

PROCEDIMENTO PARA O MONITORAMENTO DE DESGASTE EM MATERIAIS CONJUGADOS

Renato Françoso de vila⁽¹⁾
G. Cristina Dures de Godoy⁽²⁾
Alexandre Mendes Abrão⁽¹⁾

Resumo

Os procedimentos e parâmetros de desgaste bidimensionais recomendados para o monitoramento do desempenho de ferramentas de corte utilizadas em processos de usinagem são definidos pela norma ISO 3685/93. Dentre os quais podem ser destacados como os mais utilizados: o desgaste de flanco médio (VB_B) e desgaste de flanco máximo (VBB_{max}). Entretanto a adoção de tais parâmetros em estudos especificos do desempenho de conjugados (substrato e revestimentos) torna-se uma tanto prejudicada em função das dificuldades encontradas para manutenção de um posicionamento referencial a ser adotado durante o monitoramento, e ainda o fato de que tais conjugados não apresentam, na maioria das investigações, uma evolução homognea de largura destes desgastes na região de medição. Desta forma, este trabalho objetiva a apresentação de uma forma alternativa para o monitoramento de desgastes ocorridos no flanco destes materiais conjugados aplicados em processos de usinagem, visando minimizar os possíveis erros ocorridos durante a investigação do desempenho de tais ferramentas. A metodologia visa o monitoramento da área do desgaste de flanco na região B. Para tanto foram revestidos substratos de metal duro (WC-Co 6%) com Ti-N e Ti-C-N pelo processo PAPVD (*Plasma-assisted physical vapour deposition*) na espessura de 3 μ m e gerados os desgastes sobre os conjugados em condições reais de usinagem ($v_c = 150$ m/min, $f = 0,25$ mm/rot e $a_p = 1,0$ mm) do aço ABNT 4340 temperado e revenido (27/30HRC). Na metodologia proposta foi utilizados um sistema de aquisição, digitalização e análise das imagens (*Software Q600HR*) para o monitoramento do desgaste ocorrido no flanco em função dos tempos de corte (2, 4, 10, 16 e 22) minutos. Para o tratamento estatístico dos dados foi utilizado o *software* Statistica. Os resultados obtidos através desta metodologia se mostraram mais realísticos em termos da evolução de desgastes ocorridos no flanco de materiais conjugados para esta aplicação específica.

Palavras-chave: Desgaste de ferramentas; Monitoramento; Revestimentos.

INTRODUÇÃO

Os desgastes em ferramentas convencionais têm sido monitorados através de medidas realizadas em 2D (Avila 2003, Bouzakis et al 2001, Jindal et al, 1999, Ezugwu, 1993, Luo et al, 1996). Os dois principais critérios de vida da ferramenta são baseados em dois tipos de desgaste ocorridos nas superfícies de saída e folga da ferramenta, ou seja o desgaste de cratera (KT) e o desgaste de flanco (VB_B e $VB_{m\acute{a}x}$). Particularmente, VB_B e $VB_{m\acute{a}x}$ correspondem à larguras medidas no flanco (lateral) da ferramenta na Zona B de desgaste determinada pela Norma ISO 3685/1993. A Figura 1 apresenta os principais áreas de desgaste e a Figura 2 os parâmetros geométricos e bidimensionais de desgaste considerados nesta norma.

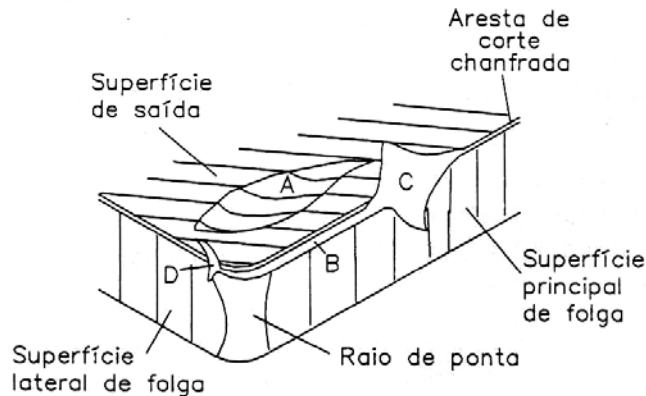


Figura 1. Regiões de desgaste (SO 3685/93).

