

DESGASTE EM FERRAMENTAS DE AÇO-RÁPIDO NA USINAGEM DE MATERIAL ENDURECIDO¹

Rodrigo Panosso Zeilmann²

Alfredo Tomé³

Diego Carlos Calza⁴

Fernando Moreira Bordin⁵

Resumo

Para a caracterização da usinabilidade de um material, a vida da ferramenta de corte é normalmente o critério de maior importância. A vida é o tempo que uma ferramenta resiste do início ao final do corte, relacionada a um determinado critério de fim de vida, geralmente ligado ao desgaste da ferramenta. Os desgastes em ferramentas de corte sempre foram motivos de estudo, devido à necessidade de parada do processo para troca de ferramentas, significando custos adicionais e redução da produtividade. O objetivo deste trabalho é compreender melhor os mecanismos de desgaste para diferentes condições de aplicação de fluidos de corte, apresentando um estudo dos mecanismos e tipos de desgaste gerados em fresas de aço-rápido (HSS) do tipo M2, revestidas, quando na usinagem do aço endurecido AISI P20. As fresas foram ensaiadas com diferentes condições de aplicação de fluido de corte. No ensaio foi considerado como critério de fim de vida, o desgaste de flanco máximo $VB_{\max} = 0,60$ mm ou a formação de lascamentos nos gumes, sendo o que ocorresse primeiro. O ensaio foi realizado em corte concordante com ferramenta de topo reto. Os ensaios com ausência de fluido de corte apresentaram as maiores vidas de ferramenta. Isto está associado a maior solicitação térmica na peça que nesta condição específica, facilita o cisalhamento e, conseqüentemente, reduz o desgaste da ferramenta. Os principais mecanismos de desgaste apresentados foram de adesão e de abrasão. Os tipos de desgaste apresentados foram o desgaste de flanco e micro-lascamentos decorrentes dos impactos do corte interrompido.

Palavras-chave: Fresamento; Mecanismos e tipos de desgaste; Qualidade superficial.

WEAR IN HIGH-SPEED STEEL TOOLS IN MACHINING OF HARDENED MATERIAL

Abstract

For the characterization of the machinability of a material, the cutting tool life is typically the most important criterion. Tool life is the time it resists from the start until the final cut, based on a specific criterion for end of life, usually connected to the wear of the tool. The wear on cutting tools has always been reasons for studies, because of the need to stop the process to exchange tools, meaning additional costs and reduced productivity. The purpose of this work is to better understand the mechanisms of tool wear for different conditions of application of cutting fluids, presenting the mechanisms and types of wear generated in high-speed steel end mills (HSS) type M2, coated, in the machining of hardened AISI P20 steel. The tools were tested with different conditions of application of cutting fluid. The criterion for end of tool life was the maximum flank wear $VB_{\max} = 0.60$ mm or the formation of chippings on the cutting edges, whichever comes first. The test was carried out in down end milling process. Dry cutting showed the highest tool life. This is associated with the greater thermal input in the workpiece that in this particular condition makes it easier to shear and therefore reduces the wear of the tool. The main mechanisms of wear presented were adhesion and abrasion. The types of wear have been the flank wear and micro-chippings resulted from the impacts promoted by the interrupted cuttings.

Key-words: Milling; Mechanisms and types of wear; Surface quality.

¹ Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Prof. Dr. Eng. Mec. do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: rzeilma@ucs.br. Coordenador do Grupo de Pesquisa Grupo de Usinagem

³ Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: aftome@hotmail.com. Vinculado ao Grupo de Pesquisa "Grupo de Usinagem"

⁴ Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: dccalza@ucs.br. Vinculado ao Grupo de Pesquisa "Grupo de Usinagem"

⁵ Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: fernbordin@hotmail.com. Vinculado ao Grupo de Pesquisa "Grupo de Usinagem"

