

## O EFEITO DO USO DE FLUIDOS DE CORTE NA VIDA DE FERRAMENTAS CERÂMICAS

**Renato F. de Ávila**

**Alexandre M. Abrão**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, 31270-901

Belo Horizonte, MG, Brasil

**Resumo.** *O conhecimento sobre o desempenho de fluidos de corte quando aplicados a trabalhos com diferentes materiais e operações é de fundamental importância para se garantir a eficiência da maior parte dos processos convencionais de usinagem. Esta eficiência pode ser medida principalmente através da vida da ferramenta e do acabamento superficial. Entretanto, os custos associados à sua compra, manuseio e descarte estão impulsionando o desenvolvimento de ferramentas que não necessitam do uso de fluidos de corte. Neste trabalho serão apresentados de forma comparativa o desempenho de diferentes fluidos de corte durante o torneamento contínuo do aço ABNT 4340 temperado e revenido (49 HRC). Foram utilizadas ferramentas cerâmicas (alumina mista). A condição a seco foi utilizada como controle na comparação entre os fluidos emulsionáveis (com óleo mineral e sem óleo mineral) e sintético, todos a uma concentração de 5%. Durante os testes foram monitorados o desgaste da ferramenta e acabamento superficial. Os resultados indicaram que, de forma geral, o melhor desempenho ocorreu para as condições com a aplicação do fluido emulsionável (sem óleo mineral) e corte a seco, seguido dos fluidos sintético e emulsionável (com óleo mineral) que apresentaram resultados semelhantes.*

**Palavras-chave:** *Fluidos de corte, Materiais endurecidos, Ferramentas cerâmicas.*

### 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento acerca da eficiência e do desempenho de certos fluidos de corte quando utilizados em condições específicas de usinagem, sempre atraiu o interesse de pesquisadores da área de processos de fabricação, bem como atenção de fabricantes de fluidos de corte e ambientalistas do mundo inteiro. Tal interesse está associado principalmente à evolução dos seguintes parâmetros: custo operacional, acabamento superficial do produto, vida de ferramenta, condições de descarte ou reciclagem do fluido que atendam aos atuais padrões e normas de proteção ambiental. Alguns trabalhos, dentre eles Heisel *et al.* (1998) e Machado & Wallbank (1997) revelam a possibilidade de se trabalhar com uma quantidade mínima de fluido durante o processo de corte.

Os custos relacionados à adoção de fluidos de corte podem chegar a 17%, contra 4% gastos com ferramentas de corte (Kress, 1997), portanto escolher um fluido ideal para uma específica condição de usinagem é um procedimento um tanto complexo devido à gama de produtos disponíveis com diferentes propriedades. König & Rummenholler (1998) afirmam que os fluidos de corte são a fonte mais problemática da manufatura, apresentando descarte cada vez mais dificultado. Embora exista grande necessidade de investigações das conseqüências a respeito da utilização de fluidos de corte, poucos são os trabalhos que avaliam de forma qualitativa e quantitativa a influência dos mesmos em operações específicas de usinagem. De acordo com a norma NBR 8418/84, na qual os fluidos de corte são considerados como resíduos de processamento, estão especificados todos os quesitos básicos para acondicionamento, cadastramento, reciclagem e demais condições para a melhor utilização destes sem consideráveis conseqüências ao meio ambiente.

Para as ferramentas cerâmicas a base de alumina pura nenhum fluido deve ser usado, devido a sua baixa resistência a choques térmicos (baixa condutividade térmica). Já as ferramentas de alumina mista, que apresentam resistência a choques térmicos e mecânicos superior a alumina pura, são indicadas para a usinagem de ferro fundido e aços temperados recomenda-se a aplicação abundante de fluido de corte para obtenção de tolerâncias apertadas e bom acabamento superficial (Sandvik Coromant, 1990).

