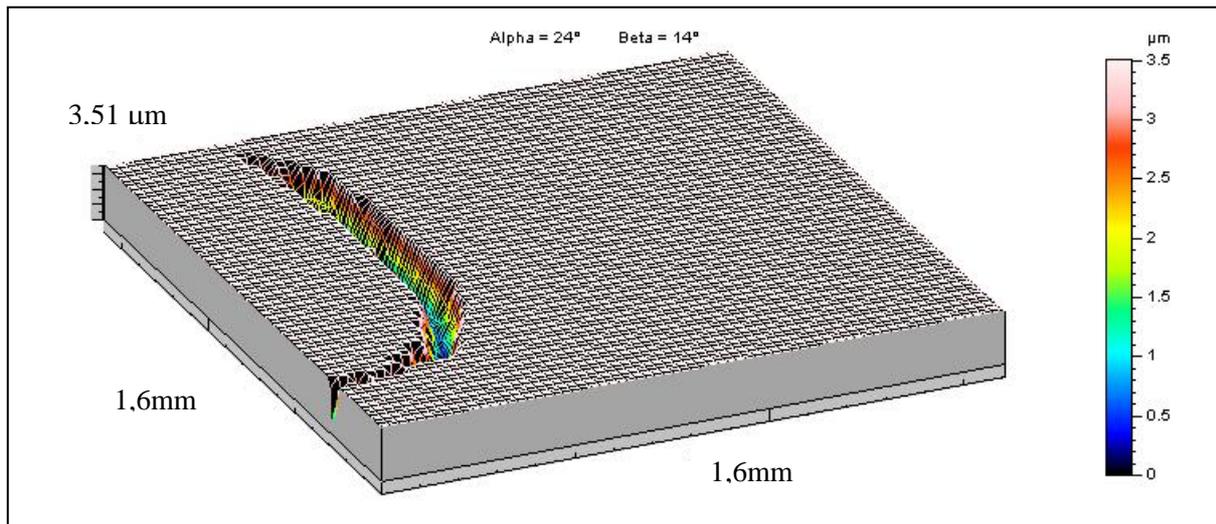


(a)

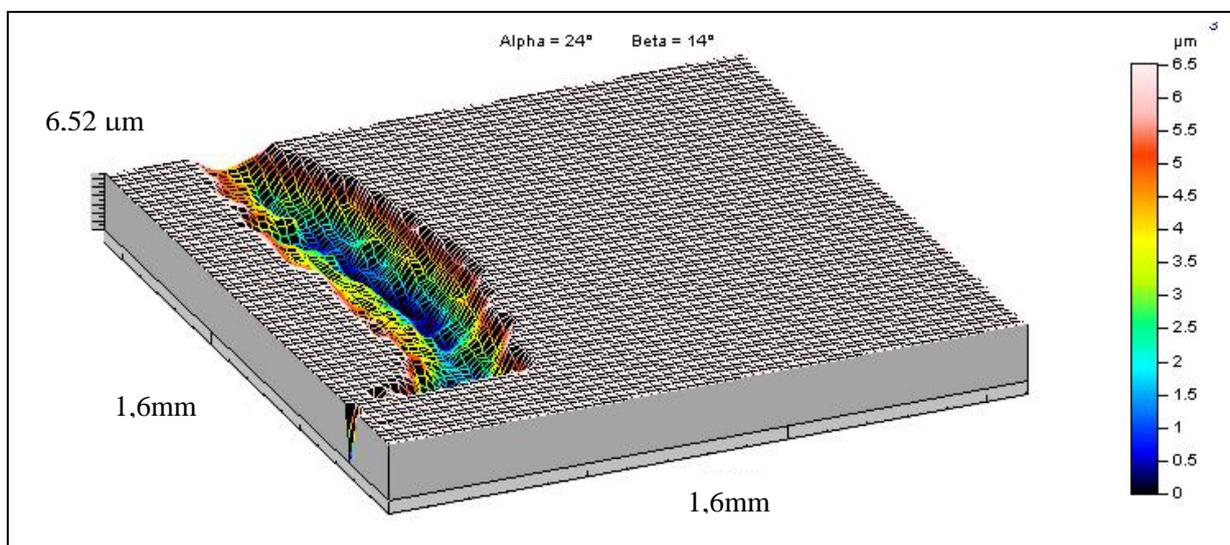


(b)