1 INTRODUÇÃO

Fresar é um processo de remoção de cavaco com um movimento e corte circular da ferramenta com um ou vários gumes para a geração de superfícies. Caracteriza-se por um corte interrompido, onde o gume da ferramenta não mantém contato constante com o material removido. O movimento de corte transcorre de forma normal ou oblíqua à direção de rotação da ferramenta. Caso a superfície da peça seja gerada pelo topo da ferramenta, pelo gume secundário, então se designa processo de fresamento frontal. De acordo com o sentido de rotação da ferramenta e avanço da peça, distingue-se ainda entre o fresamento concordante e o fresamento discordante. No fresamento discordante o avanço e o movimento de corte têm sentidos contrários, enquanto que no fresamento concordante eles apresentam o mesmo sentido.⁽¹⁾

O primeiro aço-rápido foi desenvolvido por Taylor e White, na virada do século XIX para o século XX. Estes aços receberam o nome de aço-rápido, pois com o seu uso como material de ferramenta, as velocidades de corte puderam ser aumentadas em uma ordem de grandeza em relação às ferramentas de aço carbono comum. Hoje, com o advento dos materiais de ferramentas da chamada terceira geração, o aço-rápido já não teria mais muito sentido. A prática, no entanto, vem contrariando aqueles que consideram os aços-rápidos ultrapassados.⁽²⁾ O baixo custo aliado a algumas importantes qualidades deste grupo de materiais vem garantindo um grande espaço no meio de vários outros grupos com melhores propriedades.

Já a usinagem de aços endurecidos é um tema de grande interesse para a produção industrial e a pesquisa científica na área de processos de manufatura. Peças constituídas por aço endurecido são geralmente componentes de alto desempenho e freqüentemente utilizadas sob cargas de trabalho elevadas.⁽³⁾

Os problemas de desgaste em ferramentas de corte sempre foram motivos de preocupação, devido ao controle dimensional e à necessidade de parada no processo para troca de ferramentas, significando custos adicionais e perda de produtividade. O desgaste é definido como a destruição de uma ou de ambas as superfícies que compõem um sistema tribológico, geralmente envolvendo perda progressiva de material.⁽⁴⁾ A taxa de desgaste depende do material e da forma da ferramenta de corte, do tipo de fluido lubri-refrigerante utilizado e do seu método de aplicação, além dos parâmetros de corte, como velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, e das características da máquina-ferramenta utilizada.⁽⁵⁾

Outro tema de grande interesse na manufatura é a aplicação ou não dos fluidos lubri-refrigerantes, que possuem grande influência, tanto na qualidade superficial, quanto sobre a vida da ferramenta de corte. Na usinagem, os fluidos de corte apresentam funções primárias, tais como, refrigeração, lubrificação e transporte de cavaco. No entanto, em algumas condições de aplicação, podem aumentar expressivamente o desgaste das ferramentas de corte, além de causarem danos aos operadores e ao meio ambiente.⁽⁶⁾ Não obstante, há uma tendência mundial pela redução e/ou eliminação da aplicação dos fluidos na usinagem. Porém, em muitos casos a refrigeração ainda é essencial para se obter vidas econômicas de ferramentas e qualidades superficiais requeridas.^(7,8)

O desenvolvimento dos revestimentos permitiu a utilização das ferramentas em situações severas de corte, pois, aplicados de forma correta, aumentam a dureza superficial da ferramenta, e sob condições de elevada temperatura, minimizam o efeito do desgaste abrasivo pela redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e a peça.⁽⁹⁾ O desgaste da ferramenta tem grande influência na

qualidade superficial das peças usinadas.⁽¹⁰⁾ Assim pode-se dizer que tanto os efeitos térmicos quanto os efeitos mecânicos são responsáveis pelas alterações nas características da superfície.⁽¹¹⁾

O objetivo principal deste trabalho é estudar e analisar os mecanismos e tipos de desgaste apresentados na usinagem com fresas de aço-rápido revestidas, utilizando diferentes tipos de lubri-refrigeração e também quantificar a qualidade superficial do material usinado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de fresamento foi realizado em um Centro de Usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500, com rotação no eixo árvore de 6500 rpm e potência de 7,5 kW. Foram realizados ensaios experimentais de fresamento de topo reto, sendo utilizado corte concordante e linear, com três diferentes condições de aplicação de fluido de corte, sendo elas: a seco, com Mínimas Quantidades de Fluido (MQF) e com emulsão. Para o ensaio com emulsão foi utilizado um fluido a base de óleo vegetal, a uma concentração 10% de óleo, e para o ensaio de MQF foi utilizado um óleo a base de éster sintético, com uma pressão de aplicação de 5 bar. A tabela 1 mostra os parâmetros de corte aplicados aos ensaios experimentais.

