

INFLUÊNCIA DA REFRIGERAÇÃO NO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 52100 TEMPERADO

Fernando Teixeira Filho

Faculdade de Engenharia de Varginha/FENVA, Departamento de Engenharia Mecânica
fernando-fenva@fepesmig.br – Varginha, MG, Brasil

João Roberto Ferreira¹, Júlio Navarro Santos²

Escola Federal de Engenharia de Itajubá/EFEl, Departamento de Produção
(1)jorofe@iem.efei.br – (2)navarro@iem.efei.br – Itajubá, MG, Brasil

Anselmo Eduardo Diniz

Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica
anselmo@fem.unicamp.br – Campinas, SP, Brasil

Resumo. *A utilização de fluido de corte nos processos de usinagem tem sido altamente questionada atualmente, principalmente devido às pressões de uma legislação cada vez mais severa com os descartes industriais e a uma crescente conscientização quanto aos problemas ambientais. Além disso, a estes fluidos estão associados custos que oneram a produção de produtos manufaturados. A utilização do Mínimo Volume de Óleo (MVO) tem-se mostrado uma técnica interessante em alguns processos de usinagem. O uso do mínimo volume de óleo pulverizado na região de corte pode reduzir o desgaste da ferramenta e melhorar a rugosidade da peça, quando comparado com o processo a seco. Neste trabalho estudou-se a influência do mínimo volume de óleo no desgaste da ferramenta de PCBN na operação de torneamento do aço ABNT 52100 endurecido. Foram ensaiadas ainda duas outras condições de corte: a seco e com óleo solúvel abundante. Nos ensaios foram medidos os desgastes da ferramenta de PCBN e a rugosidade da peça. Constatou-se que a usinagem a seco apresentou uma maior vida da ferramenta, enquanto que a condição com fluido de corte abundante apresentou o pior resultado. A condição com MVO apresentou uma maior vida da ferramenta na condição com $v_c = 150$ m/min.*

Palavras-chave: Torneamento, Aço Endurecido, Ferramenta de PCBN, Mínima Lubrificação.

1. INTRODUÇÃO

A usinagem de materiais endurecidos (dureza > 45 HRC) tem sido possível graças ao desenvolvimento de materiais para ferramentas de corte de elevada dureza a quente e alta resistência ao desgaste, aliado ao desenvolvimento de máquinas-ferramentas mais rígidas e potentes. Isto tem permitido a substituição com algumas vantagens da operação de retificação pelo torneamento destes materiais. Dentre estas vantagens pode-se citar: maior produtividade, menor custo das ferramentas, baixo consumo de energia por volume de material usinado, redução dos tempos de preparação e troca de ferramentas, máquinas-ferramentas mais simples e de menor custo, etc. (Tönshoff et al., 1995; Klocke et al., 1995, apud. Matsumoto, 1998). O

Nitreto de Boro Cúbico Policristalino (PCBN) é um material para ferramentas de corte que possui excelentes propriedades como: baixa solubilidade no ferro, elevada dureza a quente (cerca de 1800HV a 1000° C) e boa tenacidade à fratura (6,3 MPa/m^{1/2}). Estas propriedades permitem o uso eficaz do PCBN na usinagem de ligas ferrosas temperadas, com dureza na faixa de 50 a 65 HRC (Abrão et al., 1996).

No torneamento de aços endurecidos ocorre a elevação da temperatura de corte, o que facilita a deformação e o cisalhamento do material na formação do cavaco (Nakayama et al., 1988). Além disso, a usinagem de materiais endurecidos é citada na literatura como sendo a seco. No entanto, a alta temperatura causa a dilatação da peça, afetando sua precisão dimensional e geométrica e a integridade da superfície usinada (Tönshoff et al., 1995). A ausência de lubrificação além de prejudicar o transporte de cavaco, favorece o aumento do desgaste abrasivo e de aderência, causado pelo aumento no atrito devido à camada de separação entre a ferramenta e o material (Novaski & Dörr (a), 1999). No torneamento do aço ABNT 52100 temperado (dureza 60 HRC), Costa (1993) verificou que a taxa de desgaste de flanco (V_B/t_c), sendo V_B o desgaste de flanco e t_c o tempo de corte, dos insertos de PCBN cresceu com o aumento da velocidade de corte. Utilizando velocidades de corte de 100, 120 e 140 m/min, o referido autor verificou que a taxa de desgaste de flanco aumentou e nenhum desgaste de cratera foi observado. Por outro lado, no torneamento do mesmo aço (dureza média de 60 HRC), Matsumoto (1998) verificou que a vida da ferramenta de PCBN cresceu com o aumento da velocidade de corte, para as velocidades ensaiadas ($v_c = 108$ e 130 m/min). Há, portanto, uma certa contradição entre os resultados obtidos por estes autores sobre a influência da velocidade de corte na vida da ferramenta de PCBN.

