DESGASTE E VIDA DAS FERRAMENTAS DE CORTE CERÂMICAS NA MAQUINAGEM DO AÇO D2 (AISI) ENDURECIDO

J. Paulo Davim¹, M. Faustino Filipe², Luís Figueira³

Dept Eng. Mecânica, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal Tel: +351 234 370830 Fax : +351 234 370953 ¹email: pdavim@mec.ua.pt ²email: a11745@alunos.mec.ua.pt, ³Ifigueira@mec.ua.pt



RESUMO

Neste artigo pretende-se apresentar um estudo sobre o desgaste e vida das ferramentas de corte cerâmicas na maquinagem do aço D2 (AISI) endurecido (temperado e revenido). Os ensaios de torneamento foram realizados com ferramentas de corte cerâmicas à base de Al_2O_3 e TiC. Através de um microscópio óptico foram efectuadas medições de desgaste na face saída da ferramenta (desgaste no bico VC, segundo a norma ISO 3685). Estabelecendo um desgaste admissível na face saída da ferramenta (VC=0.15mm) foi possível determinar a vida (tempo de corte) da ferramenta para cada par de parâmetros processuais (Vc,a) ensaiados. Usando um modelo de regressão linear múltipla, foi possível estabelecer uma equação de base experimental, para prever a vida das ferramentas cerâmicas, no corte do aço D2 endurecido

1. INTRODUÇÃO

Recentemente as ferramentas de corte cerâmicas têm vindo a adquirir uma crescente importância em operações de maquinagem de aços endurecidos. Em condições adequadas é possível com ferramentas cerâmicas usar velocidades de corte muito superiores às preconizadas para o uso de ferramentas de carbonetos sinterizados convencionais devido à sua dureza a quente, resistência ao desgaste, alta resistência à compressão e baixo coeficiente de atrito (Whitney E. D., 1994).

Diversos investigadores (Ohtani T. and Yokogawa H., 1988; Obikawa T. et al, 1995; D'Errico G. E et al, 1997; Barry J. and Bryne G., 2001) dedicaram-se ao estudo dos mecanismos de desgaste das ferramentas cerâmicas no corte de aços endurecidos e concluíram que em geral, o comportamento ao desgaste é condicionado por interacções químicas entre a ferramenta e a peça e os principais mecanismos identificados são a adesão e a abrasão.

O reduzido desgaste das ferramentas cerâmicas assegura dentro de certos valores de parâmetros processuais (velocidade de corte e avanço) bom acabamento de superfície e precisão dimensional (IT <7) semelhantes à rectificação cilíndrica (Grzesik W., 2003).

A vida das ferramentas cerâmicas aumenta com a dureza do material da peça e deve-se à formação de uma camada protectora na interface apara/ferramenta. No entanto para velocidades de corte muito elevadas o valor da temperatura gerada na superfície de corte reduz a camada protectora que fica menos dura e sujeita a mecanismos de desgaste por abrasão por parte das partículas duras existentes no material a maquinar, produzindo-se deste modo um desgaste acentuado da ferramenta de corte. A diminuição do desgaste das ferramentas cerâmicas com o aumento da dureza do material atinge um ponto limite para um valor de dureza próximo de 50HRC a partir do qual se verifica uma inversão de resultados, ou seja o desgaste da ferramenta aumenta com a dureza do material da peça (Ohtani T. and Yokogawa H., 1988; Obikawa T. et al, 1995).

A utilização de materiais cerâmicos como ferramentas de corte pode melhorar a eficiência da operação de corte devido ao aumento da capacidade de remoção de material a cortar. O comportamento do desgaste não se correlaciona directamente com a dureza ou com a tenacidade, mas distintamente envolve-se em interacções químicas entre a ferramenta e o material a maquinar (D'Errico G. E et al, 1997).

As ferramentas cerâmicas caracterizam--se pela elevada resistência mecânica a quente sendo por isso utilizadas em operações de corte onde o calor desenvolvido na formação da apara pode desenvolver temperaturas elevadas (na ordem dos 1200°C). As ferramentas cerâmicas à base de alumina com adição de um composto refractário, o carboneto de titânio (TiC) conferem-lhe um aumento significativo da resistência ao desgaste.

A adição de Yttrium às ferramentas de cerâmicas à base de alumina permite melhorar a resistência ao desgaste para iguais valores de temperatura e pressão específica de corte (Xu C et al, 2001).