Motta (1994) avaliou a influência do fluido de corte no torneamento contínuo de aço AISI 8640 com pastilha de metal duro revestida e constatou um perceptível aumento na vida das ferramentas quando utilizados os fluidos sintéticos (3%), semi-sintéticos (3%), emulsionável (3% e 10%) em comparação com a condição a seco, nesta ordem. Maekawa *et al.* (1998), verificando o efeito da utilização de fluidos de corte em torneamento contínuo de alta velocidade em aços de médio carbono constataram que a substituição do torneamento com fluido emulsionável (10%) pela condição a seco para velocidades inferiores a 350m/min, com avanço e profundidade de usinagem de 0,25mm/rev e 0,5mm, respectivamente, poderia ser feito sem prejuízo para o processo. Tal opção elevaria de forma insignificante os gastos gerados com ferramentas de corte. Já para velocidades superiores a 400m/min tal substituição deve ser melhor investigada em função do acabamento superficial e vida de ferramenta.

A vida de ferramentas de corte, integridade superficial da peça, os mecanismos de desgaste gerados e formas de cavacos são bons indicadores da eficiência de um determinado fluido de corte adotado para uma específica condição de usinagem. O desenvolvimento dos mais complexos fluidos de corte, bem como condições de armazenamento, utilização, reciclagem e descarte devem atender de forma rigorosa às normas de proteção ambiental e de saúde. Os melhores fluidos devem ser, acima de tudo, mais saudáveis para o operador da máquina e causar menos danos ao meio ambiente (Nelson & Schaible, 1988).

## **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

### **2.1. Materiais e equipamentos**

O material utilizado foi o aço ABNT 4340 temperado e revenido para uma dureza média de 49 HRC. Foram utilizadas ferramentas cerâmicas mistas ( $Al_2O_3 + TiC$  – a composição detalhada não foi revelada pelo fabricante) produzida pela Iscar, classe IN 22. O suporte e as ferramentas cerâmicas intercambiáveis apresentaram as seguintes especificações: suporte ISO PCLNR2020K-12 e pastilhas ISO CNGA-120408 T02520. O conjunto porta-ferramenta proporcionou os seguintes ângulos:  $\chi_r = 95^\circ$ ,  $\varepsilon_r = 80^\circ$ ,  $\chi_r' = 5^\circ$ ,  $\lambda_s = -7^\circ$ ,  $\alpha_o = 7^\circ$ ,  $\beta_o = 90^\circ$  e  $\gamma_o = -7^\circ$ . As ferramentas apresentaram chanfro em T de 0,25 mm x 20°.

Os fluidos de corte usados foram fornecidos pela Tutela Lubrificantes S.A: dois fluidos emulsionáveis, sendo um isento de óleo mineral (MECAFLUID 193) e outro com óleo

mineral (AGIP OE 3/GO M) e ainda um fluido sintético (MECAFLUID 181) na concentração de 5%. Para simplificação, os respectivos fluidos serão denominados a partir de então da seguinte maneira: MECAFLUID 193 (fluido A), MECAFLUID 181 (fluido B) e AGIP OE 3/GO M (fluido C). Os fluidos apresentaram propriedades semelhantes, como viscosidade entre 20 e 40 cSt, densidade de 0,9 a 1,2 g/cm<sup>3</sup> e pH alcalino entre 8,5 a 10. Todos os fluidos continham aditivo extrema pressão.

Os testes foram realizados em um torno equipado com comando numérico computadorizado (potência e rotação máximas de 5,5kW e 3500 rpm, respectivamente). A bomba do reservatório possui 1 kW de potência e vazão de 75 l/min. Para a medição do desgaste foi utilizado um microscópio equipado com micrômetros digitais de resolução milesimal. Para as medições de rugosidade foi utilizado o rugosímetro Mitutoyo modelo SurfTest 301 ajustado para um cut-off de 0,8mm e para o controle da concentração dos fluidos de corte foi utilizado um refractômetro 2WAJ. A dureza das peças foi monitorada utilizando um durômetro universal Microtest 737L.