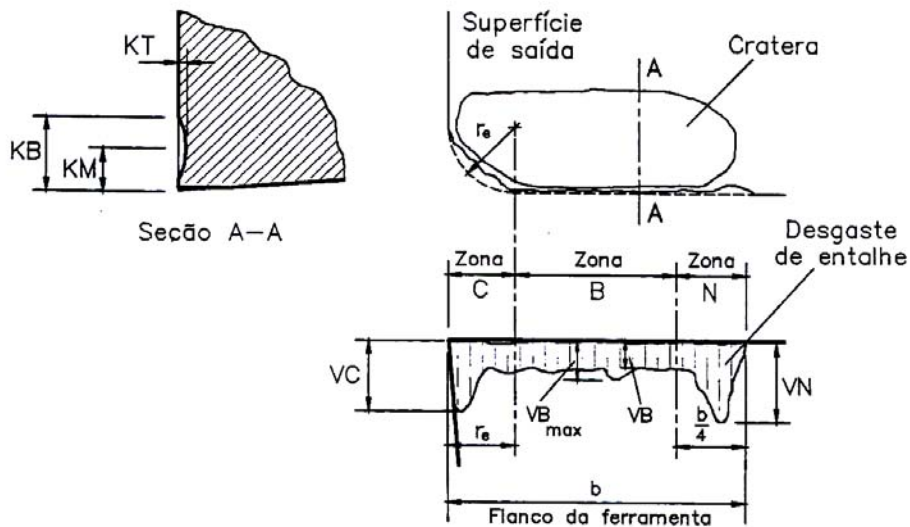


Figura 2. Principais parâmetros geométricos de desgaste (SO 3685/93).

Deve ser salientado que tais parâmetros bidimensionais de desgaste são adotados como critérios de fim de vida de ferramenta. Os valores máximos destes parâmetros não devem ultrapassar 0,3 e 0,6mm para VB_B e $VB_{m\acute{a}x}$, respectivamente, segundo recomendações expressas na norma ISO 3685/93. Deve ser salientado que estes parâmetros são muito utilizados em investigações científicas e denotam a resistência da ferramenta a possibilidades de ocorrências de fratura súbita e/ou catastrófica da ferramenta. Adotar os

valores recomendados na norma para estes parâmetros de desgaste é de fundamental importância para a análise do desempenho de ferramentas em fase de desenvolvimento. Uma das dificuldades encontradas, quando são adotados VB_B e/ou $VB_{m\acute{a}x}$, como critérios de fim de vida da ferramenta ocorre na seleção de um posicionamento referencial a ser considerado durante toda a investigação. O referencial em questão corresponde a aresta de corte que pode ser deteriorada ao longo dos testes, geralmente associados a ocorrência de lascamentos por rebatimentos e/ou aglomerações de cavacos na zona de corte. Esta possibilidade tende a maximizar erros de medição e até interromper investigações comprometendo assim toda seqüência elaborada na fase de planejamento de experimentos. Deve ser salientado que o procedimento de monitoramento de desgastes ocorridos no flanco da ferramenta, durante testes, envolve basicamente procedimentos específicos de limpeza e microscopia ótica.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Materiais e Equipamentos

A ferramenta de corte utilizada como substrato é da classe de metal duro 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 ($\lambda_o = -5^\circ$).

Os revestimentos de Ti-N e Ti-C-N foram produzidos pela TECVAC (Inglaterra) que utilizou a técnica de deposição do revestimento PAPVD com feixe de elétrons como fonte de aquecimento e com evaporação do Ti. Os revestimentos foram produzidos em um plasma de Ar + N₂ e Ar + N₂. + C₂H₂, respectivamente, na espessura de aproximadamente 3,0 μm . Objetivando-se uma melhoria da adesão do revestimento sobre o substrato foi previamente depositada uma camada de Ti (100 a 300nm) na espessura de aproximadamente 3 μm , valor este que minimiza a possibilidade de ocorrência de falha adesiva (Zimmerman, 1998, Batista, 2001).