Tabela 1. Parâmetros de corte aplicados no ensaio

Condição de aplicação de fluido de corte	Velocidade de corte v_c [m/min]	Profundidade de corte a_p [mm]	Incremento lateral a_e [mm]	Avanço por gume f_z [mm]
Seco, MQF e Emulsão	30	0,4	$1/3 \times d = 2$	0,1

Fonte: Grupo de Usinagem.

Para o desenvolvimento dos ensaios foram utilizadas fresas de aço-rápido HSS M2 (DIN 844), de 6 mm de diâmetro com aplicação do revestimento de Nitreto de Titânio (TiN), conforme Figura 1.



Figura 1. Ferramenta utilizada nos ensaios.

A relação de fixação da ferramenta (l/d) foi de 3,5. O corpo-de-prova de aço AISI P20, com dureza entre 36 a 38 HR_C, foi fixado a zero grau em relação à mesa do Centro de Usinagem.

Com base em pré-testes e de acordo com o critério de usinabilidade das ferramentas, definiram-se os critérios de fim de vida para as mesmas. O critério de fim de vida foram $VB_{máx} = 0,60$ mm ou formação de lascamentos, sendo determinante o que se apresentar primeiro. A análise do desgaste das ferramentas foi realizada com um estereoscópio trinocular de medição universal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos dos ensaios, foram realizados os cálculos de volume usinado, desgaste da ferramenta e tempos de usinagem.

Para a condição de ensaio sem fluido de corte (seco), a ferramenta obteve um maior volume usinado que as demais condições, aplicação de MQF e a condição com aplicação de fluido de corte em abundância (emulsão), como mostra a Figura 2.

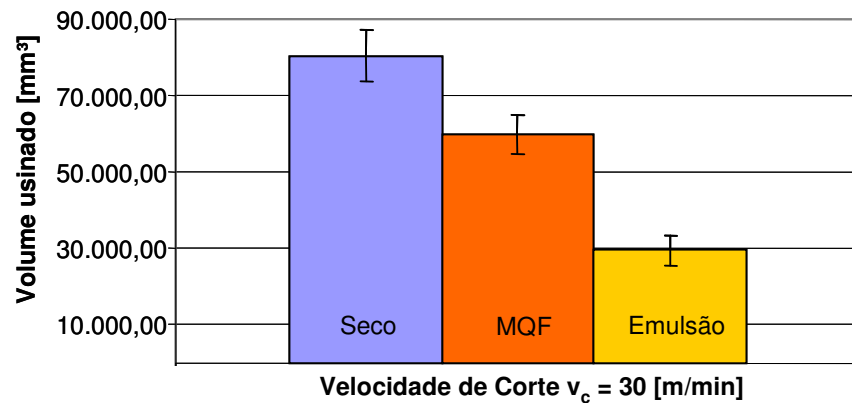


Figura 2. Volume usinado para as três condições de aplicação de fluido: seco, MQF e emulsão.

O gráfico do comportamento do desgaste ao longo do tempo tipicamente encontrado para a ferramenta usinada na condição a seco está representado na Figura 3.