## 2.2. Metodologia

Além dos fluidos recomendados, também foi feito o torneamento a seco como controle. Os parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço e profundidade de corte) foram selecionados em função dos materiais da peça e da ferramenta, entretanto, a condição de desbaste foi limitada pela potência da máquina ferramenta.

O critério adotado para o término do teste foi desgaste de flanco médio  $VB_B = 0,3\text{mm}$ , em conformidade com a norma ISO 3685/1977. A Tabela 1 ilustra os parâmetros de corte e condições de refrigeração para a coleta de dados.

Tabela 1. Parâmetros de corte e condições de refrigeração.

Condição	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)
	50		
Seco	75	0,15	2,0
Fluido A	100		
Fluido B	200		
Fluido C	300	0,05	0,5
	400		

Simultaneamente à medição do desgaste foi controlada a concentração do fluido de corte em intervalos de 30 minutos sendo mantido em 5%. A direção escolhida para aplicação do fluido foi sobre-cavaco, sendo controlada também a distância de 300 mm do bocal do jato até a região de trabalho para todos os testes. Após a realização desta primeira etapa e feita uma avaliação do fluido de melhor desempenho foram realizados testes de vida de ferramenta quando variada sua concentração de 5% para 3%, nas condições de corte apresentadas na Tabela 2 sendo mantidos todos os procedimentos adotados anteriormente referentes à medição do desgaste de flanco, vazão e controle da concentração do fluido e distância do bocal do jato até a região de trabalho para posterior análise comparativa.

Tabela 2. Matriz de testes para o fluido A (concentração de 3%).

Condição	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/rev)	$a_p$ (mm)
	200		
Fluido A	300	0,05	0,5
	400		

A cada parada para a medição do desgaste de flanco  $VB_B$ , foram também medidos os valores da rugosidade média  $R_a$  em três pontos do corpo de prova, e em seguida calculou-se a média dos valores.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Vida de Ferramenta

A Figura 1 ilustra a curva  $v - T$ , para a condição de desbaste. Em decorrência das freqüentes falhas catastróficas de ferramentas, as curvas foram montadas para  $VB_B=0,12\text{mm}$ . Evidencia-se o desempenho superior da ferramenta quando empregado o fluido A seguido das condições a seco, fluido B e C nesta ordem.

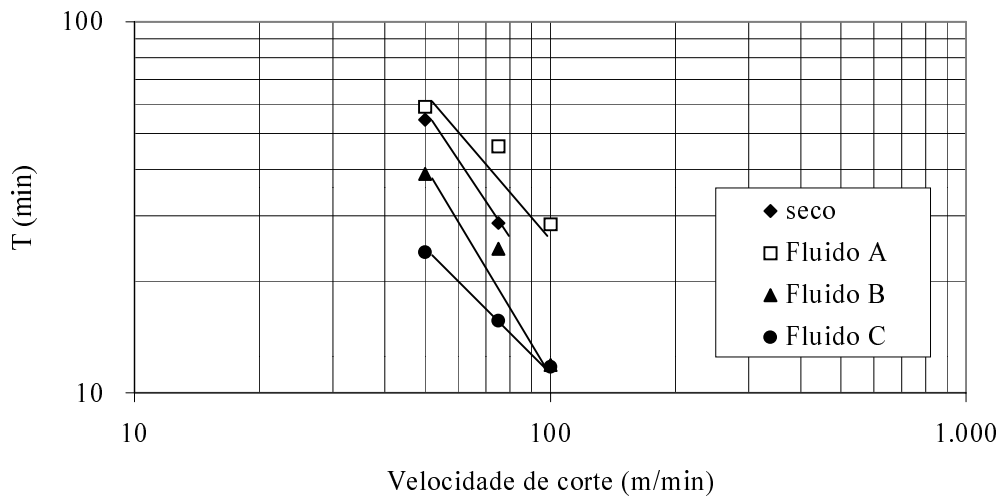


Figura 1 – Curvas  $v - T$  para  $VB_B = 0,12 \text{ mm}$  ( $f = 0,15 \text{ mm/rev}$  e  $a_p = 2,0 \text{ mm}$ )

A Figura 2 ilustra a curva  $v - T$  para a condição de acabamento para os fluidos empregados e condição a seco. O critério utilizado na construção gráfica foi  $VB_B = 0,2 \text{ mm}$ , sendo constatado os melhores desempenhos na seguinte seqüência: fluido A, seco, fluido B e fluido C.