A elevada dureza a temperatura elevada e a resistência ao desgaste permitem a estes materiais uma vida da ferramenta superior a maioria das ferramentas de corte tradicionais à base de carbonetos sinterizados, sendo por isso usados no acabamento de aços endurecidos (temperados e revenidos) com elevado grau de dureza.

O presente estudo tem como objectivo avaliar o desgaste e vida das ferramentas de corte cerâmicas na maquinagem aço D2 (AISI) endurecido (temperado e revenido).

2.PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Na realização dos ensaios utilizou-se um aço ligado para ferramentas de trabalho a frio, com alto teor em crómio, denominado D2 segundo a AISI com a composição química aproximada indicada na Tabela 1.

Este aço tem grande aplicabilidade na realização de matrizes e punções de corte para a industria metalomecânica, lâminas para guilhotinas, navalhas e ferramentas para madeira, caracterizando-se por atingir elevadas profundidades de têmpera com baixas distorção para além de possui uma boa resistência à descarbonização.

O aço é fornecido no seu estado recozido com um valor médio de dureza de 230HB.

O fabrico dos provetes foi efectuado antes da têmpera para uma maior facilidade de preparação dos mesmos. Os provetes foram submetidos ao tratamento térmico de têmpera caracterizado por uma austenização em banho de sais (1040°C) com utilização de vácuo e posterior arrefecimento em imersão em óleo. Para estabilização estrutural os provetes foram submetidos a um revenido (510°C) obtendo-se uma dureza aproximada de 60 HRC.

Os provetes foram concebidos para a realização de ensaios em corte contínuo,

Tabela 1: Composição química aproximada do aço D2 (AISI)

%Carbono	%Silício	%Manganês	%Crómio	%Moblidénio	%Vanádio
1.55	0.30	0.40	11.80	0.80	0.80

apresentam uma gola de 3mm (Figura 1) entre a zona de fixação e a zona útil de maquinagem para minimizar os efeitos nefastos para a integridade da ferramenta no final de cada passagem.

Conforme se observa na Figura 1, os provetes permitiram a realização de torneamento cilíndrico exterior num comprimento de 200mm. O coeficiente de esbelteza inicial foi de 4 (200/50) para permitir um conjunto de passagens até ao limite de esbelteza 8 (200/25). Para aumentar a rigidez do sistema, utilizou-se o contraponto assegurando a rigidez necessária ao sistema bucha de aperto/ provete/ ferramenta de corte.

Na realização dos ensaios foram utilizadas ferramentas cerâmicas, compostas de uma mistura de óxido de alumínio (Al₂O₃) 71% com carboneto de titânio (TiC) 28% e outros aditivos 1%. Estas ferramentas têm a forma romboidal a 80° do tipo CNGA120408 T01020 CC650 (Figura 2) com a geometria seguinte: ângulo de saída $\alpha = 0^{\circ}$; ângulo de ataque γ = -6°; ângulo de posição da aresta principal de corte $\chi = 95^{\circ}$ e ângulo de inclinação da aresta de corte (λ) = - 6°.

Para garantir esta geometria de corte duplamente negativa utilizou-se um suporte de ferramentas do tipo PCLNR2525 M12 segundo as normas ISO.



Fig. 2 - Pastilha cerâmica (CNGA 120408-T01020 650)

O programa de ensaios envolveu o teste de pastilhas cerâmicas em operações de torneamento cilíndrico num torno convencional Pinacho S-90/200, com uma potência bruta de 5.5kW e uma rotação máxima da árvore de 2200 rpm.

Todos os ensaios foram efectuados a seco com uma profundidade de corte de 0.2mm. A velocidade de corte tomou os valores de 80, 150 e 220 m/min com avanços de 0.05, 0.10 e 0.15mm/rot para um tempo de corte estabelecido de cerca de 15 minutos.

A avaliação do desgaste (VC) foi efectuada na face de saída da ferramenta no final de cada passagem tendo para tal sido usado o microscópio óptico de oficina Mitutoyo TM-500 com ampliação 30X. O desgaste admissível na face de saída é estabelecido segundo a norma ISO 3685, conforme se pode observar na Figura 3.



Fig.1 - Geometria dos provetes de ensaios para corte contínuo.



3. RESULTADOS OBTIDOS E SUA DISCUSSÃO

O programa de ensaios teve como objectivo avaliar o desgaste e vida das ferramentas de corte cerâmicas na maquinagem do aço D2 (AISI) endurecido (temperado e revenido).