O aço ABNT 4340 foi escolhido como material peça a ser usinado. A produção dos corpos de prova ($\phi 76 \times 300\text{mm}$) envolveu duas etapas: usinagem (desbaste, faceamento e furos de centro) e tratamento térmico (têmpera e revenimento) produzindo uma dureza média superficial de aproximadamente 30 HR_C. Os testes de usinagem foram realizados em um torno ROMI modelo Centur 30S equipado com uma unidade CNC (Comando Numérico Computadorizado), com potência e rotação máxima de 6,5kW e 3500rpm respectivamente. O fluido de corte utilizado foi o sintético SYNTILO 910.

Metodologia Alternativa de Investigação

É apresentado a seguir uma forma alternativa para o monitoramento de desgastes ocorridos no flanco de ferramentas utilizadas em processos de usinagem, visando minimizar os possíveis erros ocorridos durante a investigação do desempenho de tais ferramentas, principalmente ocorridos em ferramentas revestidas (materiais conjugados). A metodologia consiste no monitoramento da área do desgaste de flanco na zona B. Basicamente a metodologia em questão compreende duas etapas, ou seja: na primeira a geração de desgastes em condições reais de usinagem e procedimentos específicos de limpeza e na segunda, procedimentos específicos, conforme detalhadas a seguir:

✓ Geração dos desgastes em condições reais de processo

Os parâmetros de corte foram selecionados através de revisão bibliográfica (Paldey, 2002, Sandvick, 2000, Jindal et al, 1999) e ainda testes preliminares de usinagem. Os parâmetros de corte utilizados foram: velocidade de corte de 150m/min, avanço de

0,25mm/rot e profundidade de corte de 1,0mm. Nesta etapa também foram escolhidos o fluido de corte e direção de aplicação e ainda os tempos ideais de corte para a geração dos desgastes (cratera e flanco) por aresta de corte que foram 2, 4, 10, 16, e 22 minutos.

✓ Procedimento de limpeza

Após a execução de todos os testes e réplicas detalhados passou-se à etapa de limpeza das ferramentas objetivando-se a remoção de material peça da região de desgaste. Segundo Tonshoff et al (1998) é comum a aderência de Fe, principal elemento do aço usinado, nas regiões de aderência e escorregamento. Desta maneira, uma grande quantidade de Fe aderente no interior da cratera e regiões adjacentes (zonas secundárias de geração de calor) devem ser removidas ao máximo de forma que os valores geométricos monitorados sejam os mais realísticos possíveis. Goh et al (1996) e Brandt (1986) fizeram uma decapagem com HCl em (37 a 50%) seguido de limpeza com acetona no ultrassom para a remoção do Fe anteriormente ao monitoramento da profundidade de cratera (KT) em ferramentas cerâmicas. Basicamente foi realizado um ataque com HCl (1:1) e ultrassom para cada ferramenta. Sendo monitorada pela técnica de absorção química (espectômetro de absorção atômica -Analyst 300 – Perkin Elmen) a remoção dos principais elementos, ou seja, Fé, Co e Ti. Os resultados demonstraram a eficiência do procedimento de limpeza.

Para o monitoramento do desgaste de flanco da ferramenta, para cada tempo de corte, foi utilizado o microscópio ótico Leitz Labor Lux 12POL5 e o software digitalizador e analisador de imagens Q600HR (versão V01.05). O monitoramento da área de desgaste de flanco foi realizado para todas as ferramentas desgastadas inclusive as utilizadas na réplica para cada condição de experimento. Para esta finalidade foi elaborado um procedimento específico constituído das seguintes etapas:

- ✓ Confeção de um suporte para manutenção do posicionamento das arestas, quanto ao flanco da ferramenta em função do tempo de geração de desgaste e tipo de ferramenta,
- ✓ Posicionamento do suporte confeccionado para a digitalização da região de desgaste, sobre a mesa CNC do microscópio ótico, visando a manutenção de um referencial para todos os procedimentos posteriores, apresentados na Figura 4 (a);
- ✓ Utilização de fontes externas de iluminação para ajuste de contrastes e imagens geradas;
- ✓ Determinação da região de desgaste de flanco e definição da área de desgaste ocorrido na zona B (ISO 3685/93). A escolha da dimensão desta área foi estabelecida objetivando-se eliminar a região C equivalente ao raio de ponta da ferramenta ($r_e = 0,8\text{mm}$) conforme pode ser visualizado nas Figura 3, Figura 4 (b);
- ✓ Delineamento da área de desgaste de flanco considerada para o cálculo da área do desgaste de flanco na zona B através do software Q600HR Figuras 4 (c) e Figura 4 (d).