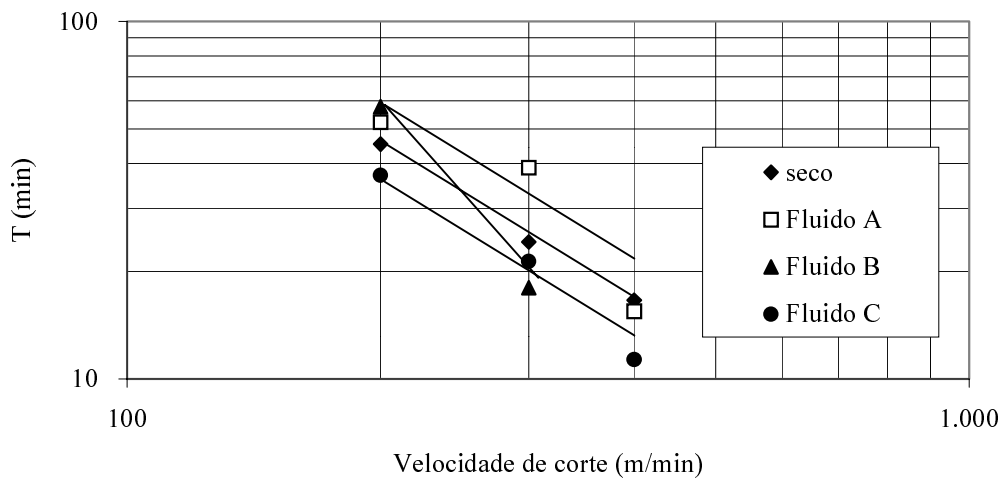


Figura 2 – Curvas  $v - T$  para  $VB_B = 0,2 \text{ mm}$  ( $f = 0,05 \text{ mm/rev}$  e  $a_p = 0,5 \text{ mm}$ )

Tendo em vista o melhor desempenho do fluido A sobre as demais condições de refrigeração, foi efetuada uma alteração na sua concentração, reduzindo-a de 5% para 3%, para a condição de acabamento. A Figura 3 indica um melhor desempenho para o fluido A (5%) para as velocidades de corte de 200 e 300 m/min, sendo que a concentração de 3% propiciou vida mais longa para a velocidade de corte de 400 m/min.

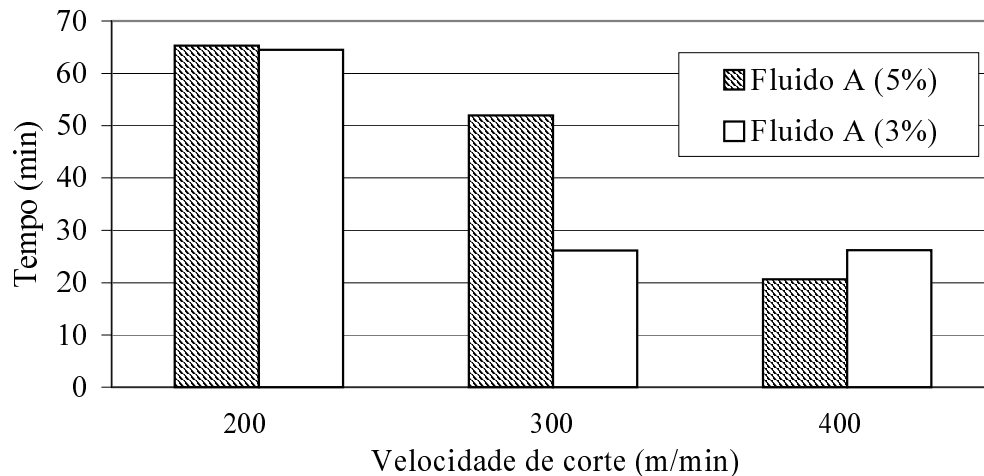


Figura 3 – Vida de ferramenta contra velocidade de corte (vc = 200, 300 e 400m/min) para concentrações de 5% e 3%.