A usinagem com mínimo volume de óleo (MVO) consiste na aplicação de uma quantidade mínima de fluido de corte (normalmente < 100 ml/h) na região de corte, na maioria dos casos através de um jato de ar. Estas quantidades mínimas são suficientes para reduzir substancialmente o atrito cavaco-ferramenta-peça e evitar a aderência dos materiais em contato (Novaski & Dörr (b), 1999). A usinagem com MVO tem sido pesquisada objetivando reduzir o volume de fluido de corte, favorecendo as questões ecológicas, as exigências legais quanto à preservação do meio ambiente e a preservação da saúde do ser humano (Heisel & Lutz, 1998). A utilização de óleo de corte abundante (condição úmida) tem as vantagens de facilitar a remoção de cavacos, reduzir o atrito e refrigerar a peça. Por exemplo, na usinagem de alumínio e aços dúcteis, a não aplicação da refrigeração provoca um desgaste adesivo inaceitável (Novaski & Dörr (a), 1999). Entretanto, a utilização da condição úmida representa custos adicionais nos processos de corte que podem chegar a 17% dos custos de produção, que são relativos à aquisição, armazenamento, manutenção e descarte. Por outro lado, os gastos relacionados com a ferramenta representam somente de 2 a 4% dos custos de produção (Novaski & Dörr (a), 1999). A utilização do mínimo volume de óleo tem-se mostrado vantajosa em algumas operações de corte. Na operação de furação de liga de alumínio-silício (AS 323), Braga et al. (1999) verificaram que o desgaste da ferramenta com MVO (Vazão de 10 ml/h) foi similar à operação com condição úmida e que, em termos de esforços de corte, a operação com MVO mostrou-se melhor que a condição úmida.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a influência do mínimo volume de óleo na operação de torneamento de aço ABNT 52100 endurecido (dureza 60 HRC). Para efeito de comparação, utilizou-se outras duas condições de corte (úmida e a seco) visando avaliar a influência da velocidade de corte no desgaste da ferramenta de PCBN e na rugosidade R_a da peça.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram realizados em um torno CNC Cosmos 30 – Romi, potência de 22 KW (30 HP), ano de fabricação 1985, projeto mecânico convencional com mancais de rolamento e guias de escorregamento. Os corpos de prova de aço ABNT 52100 foram usinados nas dimensões finais de $\varnothing 49 \times 50$ mm e tratados termicamente visando seu endurecimento. A dureza média medida situou-se na faixa de 60 ± 2 HRC. A composição química do aço utilizado encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do aço ABNT 52100 em %.

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
1,03	0,23	0,35	1,40	0,04	0,11	0,001	0,01

O equipamento de mínimo volume de óleo utilizado foi o *Magic-Cut “Mist coolant equipment”* da Fuso Seiki Co. Ltd., modelo OS-21-AT-40. Este equipamento permite uma regulagem fina do volume de óleo, por meio de um registro tipo agulha, atomizando-o em um fluxo de ar comprimido à pressão constante de 4,5 bar. O bico injetor de ar foi colocado a cerca de 10 mm da peça, na parte superior, conforme mostra a Fig. 1.

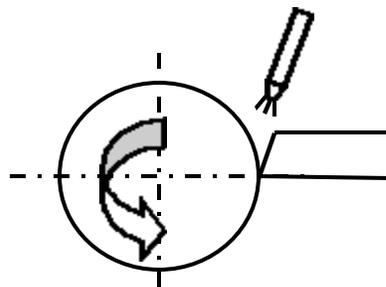


Figura 1 – Esquema do bico injetor nos ensaios com ar comprimido e MVO.