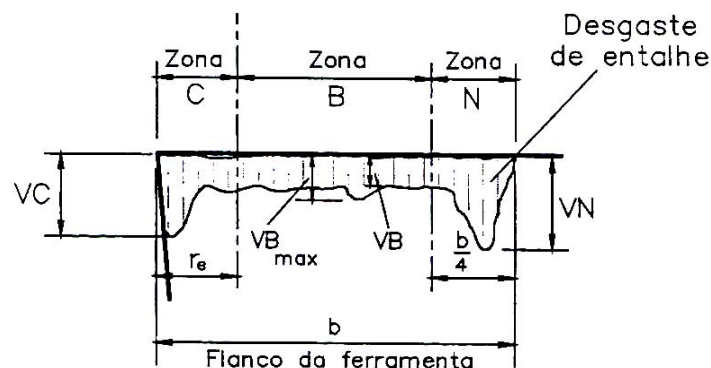


Figura 3. Parâmetros de desgaste bidimensional (ISO 3685/93).

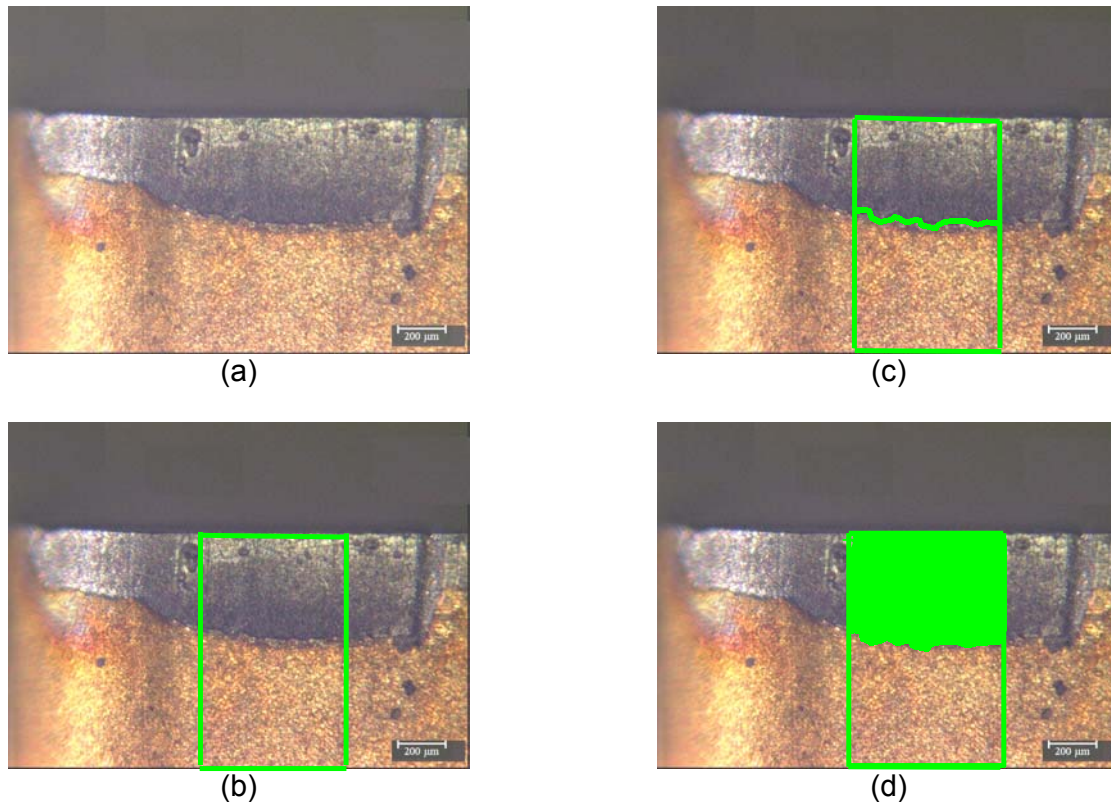


Figura 4. Etapas realizadas no monitoramento da área de desgaste ocorrido no flanco da ferramenta: (a) posicionamento da região de desgaste de flanco, (b) posicionamento da região b, (c) delineamento inferior do desgaste na região b, (d) cálculo da área através do software.