Fig. 3 - Desgaste VC na ponta da ferramenta segundo a norma ISO 3685

3.1 Curvas de desgaste das ferramentas cerâmicas

O parâmetro de medição do desgaste utilizado foi o VC (de acordo com a norma ISO 3685) correspondente ao desgaste junto à ponta (bico) da ferramenta medido na face de saída. Atendendo ao do valor do penetramento utilizado 0.2 mm o desgaste obtido situa-se na zona do bico da ferramenta. Na Figura 4 podemos observar um exemplo com o aspecto da ferramenta desgastada no bico.

As medições do desgaste na face de saída dos insertos junto ao bico foram obtidas no final de cada passagem com recurso a um microscópio óptico.



Fig. 4 – Exemplo de desgaste VC no bico da ferramenta.

Na Figura 5 podemos observar a evolução do desgaste na face de saída VC, em função do tempo de corte, para diferentes avanços e velocidades de corte. A velocidade de corte foi o parâmetro que mais afectou a evolução do desgaste na face de saída das ferramentas cerâmicas. Contudo, podemos verificar que não só o aumento dos parâmetros processuais (Vc, a), mas também o aumento do tempo de corte conduziu a um aumento do desgaste (VC) no bico da ferramenta.

3.2 Curva de vida – análise por regressão linear múltipla

O conceito de vida útil de uma ferramenta de corte (T) associa o tempo de corte efectivo de uma aresta de corte em condições efectivas de trabalho antes de ser necessário afiá-la ou substitui-la.



c) a=0.15mm/rot

Fig. 5 - Evolução do desgaste na face de saída VC em função do tempo de corte para diferentes parametros de corte a) a = 0.05 mm/rot, b) a = 0.1 mm/rot, c) a = 0.15 mm/rot.

O tratamento estatístico através da regressão linear múltipla permitiu estabelecer a correlação entre vida da ferramenta para um dado valor de desgaste (critério de vida) e os parâmetros processuais (Vc, a).

Considerando como critério de vida, o valor de desgaste VC = 0.15 mm, obtém-se

para cada curva de desgaste da Figura 5 a correspondente vida (T) como se observa na Tabela 2.

A correlação entre a vida da ferramenta (T) e os parâmetros processuais (Vc; a) foi obtida através da regressão linear múltipla. A equação obtida para a vida da ferramenta (T) em minutos é a seguinte:

T=23.27-0.055×Vc-25.0×a R^2 =0.93 (1)

sendo, Vc a velocidade de corte em m/min e a o avanço em mm/rot.

A Figura 6 apresenta num gráfico bilogarítmico (de base dez) a curva de vida correspondente ao desgaste VC =0.15mm para os valores de velocidade de corte (80; 150 e 220 m/min) e avanços (0.05, 0.1, 0.15 mm/rot).

Tabela 2:	Vida (T)	para o	o desgaste	VC=	0.15	mm
-----------	----------	--------	------------	-----	------	----

Vc (m/min)	a (mm/rot)	T para VC=0.15mm		
80	0.05	18.4		
80	0.1	16.1		
80	0.15	15.4		
150	0.05	13.2		
150	0.1	11.5		
150	0.15	11.7		
220	0.05	9.6		
220	0.1	10.8		
220 0.15		6.6		

Da análise da Figura 6 observa-se que para valores de baixa velocidade de corte e avanço a vida útil da ferramenta aumenta. A influência da velocidade de corte é muito superior à do avanço na vida da ferramentas de corte cerâmicas.

3.3 Velocidade óptima de corte – taxa de produção

Considerando que o avanço é fixado nas operações de acabamento em torneamento cilíndrico tendo em consideração o acabamento de superfície pretendido tomamos um valor para a rugosidade média aritmética semelhante ao da rectificação cilíndrica, ou seja, Ra =0.8 μ m (Grzesik W., 2003).

A rugosidade média aritmética teórica (Ra) em µm pode ser dada pela seguinte equação (Boothroyd G. and Knight W.A., 1989; Stephenson D. A. and Agapiou J. S, 1997):

$$Ra = 0.032 \times \frac{a^2}{r} \times 1000 \tag{2}$$

sendo, a o avanço e r o raio de ponta da pastilha.