Figura 1. Desgaste de cratera no espaço tridimensional para a ferramenta sem revestimento: (a) 10 minutos e (b) 28 minutos



(a)



(b)

Figura 2. Desgaste de cratera no espaço tridimensional para a ferramenta revestida com TiN: (a) 10 minutos e (b) 28 minutos

Conforme apresentado nas Figuras 1 e 2 observou-se um desgaste mais acentuado para a ferramenta sem revestimento se comparada com a revestida com TiN, nos dois tempos de corte selecionados. Verificou-se também a preservação lateral do revestimento (largura da cratera). Estes fatos foram observados para todos os tempos de corte monitorados e indicaram a possibilidade de existência de diferentes regimes de desgaste, principalmente associados à ferramenta revestida. Os valores medidos de volume da cratera em função do tempo de corte foram plotados em um gráfico e uma análise de regressão linear desses pontos experimentais foi realizada. A partir dos valores medidos de volume da cratera em função do tempo de corte, para a ferramenta revestida com TiN, observou-se a existência de dois regimes de desgaste. Neste caso, uma análise estatística de regressão segmentada não linear fez-se apresentada por Montgomery <sup>(12)</sup>. O modelo estatístico proposto prevê a presença de um ponto de segmentação correspondente a uma mudança no mecanismo de desgaste, associado a um suposto arrancamento parcial ou total do recobrimento. A partir deste ponto observa-se um aumento da taxa de perda de volume. A Equação (1) descreve o

modelo proposto:

$$V = \beta_1 \times Tc + [\beta_3 \times (Tc - \beta_2)] (Tc > \beta_1) \quad (1)$$

Onde:  $\beta_1$  é a inclinação da primeira reta do modelo estatístico, correspondendo à região com menor taxa de perda de volume, “desgaste da ferramenta com recobrimento”;  $\beta_2$  corresponde a ponto de quebra;  $\beta_3$  se refere a inclinação da reta correspondente à região com maior taxa de perda de volume, “desgaste da ferramenta com delaminação parcial ou total do recobrimento”. O intercepto da primeira reta foi assumido como sendo igual a zero, pois no tempo de corte igual a zero, não se tem nenhum desgaste. O gráfico dos pontos experimentais e do modelo ajustado pode ser visto nas Figuras 3 e 4 apresentados as curvas de ajuste ao modelo de regressão linear para a ferramenta sem revestimento e para a ferramenta revestida com TiN, respectivamente.

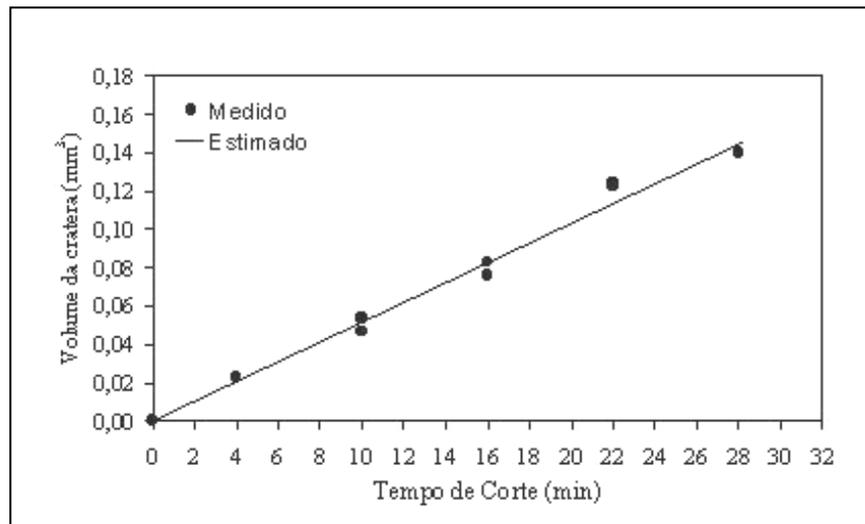


Figura 3. Curva de ajuste ao modelo de regressão linear: ferramenta de corte sem revestimento.