Para a determinação da região B (lateral esquerda) primeiramente foi medida a largura b do desgaste, (conforme ilustrados nas Figuras 1 e 2) e subtraído o raio de ponta da ferramenta, que para esta geometria ISO vale 0,8mm. Optou-se por uma área que tivesse dimensões internas à região B. Desta forma um dos critérios foi adotar um comprimento de 0,6mm. Desta forma o enquadramento para o delineamento da área, via software, a ser monitorada teve as dimensões de 0,6 x 1,0mm, conforme apresentado na Figura 4(b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apartir dos resultados de área de desgaste monitorados, conforme procedimento apresentado anteriormente dois modelos estatísticos foram propostos para a descrição da evolução da área do desgaste de flanco com o tempo de corte, para a ferramenta sem revestimento. O primeiro modelo apresentado na equação 1 descreve um comportamento parabólico e pode ser escrito como:

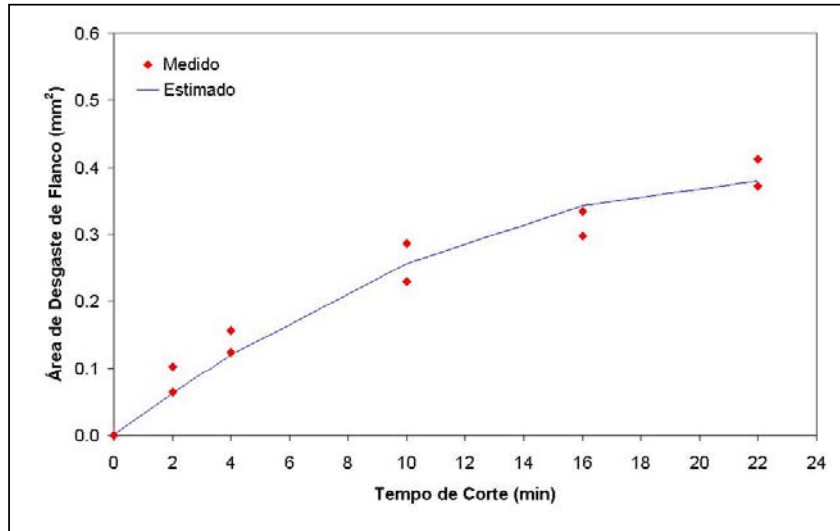
$$\text{Área de Desgaste de flanco} = \beta_1 * t_c + \beta_2 * t_c^2 \quad (1)$$

onde β_1 e β_2 são constantes da equação proposta.

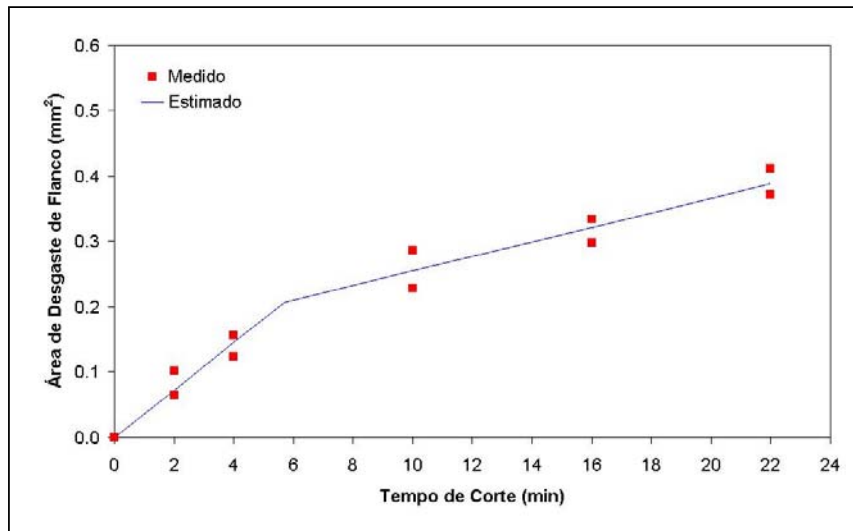
A Figura 5 (a) e 5 (b) indicam os pontos experimentais obtidos e a curva dos modelos propostos. Observa-se um comportamento similar à curva obtida por Goh et al., em 1996, em estudos da evolução de VB_B em função do tempo de corte, em ferramentas cerâmicas durante o torneamento contínuo de um aço AISI 1045, em operação de acabamento (sem utilização de fluidos de corte). Este comportamento indica uma taxa de desgaste alta nos primeiros instantes de corte e uma taxa de desgaste menos acentuada nos tempos final