### 3.2. Acabamento Superficial

O valor teórico de  $R_a$  obtido em função do avanço de 0,15 mm/rev e raio de ponta da ferramenta de 0,8 mm foi de 0,9  $\mu\text{m}$ , valor bem inferior aos obtidos experimentalmente. Para a menor velocidade de corte, os valores mínimos deste parâmetro foram obtidos para as seguintes condições: a seco ( $R_a = 1,7\mu\text{m}$ ), fluido A ( $R_a = 1,73\mu\text{m}$ ), fluido B ( $R_a = 1,89$ ) e fluido C ( $R_a = 2,14\mu\text{m}$ ). Nas velocidades de corte intermediária e maior os melhores acabamentos foram atribuídos a utilização do fluido C com valor mínimo de  $R_a = 1,21$ . A Figura 4 apresenta o melhor acabamento superficial obtido, estando o mesmo associado à maior velocidade de corte empregada na condição de desbaste.

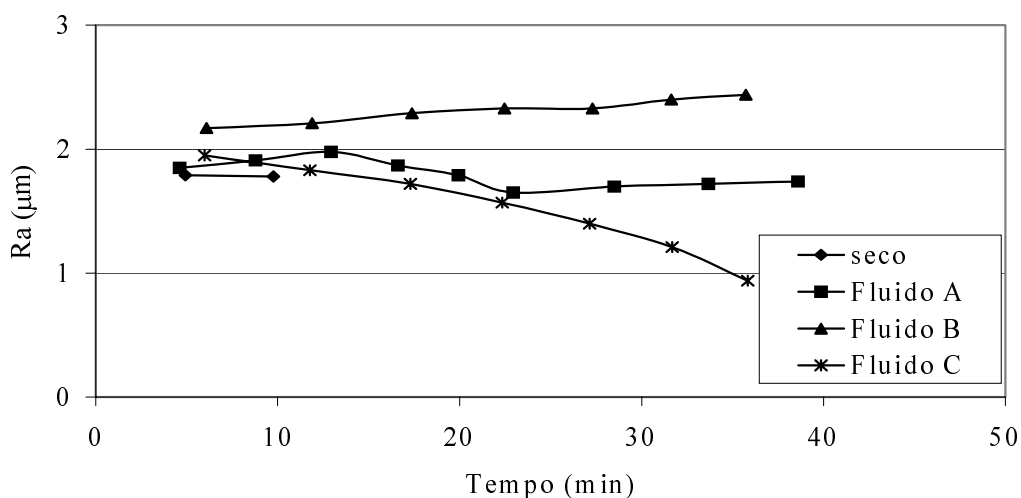


Figura 4 – Rugosidade em função do tempo de corte (vc = 100m/min).

Em condição de acabamento ( $f = 0,05\text{mm/rev}$  e  $a_p = 0,15\text{mm}$ ) o valor teórico do parâmetro  $R_a$  teórico foi de  $0,1\mu\text{m}$ . Na menor velocidade de corte os melhores acabamentos superficiais foram observados para as condições de usinagem a seco e quando utilizado o fluido C ( $R_a=0,26\mu\text{m}$ ). Para a velocidade intermediária, o menor valor de rugosidade ( $R_a=0,51\mu\text{m}$ ) foi encontrado obtido na usinagem a seco. Quando aumentada a velocidade de corte para o valor máximo ( $v_c=400\text{ m/min}$ ), o menor valor de  $R_a$  foi obtido quando utilizado o fluido A, com pouca variações para as demais condições. Entretanto, os valores máximos apresentaram variações significativas para as condições de usinagem a seco e quando utilizado o fluido A, conforme apresentado na Fig. 5.