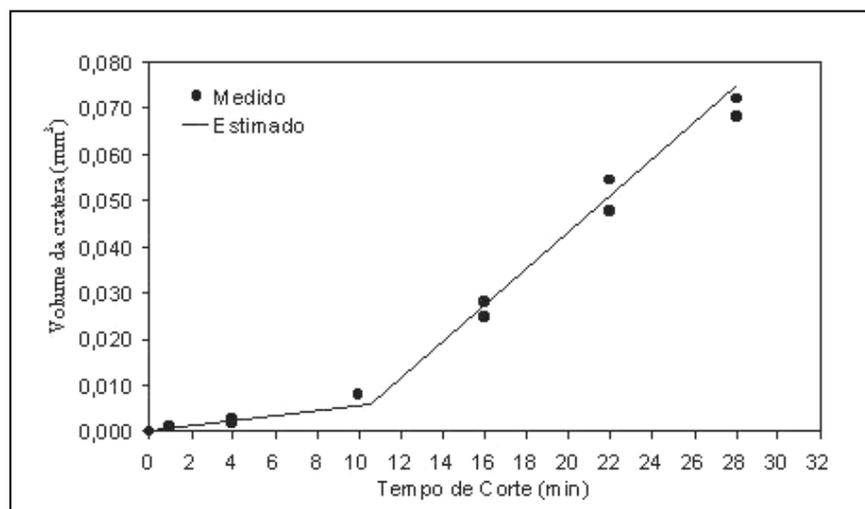


Figura 4. Curva de ajuste ao modelo de regressão linear para a ferramenta revestida com TiN

As taxas de perda de volume ou crateramento foram calculadas para a ferramenta sem revestimento sendo encontrado  $(5,3 \pm 0,5) \times 10^{-3} \text{mm}^3/\text{min}$ . Para a ferramenta revestida com TiN foram considerados os intervalos de 0 a 10 minutos e 16 a 28 minutos para os regimes 1 e 2 sendo encontrado os valores de aproximadamente  $(0,8 \pm 0,2) \times 10^{-3}$  e  $(3,3 \pm 0,9) \times 10^{-3} \text{mm}^3/\text{min}$  respectivamente.

Detectou-se um tempo de corte de aproximadamente 10 minutos como o limite entre ambos os regimes 1 e 2 de desgaste ocorridos na ferramenta revestida com TiN. O modelo de regressão linear se ajustou bem aos valores de taxas de desgaste, aqui considerado como a perda de material (em volume) ao longo do tempo de corte, para a ferramenta de corte sem revestimento. Visto que as maiores taxas de desgaste de cratera sejam atribuídas às ferramentas de menor resistência a este tipo de desgaste observa-se que a ferramenta revestida com TiN pode minimizar a cinética de desgaste em aproximadamente 7 e 2 vezes se comparado à ferramenta sem revestimento nos regimes de desgaste 1 e 2 respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

O desempenho das ferramentas, avaliado pela taxa de desgaste determinada pelo volume da cratera, foi melhor para a ferramenta revestida com TiN seguido da ferramenta sem revestimento.

Análises estatísticas de Regressão Linear Segmentada indicaram a presença de dois regimes de desgaste para a ferramenta revestida. O primeiro regime com taxa de desgaste menor foi associado a presença significativa do revestimento e o segundo regime ao conjugado (revestimento/substrato) (Figura 2).

Ambos os regimes de desgaste obtido para a ferramenta revestida são inferiores se comparado à ferramenta sem revestimento, estes resultados indicam que a presença de revestimento minimiza a evolução deste tipo de desgaste e ainda que ocorra a perda do revestimento de forma mais acentuada, no regime 2, não ocorre um comprometimento a resposta da ferramenta, devido a proteção oferecida pelo revestimento nas bordas da cratera (Figuras 1 e 2).