As medidas de rugosidade, R_a , foram realizadas em um rugosímetro *Surftest 211*, Mitutoyo, aferido e calibrado antes do início das medições. O parâmetro de *cut-off* foi ajustado para 0,8 mm em todas as medidas. As medições dos desgastes de flanco máximos das pastilhas (VB_{max}) e também as fotos da progressão destes desgastes foram obtidos em um analisador de imagem (*Global Image Analyser*) acompanhado do respectivo software (*Global Lab*). Este equipamento é constituído de um microscópio óptico com ampliação de 25 a 50 vezes acoplado a uma câmara de vídeo e ao computador.

Foram utilizados insertos intercambiáveis de PCBN brasados em metal duro, geometria quadrada, código ISO SNGA 120408 S01020, recobertos com uma camada de nitreto de titânio (TiN), raio de ponta de 0,8 mm, com chanfro (Sandvik CB7020). Foi usado um porta ferramentas código ISO MSSNR 2525M12 com a seguinte geometria: ângulo de saída $\gamma_o = -8^\circ$; ângulo de inclinação $\lambda_s = 0^\circ$ e ângulo de posição $\chi_r = 45^\circ$.

Os critérios de fim de vida da ferramenta foram baseados no desgaste de flanco máximo $VB_{max} = 0,3$ mm ou rugosidade $R_a = 0,75$ μm , de acordo com a norma ISO 3685 de 1993. Quando um destes dois parâmetros fosse atingido, o ensaio era encerrado. Durante os ensaios as medidas de rugosidade (R_a) e desgaste de flanco (VB_{max}) foram efetuadas após a ferramenta ter usinado um comprimento de corte aproximado de 252 m (três passes). As condições de corte foram: a seco, com óleo abundante (úmida) e com mínimo volume de óleo com vazão de 10 ml/h. Os parâmetros de corte foram: velocidades de corte (v_c) de 110, 130,

150 e 175 m/min; avanço $f = 0,08$ mm/volta e profundidade de usinagem $a_p = 0,3$ mm, constantes em todos os ensaios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fig. 2 mostra a evolução do desgaste de flanco para as três condições ensaiadas com velocidade de corte de 110 m/min. A condição a seco apresentou o melhor desempenho, acredita-se que isto tenha ocorrido devido ao efeito da maior temperatura de corte, que provoca a perda de dureza do material da peça, facilitando a formação do cavaco e reduzindo os esforços de corte. O desgaste de flanco VB_{max} na condição a seco mostra uma evolução mais lenta que nas demais condições de corte, favorecido pelo efeito da temperatura desenvolvida durante a usinagem, aliado à alta resistência do PCBN em elevadas temperaturas. À medida que o comprimento de corte aumenta, a evolução do desgaste para a condição úmida é mais rápida, acredita-se que devido ao intenso resfriamento da peça e do cavaco, fazendo com que a ferramenta de PCBN esteja sujeita a esforços de corte maiores. A Fig. 3 mostra o lascamento da ferramenta de PCBN ocorrido no ensaio com $v_c = 110$ m/min na condição úmida. Para comprimentos de corte acima de 1800 m, a condição de MVO com vazão 10 ml/h apresenta um desempenho intermediário entre as outras duas condições.

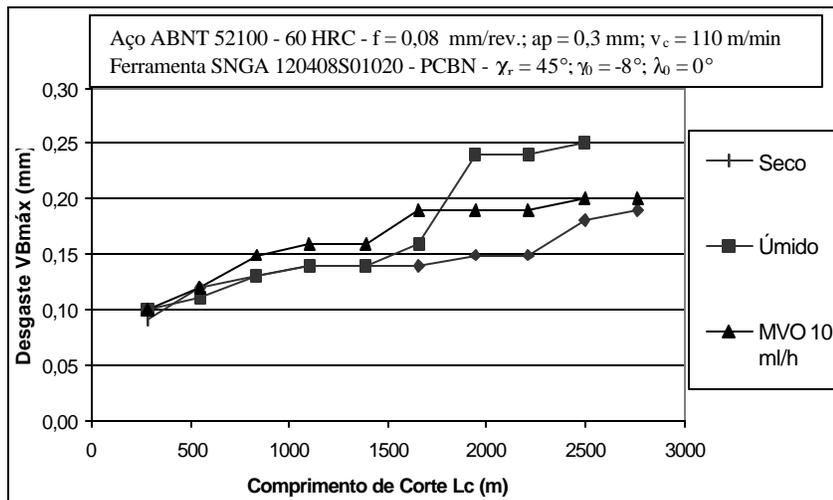


Figura 2 – Evolução do desgaste de flanco para as condições ensaiadas com $v_c = 110$ m/min.