de corte. No entanto para efeito de comparação entre as diferentes ferramentas em estudo, um segundo modelo estatístico apresentado na equação 2 foi proposto para descrição da curva, utilizando o método de regressão estatística segmentada, supondo a existência de duas etapas de desgaste. A equação proposta é do tipo:

$$\text{Área de Desgaste de flanco} = \beta_1 \cdot t_c + [\beta_3 \cdot (t_c - \beta_2) \cdot (t_c > \beta_2)] \quad (2)$$



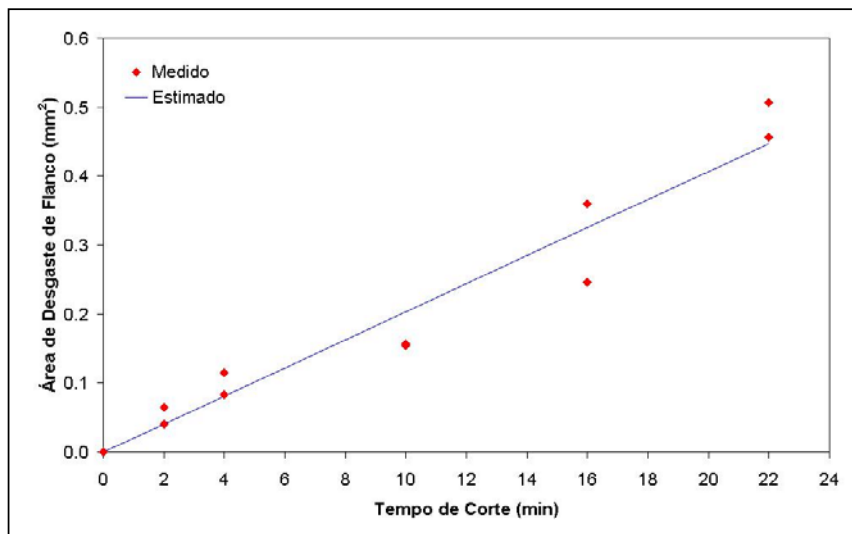
(a)



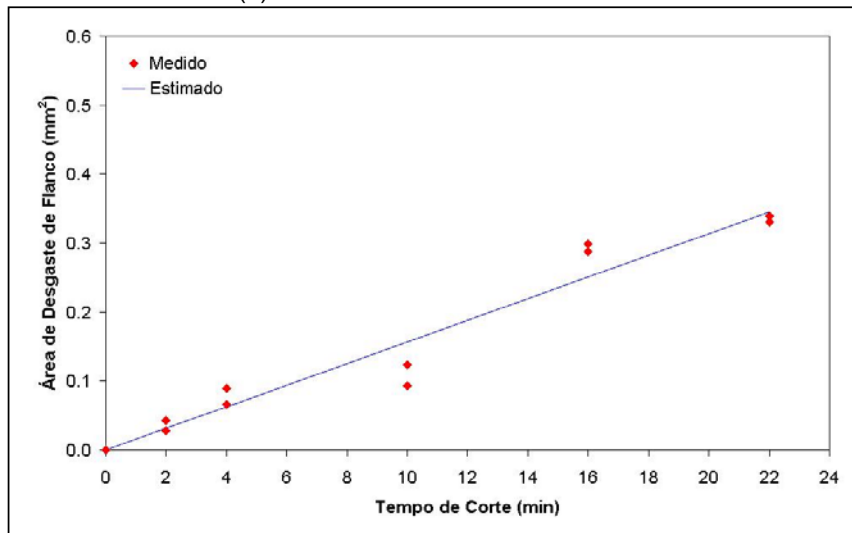
(b)

Figura 5. Gráficos da evolução de área do desgaste de flanco (zona B) com o tempo de corte para a ferramenta WC-Co, sem revestimento: (a) ajuste parabólico (b) modelo contínuo de regressão linear segmentada (Montgomery, 1992).