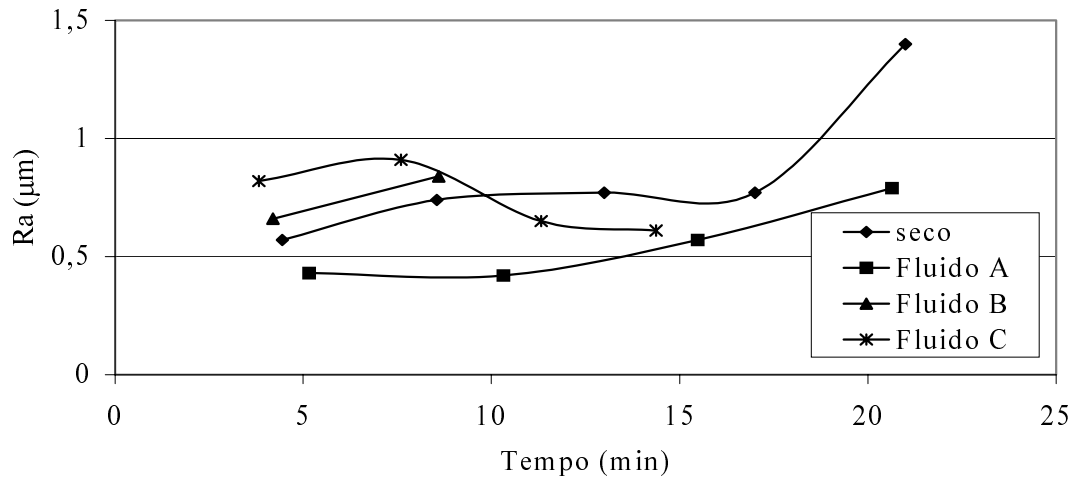


Figura 5 – Rugosidade em função do tempo de corte ( $v_c = 400\text{m/min}$ ).

O parâmetro  $R_a$  também foi verificado quando modificada a concentração do fluido A (5% para 3%), conforme apresentados na Fig. 6, para a maior velocidade de corte em condição de acabamento.

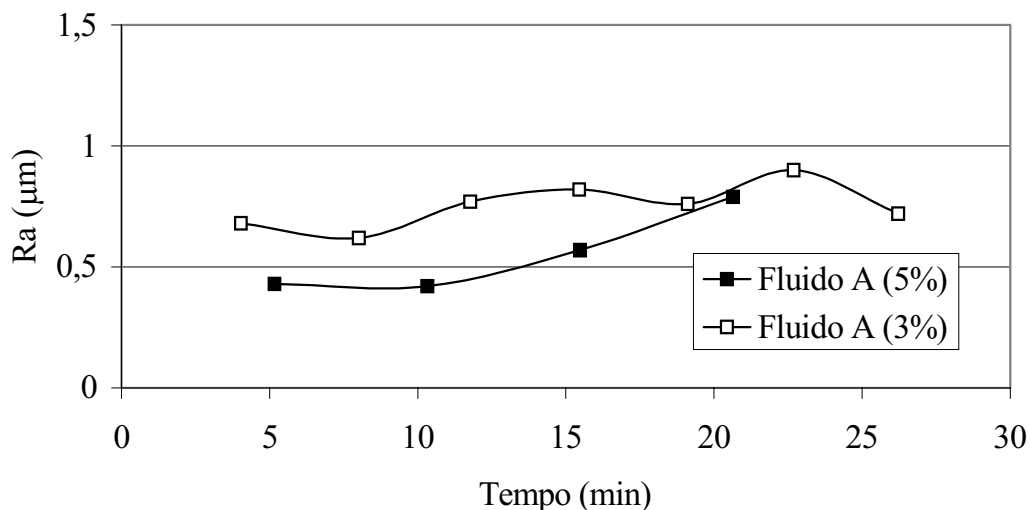


Figura 6 – Rugosidade em função do tempo de corte ( $v_c = 400\text{m/min}$ ).