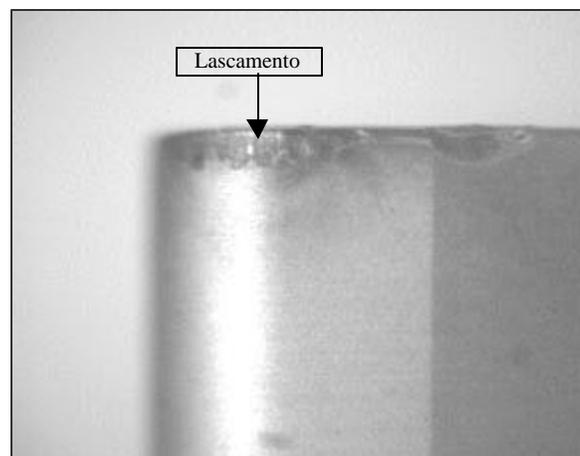


Figura 3 – Detalhe do lascamento do inserto de PCBN na condição úmida, $v_c = 110$ m/min, $L_c = 1941$ m.

A Fig. 4 mostra a evolução da rugosidade para as três condições ensaiadas, a uma velocidade de corte constante de 150 m/min. A condição úmida apresentou alta rugosidade logo no início do ensaio, ultrapassando o critério de fim de ensaio a um comprimento de corte de 825 m, tendo sido, então, encerrado. A condição a seco proporcionou uma rugosidade menor e um evolução mais lenta desta. Das três condições ensaiadas, a condição a seco apresentou os menores valores de rugosidade até o comprimento de corte de 1388 m, mas a partir deste ponto, a rugosidade ultrapassou abruptamente o limite de 0,75 μm , embora nenhuma avaria ou desgaste excessivo tenha sido observado na aresta de corte. Isto porque a rugosidade não apresenta correlação direta com o desgaste de flanco, pois ela está intimamente ligada à forma da ponta da ferramenta no instante do corte, e é dependente das condições dinâmicas da máquina.

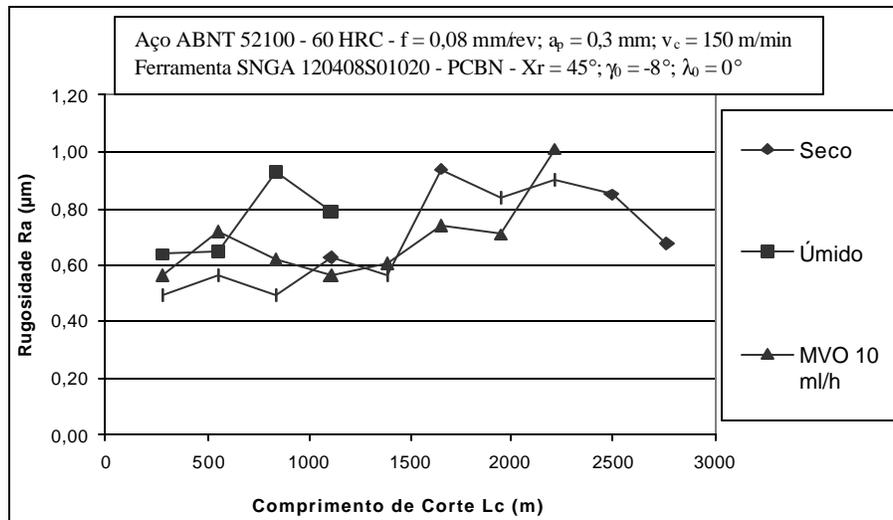


Figura 4 – Evolução da rugosidade para as três condições ensaiadas, para $v_c = 150 \text{ m/min}$.