Para as ferramentas revestidas, o modelo estatístico do tipo linear foi o que apresentou melhor ajuste aos pontos experimentais. A Figura 6 apresenta os gráficos obtidos indicando o bom ajuste encontrado do modelo proposto e os pontos experimentais. Os valores das taxas de desgaste de flanco associados a cada ferramenta estão indicados na Tabela 1.



(a) ferramenta revestida com Ti-N



(b) ferramenta revestida com Ti-C-N

Figura 6. Gráficos da evolução de área do desgaste de flanco (zona B) com o tempo de corte para a ferramenta WC-Co revestidas com (a) Ti-N e (b) Ti-C-N.

Tabela 1. Taxas de desgaste obtidos em função do monitoramento da área do desgaste de flanco.

	Taxa de desgaste da zona B ($\times 10^{-3}$) (mm^2/min)
WCCo (modelo 2)	1º etapa: (36 ± 3) (0 a 5,7 min) 2º etapa: (11 ± 6) (5,7 a 22 min)
Ti-N / WCCo	(20 ± 2)
Ti-C-N / WCCo	(16 ± 2)

A ferramenta WC-Co sem revestimento apresentou a maior taxa de desgaste de flanco, em relação à primeira etapa do desgaste. Considerando-se a área de desgaste de $0,20 \text{ mm}^2$ ocorrida em 5,7min (valor β_2 estimado através do modelo contínuo de regressão linear segmentada) para a ferramenta WC-Co sem revestimento (Figura 6 b) estimou-se o tempo de corte que produziria esta mesma área de desgaste nas ferramentas revestidas.

Para tal procedimento, substituiu-se o valor desta área nas equações das retas obtidas para cada ferramenta revestida estudada, e os tempos de corte foram estimados. (Tabela II).

Tabela 2. Tempo de corte estimado para as Ferramentas WC-Co revestidas para a geração de uma área de desgaste de flanco (zona B) de $0,20 \text{ mm}^2$

Conjugados	Tempo estimado de corte (min)
Ti-N/WC-Co	10,0
Ti-C-N/WC-Co	12,5

Todos os tempos obtidos são superiores ao valor de 5,7 min obtido para a ferramenta WC-Co sem revestimento. Estes resultados confirmam a importância da presença dos revestimentos na cinética deste tipo de desgaste.

O comportamento linear observado na evolução da área de desgaste com o tempo de corte, para as ferramentas revestidas representam na prática, uma maior confiabilidade na ferramenta durante o processo de usinagem, desde que não se observa uma taxa de desgaste acelerada no início do uso da ferramenta.

CONCLUSÕES

A metodologia de investigação elaborada e apresentada neste trabalho consiste numa forma ainda não abordada no tocante a ocorrência de diferentes regimes de desgaste em ferramentas revestidas. Trata-se de uma forma alternativa de investigação dos fenômenos ocorridos nesta região de trabalho responsáveis pela determinação do fim de vida da ferramenta. A sua aplicação engloba de forma geral aspectos econômicos do processo produtivo no tocante a planejamentos estratégicos visando à máxima utilização de ferramentas revestidas, embasado de uma forma científica mais realística. Devem ser considerados ainda os tempos improdutivos relacionados a paradas para trocas de ferramentas, ocorrências de falhas catastróficas da ferramenta em processo e ainda a relação custo/benefício quando adotadas ferramentas revestidas, no sentido de que os custos relativos ao processo de deposição de revestimentos sejam de fatos retomados com a máxima utilização destas ferramentas estabelecidas por critérios mais realísticos. É importante salientar que o procedimento em questão minimiza as dificuldades (erros) relativas à aquisição de informações importantes quanto a evolução do desgaste ocorrido no flanco de ferramentas de corte apresentando-se mais confiável do ponto de vista estatístico.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Dra Junia Cristina Batista Avelar e Dra Marília Mendonça Lima pela produção dos revestimentos junto a TECVAC (Inglaterra) e análise estatística dos dados respectivamente. Agradecimentos também ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro para o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Avila, R. F., 2003, "O 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", tese de doutorado apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG, em 29/04/03, 190 páginas.
- 2 Batista, J. C. A., 2001, "Promising duplex coatings for tribological applications at