De modo geral os menores valores de  $R_a$  foram obtidos para a concentração de 5%. Entretanto, considerando-se a medida final deste parâmetro, o melhor acabamento foi obtido para a concentração de 3% ( $R_a = 0,78\mu\text{m}$ ) na menor velocidade de corte. Poucas variações da última medição de  $R_a$  foram observadas para as velocidades de corte intermediária e máxima ( $R_a = 0,8$  e  $0,76\mu\text{m}$ ), respectivamente.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Vida de Ferramenta

Na condição de desbaste foi observada a ocorrência de fratura súbita ou lascamento da ferramenta na maioria dos testes, principalmente quando aumentada a velocidade de corte para os valores intermediário e máximo, o que já era esperado em razão da baixa tenacidade do material da ferramenta. Ocorrências semelhantes foram observadas por Mehrotra (1998).

De maneira geral, os melhores resultados foram obtidos para as seguintes condições: fluido A, a seco, fluido B e C. O melhor desempenho do fluido A (emulsionável isento de óleo mineral) possivelmente está associado à sua lubrificidade, propriedade fundamental na condição de desbaste.

Na condição de acabamento, embora menos freqüente, foi observada a ocorrência de fratura súbita ou lascamento da ferramenta para os maiores valores de velocidade de corte.

Os melhores desempenhos foram atribuídos a seguintes condições: fluido A, a seco, fluido B e C. A utilização do fluido A resultou no lascamento da ferramenta decorridos 52 minutos, ao passo que as demais condições resultaram em desgaste de flanco acelerado após 30 minutos. Provavelmente este fluido apresenta maior poder lubrificante, minimizando o atrito na superfície de folga. Análise das superfícies de folga e saída realizadas a posteriori sugerem difusão e abrasão como o principal mecanismo de desgaste.

Quando a concentração do fluido A foi reduzida de 5% para 3% para a condição de acabamento observou-se que para a maior velocidade de corte ( $v_c = 400\text{m/min}$ ) o melhor resultado foi obtido para o fluido de menor concentração, sugerindo a importância do efeito refrigerante. Tal constatação pode ser economicamente viável na produção. Resultados semelhantes foram obtidos por Maekawa *et al.* (1998) em condições semelhantes a do experimento, onde o mesmo sugere até a opção da usinagem a seco para velocidades de corte entre 350 e 400m/min. Entretanto, o fluido A (concentração de 5%) mostrou-se superior quando a velocidade de corte foi de 300m/min.

### 4.2. Acabamento Superficial

Na condição de desbaste todos os valores para o parâmetro  $R_a$ , independentemente da velocidade de corte ou adoção ou não de fluidos de corte, foram altos se comparado ao valor teórico de  $0,9\mu\text{m}$ . Uma possível explicação seria o fato de que a expressão de  $R_a$  teórico relaciona apenas os parâmetros avanço e raio de ponta da ferramenta, não levando em consideração outros parâmetros relevantes como a velocidade de corte, o material da peça, rigidez da máquina ferramenta, etc. Não foi observado nenhum comportamento padrão nas diversas condições de teste, contudo confirmou-se ainda que discretamente, uma melhor obtenção deste parâmetro quando adotado maiores velocidades de corte.

O melhor acabamento superficial foi obtido quando utilizado o fluido C, para as velocidades de 75, 100 e 50m/min, nesta ordem. Quando variada a concentração do fluido emulsionável sem óleo mineral de 5% para 3% os melhores resultados foram observados para as velocidades de corte de 300 e 400m/min para a concentração de 5%, possivelmente tal ocorrência deve estar relacionada ao maior poder de lubrificação da maior concentração que

reduz o atrito e força de usinagem, lembrando-se que tal contribuição ainda que não quantificada deve ter sido mínima visto que a emulsão utilizada para ambas as concentrações seja mais refrigerante.