O desenvolvimento de novas técnicas e procedimentos específicos de monitoramento revelam a necessidade de serem redefinidos os critérios de vida da ferramenta, em função dos parâmetros geométricos de desgaste (bidimensionais), anunciados na norma ISO 3685/93. Haja vista que através destas técnicas, condições mais realísticas de evolução de desgaste sejam possíveis de serem avaliadas representando um maior grau de confiabilidade no desempenho de ferramentas revestidas em sistemas de manufatura flexíveis e integrados.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Dra. Marília Mendonça Lima e Dra. Júnia C. Avelar Batista e aos órgãos de fomento: CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, a FAPEMIG – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

#### 6. REFERÊNCIAS

1. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARD **ISO 3685** Tool life testing with single point turning tools, 1993, 47p.
2. STOUT, K. J., **Three Dimensional Surface Topography**, Second Edition, Penton Press, 2002, 358p.
3. HOLMBERG, K. and MATTHEWS, A., **Coatings Tribology: Properties, Technique and applications in surface Engineering**, 28 ed. D. Dowson – Elsevier, Tribology series, 1994, 442p.
4. STAPPEN V. M.; STALS, L. M.; KERKHOFS, M. and QUAEYHAEGENS, C., State of the art for the industrial use of ceramic PVD coatings, **Surface and coatings Technology** v. 74 –75, p.629 – 633, 1995.
5. IMBENI, V.; MARTINI, C.; LANZONI, E.; POLI, G., HUTCHINGS, I. M., Tribological behaviour of multi-layered PVD nitride coatings, **Wear**, v. 251, p. 997 – 1002, 2001.
6. JINDAL, P. C.; SANTHANAM, A. T.; SCHLEINKOFER, U. and SHUSTER, A. F., Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning, **International Journal**

- of **Refractory Metals & Hard Materials**, v.17, p.163 – 170, 1999.
7. BOUZAKIS, K. D.; MICHAELIDIS, N.; VIDAKIS, N. and EFSTATHIOU, K., Failure mechanisms of physically vapour deposited coated hardmetal cutting inserts in turning, **Wear**, v. 248, pp. 29 – 47, 2001.
  8. PALDEY, S. and DEEVI, S. C., Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti, Al)N: a review, **Materials Science and Engineering A00**, p. 01 – 22, 2002.
  9. SILVA, L. R.; AVILA, R. F. e ABRAO, A. M., Torneamento e Retificação do aço ABNT 4340 temperado , **V Congresso de Engenharia Mecânica Norte Nordeste**, 27 – 30 outubro, 1998, p. 423 – 428.
  10. TOMITA, K., O atual estágio da HSM e dos materiais de ferramentas de corte, **Máquinas e Metais** p. 20 – 39, 1999.
  11. AVILA, R. F. , **Desempenho de ferramentas de metal duro revestidas com Ti-N, Ti-C-N e Ti-Al-N (PAPVD) no torneamento do aço ABNT 4340 temperado e revenido**, 2003, 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.
  12. MONTGOMERY, D. C., **Design and analysis of experiments**, 3<sup>a</sup> edição, New York: John Wiley & Sons, 1991, p. 648.

## **PERFORMANCE OF TiN COATED CEMENTED CARBIDE TOOLS (PAPVD) ON THE TURNING OF AISI 8620 STEEL**

**Renato Françaço de Ávila**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [rfavila1@yahoo.com.br](mailto:rfavila1@yahoo.com.br)

**Alexandre Mendes Abrão**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [abrao@ufmg.br](mailto:abrao@ufmg.br)

**G. Cristina Durães de Godoy**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Metalúrgica – Rua Espírito Santo, 35 CEP  
30160.030 laboratório 313 [godoy@demet.ufmg.br](mailto:godoy@demet.ufmg.br)

**Abstract.** *This work is concerned with the performance of coated cemented carbide tools (grade K10) with a monolayer of TiN (PAPVD), 3 μm thics, when turning AISI 8620 steel. For this purpose topographic analysis was employed to assess the crater wear volume. This recent methodology is considered the most realistic alternative for crater wear study when compared to the bi-dimensional parameters established by ISO 3685/93. The tests were carried out under actual machining conditions. The cutting time for each test was established on preliminary machining tests. A comparative analysis was conducted using coated and uncoated cutting tools. Two different rates of crater wear were observed for coated cutting tools through topographic and statistical analyses.*

**Keywords:** *Crater wear volume, Turning, Topographic analysis, TiN*