- elevated temperatures”, Doctorate thesis, UFMG, Brazil.
- 3 Bouzakis, K. D., Michailidis, N., Vidakis, N. and Efstathiou, K, 2001. “Failure mechanisms of physically vapour deposited coated hardmetal cutting inserts in turning”, *Wear* v. 248, pp. 29 – 47.
 - 4 Brandt, G.,1986, "Flank and crater wear mechanisms of alumina based cutting tools when machining steel, *Wear*, v. 112, pp. 39 - 56.
 - 5 Ezugwu, E. O., 1993, “Evaluation of Cermet cutting tool materials when machining G-17 cast iron”, *Lubrication Engineering*, pp. 49 – 55.
 - 6 Goh, G. K. L., Lim, L. C. Rahman, M & Lim, S. C., 1996, "Transitions in wear mechanisms of alumina cutting tools", *Wear* v.201, pp. 199 - 298.
 - 7 ISO 3685, 1993 - Tool life testing with single point turning tools.
 - 8 Jindal, P. C, Santhanam, A.T., Scheleinkofer, U. & Shuster, A. F., 1999, "Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, v17, pp. 163 - 170.
 - 9 Luo, S. Y., Liao, Y. S., Tsai, Y. Y., 1996, “Wear characteristics in Turning High Hardness alloy steel by ceramic and CBN Tools”, *Progress of Cutting and Grinding*, ICPCG, 3 pp. 120 – 125.
 - 10 Montgomery, D. C., 1991, "Design and analysis of experiments, 3^a edição, New York: John Wiley & Sons, pp. 648.
 - 11 Paldey, S. and Deevi, S. C., 2002, “Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti, Al)N: a review” , *Materials Science and Engineering A00*, pp.01 -22.
 - 12 Sandvik Coromant, 2000, “Catalogo de ferramentas de torneamento”, (www.sandvik.com)
 - 13 Tonshoff, H. K., Mohlfeld, A., Gey, C. and Winkler, J., 1998, “Surface modification of cemented carbide cutting tools for improved adhesion of diamond coatings”, *Surface and Coatings Technology* 108 – 109, pp. 543 – 550.
 - 14 Zimmermann, H, 1998, “PVD coated cutting tools for modern machining applications”, Doctorate thesis, Verlag Main Aachen, Germany.

PROCEDURE FOR WEAR MONITORING OF COATED CUTTING TOOLS

*Renato Franoso de vila⁽¹⁾
G. Cristina Dures de Godoy⁽²⁾
Alexandre Mendes Abro⁽¹⁾*

Abstract

The parameters and procedures employed for tool wear monitoring (among them average and maximum flank wear lands) are described by ISO 3685/93 standard. However, these parameters are not adequate for monitoring the wear of coated tools due to the fact that the evolution of tool material loss cannot be directly associated to the wear land. Thus, this work presents an alternative approach for monitoring tool wear in order to reduce inaccurate readings associated to the traditional procedure. In this alternative method was used a sophisticated acquisition system with *Software* Q600HR and evaluated the flank wear area (zone B) in 2, 10, 16 and 22 (minutes) for each cutting time. For statistical analysis was used the *software* Statistica. For the validation of this method continuous turning tests were carried out using hardened AISI 4340 steel as work material and Ti-N and Ti-C-N coated inserts as tool materials. The cutting condition tested was as follows: cutting speed of 150 m/min, feed rate of 0,25 mm/rot and depth of cut of 1 mm. The results indicated that more realistic results are found using the alternative approach.

Key-words: Tool wear; Monitoring; Coatings.