Na velocidade de corte de 175 m/min foram ensaiadas as condições a seco e com MVO e a Fig. 5 mostra a evolução dos desgastes medidos nestes ensaios. A condição úmida não foi ensaiada pois, em todos os ensaios anteriores, apresentou os piores resultados. Observa-se que as duas condições apresentam comportamentos semelhantes, sendo que a condição de MVO apresenta desgaste superior ao da condição a seco, possivelmente devido ao efeito de resfriamento do cavaco pelo ar comprimido, fazendo com que ele mantivesse sua dureza elevada. Observou-se durante os ensaios a ocorrência de desgaste de cratera na condição MVO com $v_c = 175 \text{ m/min}$, fato que não aconteceu com nenhuma outra condição. Este desgaste foi verificado a partir de um comprimento de corte $L_c = 2542\text{m}$, em função da elevada velocidade de corte e provavelmente pelo baixo poder de lubrificação do MVO na interface cavaco/ferramenta.

A Fig. 6 mostra a evolução da rugosidade para $v_c = 175 \text{ m/min}$, para as duas condições ensaiadas. Observa-se que as duas condições apresentam desempenhos muito semelhantes, e a rugosidade mantém-se na faixa de 0,45 a 0,65 μm na condição a seco. A condição com MVO mostrou uma redução da rugosidade com o aumento do comprimento de corte, embora esta rugosidade tenha se situado numa faixa superior à da condição a seco, até o comprimento de corte de 2494 m. O aumento da velocidade de corte atuou no sentido de favorecer a obtenção de rugosidades menores, uma vez que o aumento da temperatura de corte facilita a ação da ponta da ferramenta, deformando mais facilmente o cavaco, no sentido de imprimir na peça o raio de ponta do inserto de PCBN. Observa-se ainda que na condição com MVO, a rugosidade já começou muito alta, próxima do limite de fim de ensaio. No entanto, a rugosidade diminui

com o comprimento de corte, possivelmente devido ao desgaste de cratera, que altera a geometria da ferramenta, deixando-a mais positiva, reduzindo os esforços de corte e, conseqüentemente, a resposta dinâmica da máquina ferramenta.

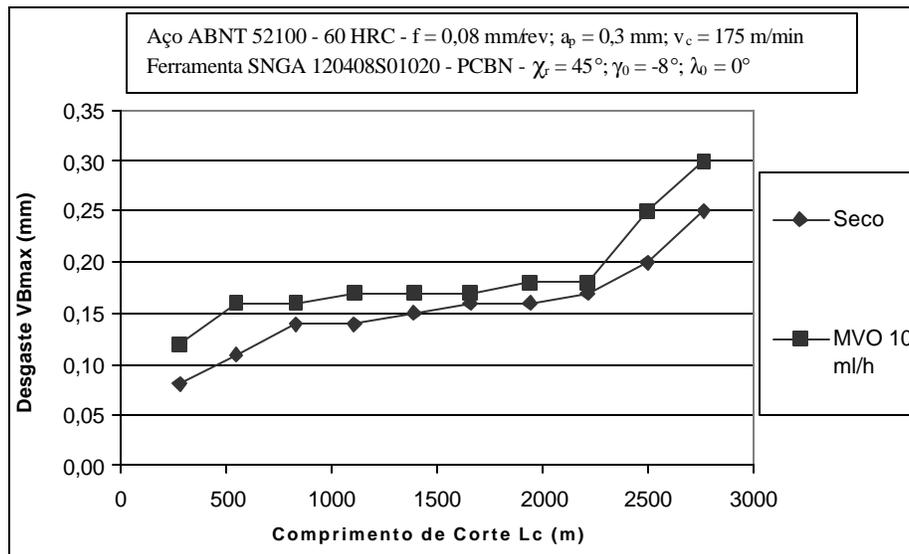


Figura 5 – Evolução do desgaste para as condições a seco e MVO, para $v_c = 175$ m/min.