## 5. CONCLUSÕES

De forma geral, o melhor desempenho para a vida de ferramenta foi obtido quando adotado o fluido de corte emulsionável isento de óleo mineral, tanto para a condição de desbaste quanto para o acabamento, apontando assim para a necessidade de sua utilização na usinagem de aços endurecidos com esta classe de ferramentas cerâmicas (alumina mista);

A maior ocorrência de lascamento e fratura súbita da ferramenta de corte na condição a seco sugere a necessidade de aplicação de fluidos de corte que amenizaram tais ocorrências;

A ferramenta de alumina mista apresentou alta susceptibilidade a choques mecânicos, principalmente a altas velocidades de corte, mas também como consequência do rebatimento de cavacos próximos à região de trabalho;

Os melhores acabamentos superficiais estiveram associados à utilização de algum tipo de fluido de corte, que garantiram valores de  $R_a = 0,37 \mu\text{m}$  no acabamento.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro, à ISCAR do Brasil pelo fornecimento das ferramentas de corte, à Tutela Lubrificantes S.A., pelos fluidos de corte e à ACESITA – Aços Especiais Itabira, pelo material da peça.

## REFERÊNCIAS

- Dewes, R. C., Aspinwall, D. K. & Thielemann G., 1998, Tool Life and workpiece surface roughness when high speed machining hardened tool steel using dry cutting, spray mist and flood coolant. 4<sup>TH</sup> International Conference on Behaviour of materials in machining 12-13 november, Stratford, UK, pp. 69 –77.
- Heisel, U.; Lutz, M. ; Spath, D. ; Wassmer, R. & Walter, U., 1998, A técnica da quantidade mínima de fluidos e sua aplicação nos processos de corte, Máquinas e Metais, pp. 22 – 38.
- ISO 3685/1977, Tool life testing with single point turning tools.
- König, W. & Rummenhöller, S., 1998, As indústrias estão tendo que orientar ecologicamente seus processos produtivos, Máquinas e Metais pp. 22 – 29.
- Kress, D., 1997, Dry cutting with finish machining tools, Industrial Diamond Review pp. 81 – 85
- Machado, A. R. & Wallbank. J., 1997, The effect of extremely low lubricant volumes in machining, Wear, vol 210, pp. 76-82.
- Maekawa K., Ohshima I. & Gotoh Y., 1998, Are cutting fluids effective in continuous high speed machining ?, 4<sup>TH</sup> International Conference on Behaviour of materials in machining 12-13 november, Stratford, UK, pp. 90 –99.
- Mehrotra, P. K., 1998, Machining with ceramic cutting tools, 4<sup>TH</sup> International Conference on Behaviour of materials in machining Stratford, UK, pp. 33 - 42.
- Motta, M. F., 1994, Influência do fluido de corte no torneamento do aço AISI 8643, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- NBR 8418/1984, Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Nelson, P. & Schaible, J., 1988, Update Cutting fluids and related products, Cutting tool eng. pp. 31- 35.



Sandvik Coromant, 1990, Turning with ceramics inserts and holders. 17 pp.

Tutela S/A, 1996, Manual Técnico de Lubrificantes para corte de metais – AGIP – OEMETA. 56 pp.

## **THE INFLUENCE OF CUTTING FLUIDS ON TOOL LIFE OF CERAMIC INSERTS**

### **ABSTRACT**

The knowledge over the performance of cutting fluids when applied to different work materials and operations is of crucial importance in order to assess the efficiency of most conventional machining processes.

This efficiency can be measured mainly through cutting tool life and workpiece surface finish. Therefore, cutting fluids are used aiming to increase tool life and improve the surface quality. However, the costs associated with their purchase, handling and disposal are leading to the development of cutting tools which do not require the use of cutting fluids. In this work the performance of cutting fluids during continuous turning of hardened and tempered AISI 4340 steel ( $49 \pm 1\text{HRC}$ ), using mixed alumina tools was investigated for the following conditions: dry turning and using synthetic, semi-synthetic and emulsion cutting fluids. The following parameters were evaluated: tool life, surface finish.

The results indicated that with regard to tool life, the emulsion and dry cutting gave best results. The best surface finish was obtained when cutting fluids were used.

Keywords: Cutting fluids, Hardened materials, Ceramic tools.