Resolvendo em ordem ao avanço a, temos:

$$a = \sqrt{\frac{r \times Ra}{32}} \tag{3}$$



Fig. 6 - Curva de vida T = f(Vc), em escala bilogarítmica de base dez para o desgaste admissível VC = 0.15 mm

Considerando Ra 0.8µm e r 0.8mm obtemos um avanço de 0.14mm/rot.

A velocidade de corte óptima pode ser dada pela a equação (1) obtida por regressão linear múltipla. Resolvendo em ordem a Vc temos:

$$Vc = \frac{23.27 - T - 25.0 \times a}{0.055} \tag{4}$$

Tomando a vida da ferramenta 15 min (valor usual para a vida por aresta de corte para a maior parte dos fabricantes de ferramentas) e considerando o avanço obtido pela equação (3) 0.14mm/rot obtemos uma velocidade óptima de corte de 86.72m/min.

A taxa de produção (índice de remoção de apara) Tp em cm³/min pode ser dada pela seguinte equação (Boothroyd G. and Knight W.A., 1989):

$$Tp = Vcxaxp \tag{5}$$

sendo, Vc a velocidade de corte em m/min, a o avanço em mm/rot. e p a profundidade de corte em mm.

Tomado a velocidade de corte óptima 86.72m/min, o avanço dado pela equação (3) 0.14mm/rot. e a profundidade de corte 0.2mm obtemos uma *taxa de produção* (*indice de remoção de apara*) de 2.43cm³/min.

4. CONCLUSÕES

Tendo em consideração a metodologia utilizada, os equipamentos e os parâmetros processuais empregues na maquinagem aço D2 (AISI) endurecido (temperado e revenido), com ferramentas cerâmicas, podemos concluir que:

- o tipo de desgaste que ocorre nas pastilhas cerâmicas é um desgaste na face de saída da ferramenta junto ao bico (VC).
- o desgaste na face de saída (VC) aumenta com o aumento dos parâmetros processuais (velocidade de corte e avanço) e do tempo de

corte. A influência da velocidade de corte é muito superior à do avanço na evolução do desgaste da ferramenta.

 a vida das ferramentas de corte cerâmicas foi prevista com base num modelo que utiliza regressão linear múltipla, em função dos parâmetros processuais. Com base na vida da ferramenta e restrições no acabamento da peça foi possível obter a velocidade óptima de corte e a consequente taxa de produção (índice de remoção de apara).

REFERÊNCIAS

- Barry J., Bryne G., "Cutting tool wear in the machining of hardened steels-Part I: alumina/TiC cutting tool wear" Wear, Vol. 247 (2), (2001), pp. 139-151.
- Barry J., Bryne G., "Cutting tool wear in the machining of hardened steels-Part II: cubic boron nitride cutting tool wear" Wear, Vol. 247 (2), 2001, pp. 152-160.
- Boothroyd G. and Knight W.A., "Fundamentals of Machining and Machine Tools", *Ed. Marcel Dekker Inc.*, New York, 1989, pp. 155-174.
- D'Errico G. E., Calzavarini R., Chiara R., Morrell R., Lay L., "Performance of ceramic cutting tools in turning operations", *Ceramics: Charting the future, Techna Srl*, 1995, pp. 2327-2334.
- Grzesik W., Wanat T., Brol S., "A study of roughness profile generation in hard turning and grinding", The 6th International ESAFORM Conference on Material Forming, Salerno, Italy, 2003, pp.579-582.
- Luo S. Y., Liao Y. S. and Tsai Y. Y., "Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.88, 1999, pp. 114-121.
- Ohtani T., H Yokogawa, "The effects of workpiece hardness on tool wear characteristics", *Bul. Jpn. Soc. Precis. Eng*, Vol.22 (3), 1988, pp. 229-231.
- Obikawa T., Matsumura T., Shirakashi T., Usui E., "Wear characteristics of alumina coated and alumina ceramic tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, pp. 211-216.

Stephenson D. A. and Agapiou J. S., "Metal Cutting Theory and Pratice", *Ed. Marcel Dekker Inc., New York*, 1997, pp. 629-657.

Whitney E. D., "Ceramic Cutting Tools – Materials, Development, and Performance", *Library of Congress Catalogue* - in Publication Data, 1994, pp. 13- 215. Xu C., Huang C., Ai X., "Mechanical property and cutting performance of yttriumreinforced Al203/Ti(C,N) composite ceramic tool material", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.10(1), 2001, pp. 102-107.