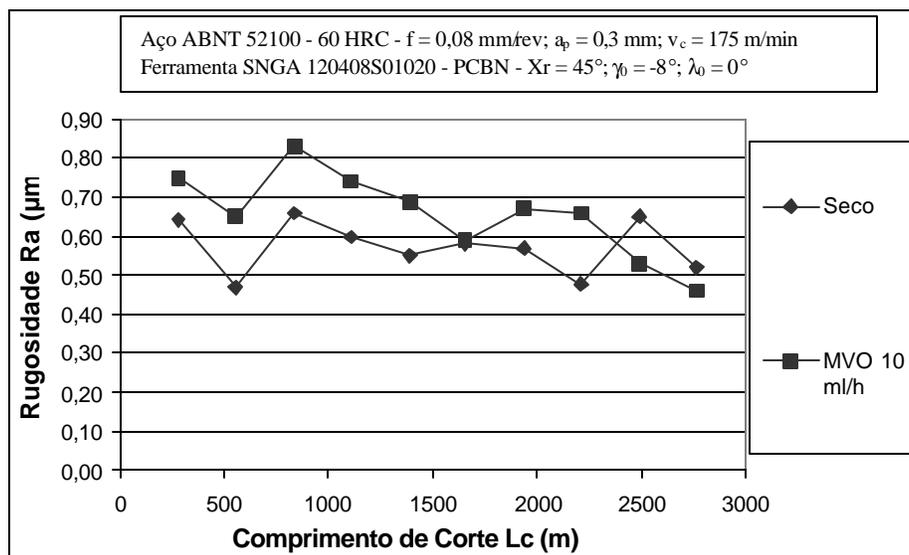


Figura 6 – Evolução da rugosidade para as condições a seco e MVO, para $v_c = 175$ m/min.

A Fig. 7 mostra a vida da ferramenta de PCBN, em termos de comprimento de corte Lc (em metros) para as três condições ensaiadas, referente ao critério de fim de ensaio $Ra = 0,75$ μm . Observa-se na figura que a condição úmida apresentou o pior resultado em termos de rugosidade Ra, com uma vida muito curta, para todas as velocidades de corte ensaiadas. A condição a seco apresentou um comportamento sempre superior ao da condição com MVO, exceto para condição com velocidade de corte de 150 m/min. Para esta velocidade de corte, a vida da ferramenta de PCBN para a condição com MVO, foi cerca de 29% superior à da condição a seco. Deve-se ressaltar que na condição a seco, para a velocidade de corte de 175

m/min, em nenhum momento dos ensaios a rugosidade atingiu o valor de $0,75 \mu\text{m}$. Este fato indica que a alta temperatura na região de corte favorece a obtenção de rugosidades menores, pois facilita a ação da ponta da ferramenta, no sentido de imprimir na peça o raio do inserto de PCBN. A maior vida para a condição a seco ocorreu para a velocidade de corte de 175 m/min , ao passo que, para a condição com MVO, a maior vida ocorreu para a velocidade de 150 m/min , sendo inclusive maior que a vida da ferramenta na condição a seco, para esta velocidade de corte.

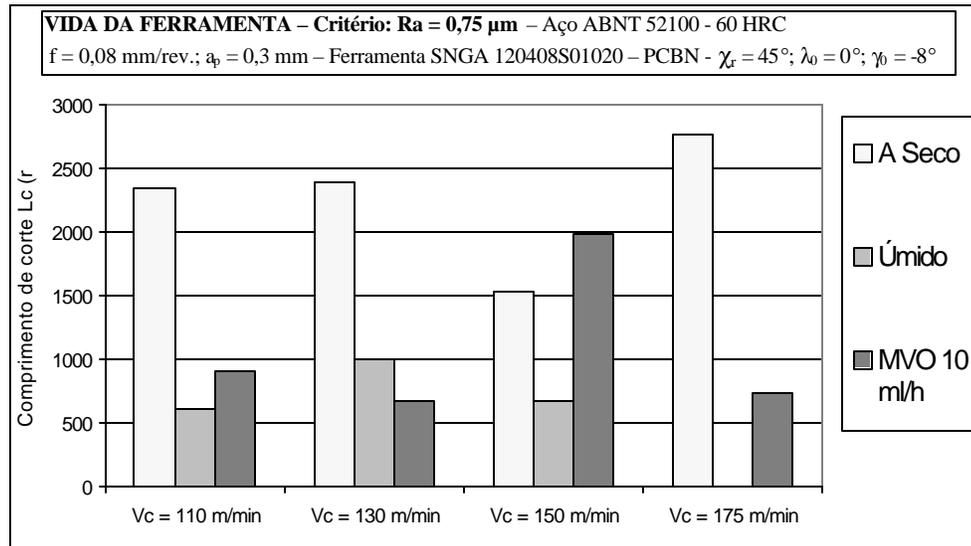


Figura 7 – Vida da ferramenta de PCBN para o critério $R_a = 0,75 \mu\text{m}$.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados dos experimentos realizados pode-se concluir que:

- A condição de corte a seco apresentou o melhor desempenho no torneamento do aço ABNT 52100 endurecido, referente à maior vida da ferramenta de PCBN;
- A ferramenta de PCBN apresentou um desgaste típico de flanco nas velocidades de corte de 110 , 130 e 150 mm/min e desgaste de cratera na velocidade de corte de 175 m/min na condição MVO;
- A condição de refrigeração abundante determinou um maior desgaste da ferramenta de PCBN e maior rugosidade da peça;
- A condição com MVO vazão de 10 ml/h apresentou um desgaste intermediário entre as condições de corte a seco e úmida, em função do superior poder de refrigeração em relação à lubrificação da névoa ar/óleo;
- A velocidade de corte teve maior influência no desgaste da ferramenta, no corte com refrigeração abundante, pois nas outras condições ela atuou no sentido de amolecer o material;
- O aumento da velocidade de corte favorece a obtenção de rugosidades menores, em função do alto calor gerado no corte, que facilita a ação da forma da ponta da ferramenta.

REFERÊNCIAS

- Abrão, A. M., Aspinwall, D. K., Wise, L. H., 1996, A vida de ferramentas e a integridade das peças no torneamento de aços temperados, Máquinas e Metais, pp. 200-217.
- Abrão, A. M. & Aspinwall, D. K., 1999, Tool Wear of Polycrystalline Cubic Boron Nitride and Ceramic Materials when Hard Turning Bearing Steel, Journal of the Braz. Soc. Mechanical Sciences, vol. XXI, no. 1, pp. 1-9.
- Braga, D. U., Diniz, A. E., Miranda, G., Coppini, N. L., 1999, Performance do processo de furação de liga de alumínio-silício utilizando a técnica de mínima lubrificação por névoa, XV COBEM, Águas de Lindóia, São Paulo. Anais em CD-Rom, código AAAEIA.
- Costa, D. D., 1993, Análise dos parâmetros de torneamento de aços endurecidos, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, 110p.
- Heisel, U. & Lutz, M. 1998, Pesquisa de fluido de refrigeração e de lubrificação, Máquinas e Metais, pp. 40-49.
- Heisel, U. Lutz, M. Spath, D., Wassmer R., Walter, U., 1999, A técnica da quantidade mínima de fluidos e sua aplicação nos processos de corte, Máquinas e Metais, pp. 22-38.
- Klocke, F., König, W., Koch, K. F., Schroeter, R. B., 1995, Torneamento de precisão: uma opção para o acabamento de peças de aço temperado, Máquinas e Metais, pp. 56-67.
- Matsumoto, H., 1998, Uma Contribuição ao Estudo do Processo de Torneamento de Aços Endurecidos, Tese de Doutorado, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, 148 p.
- Nakayama, K, Arai, M., Kanda, T., 1988, Machining characteristics of hard materials, Annals of the CIRP, vol. 37/1, pp. 89-92.
- Novaski, O. & Dörr, J. (a), 1999, Usinagem sem refrigeração, Máquinas e Metais, pp. 18-27.
- Novaski, O. & Dörr, J. (b), 1999, Usinagem quase a seco, Máquinas e Metais, pp. 34-41.
- Tönshoff, H. K., Wbker, H. G., Brandt, D. 1995, Hard turning – influences on the workpiece properties, Transactions of NAMRI SME, V. XXIII, pp. 220-251.

INFLUENCE OF REFRIGERATION ON THE HARDENED ABNT 52100 STEEL TURNING

Abstract. *Nowadays, the use of cutting fluid in the machining process has been questioned, mainly due to the ecological subjects and the law demands related to the preservation of the environment. Moreover, this fluids represents costs that raise the price of the manufactured products. The Minimum Oil Volume Technique (MOV) has been showed that is a interesting technique in some machining operations. The minimum oil volume can decrease the tool wear and improve the workpiece surface roughness, when compared to the dry cutting. In this work, the influence of MOV technique in the PCBN tool wear in the hardened ABNT 52100 steel turning was studied. Two others machining conditions were carried out: dry cutting and abundant cutting fluid. During the testes PCBN tool wear and the workpiece surface roughness were measured. The experimental results showed that the dry cutting condition presented a larger tool life, whereas the abundant cutting fluid presented the worst results. The MOV technique presented the larger tool life in the $v_c = 150$ m/min condition.*

Keywords: Turning, Hardened steel, PCBN tools, Minimum lubrication