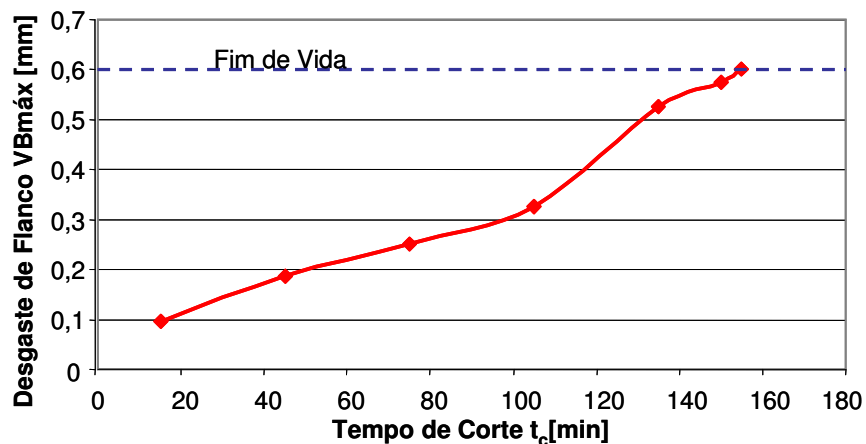


Figura 3. Comportamento típico do desgaste ao longo do tempo para a ferramenta usinando na condição a seco.

O gráfico do comportamento do desgaste ao longo do tempo tipicamente encontrado para a ferramenta usinada na condição com utilização de MQF está representado na Figura 4.

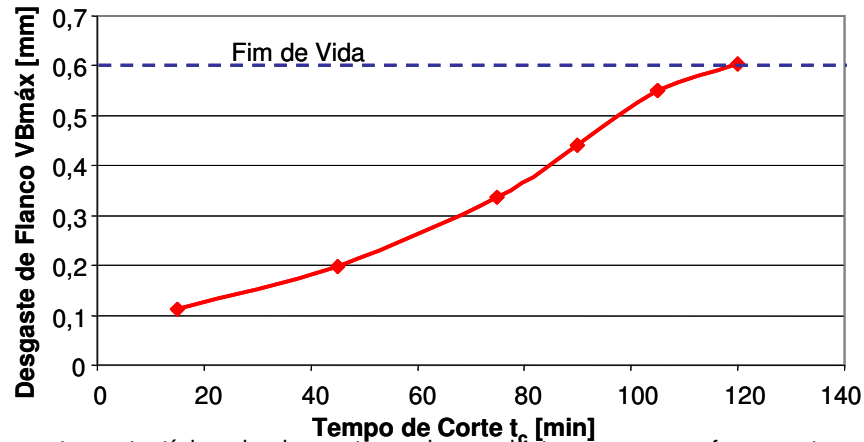


Figura 4. Comportamento típico do desgaste ao longo do tempo para a ferramenta usinando na condição com utilização de MQF.

O gráfico do comportamento do desgaste ao longo do tempo tipicamente encontrado para a ferramenta usinada na condição com utilização de emulsão está representado na Figura 5.

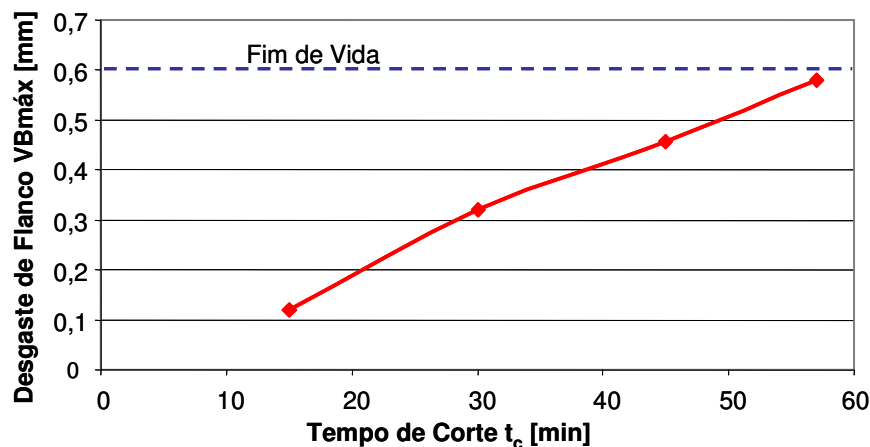


Figura 5. Comportamento típico do desgaste ao longo do tempo para a ferramenta usinando na condição com utilização de emulsão.

Com o critério de fim de vida $VB_{máx} = 0,60$ mm a ferramenta que usinou sem fluido de corte apresentou um comportamento de desgaste menos acentuado se comparado à ferramenta com utilização de MQF e emulsão. A ferramenta que trabalhou sem fluido de corte usinou aproximadamente 155 min antes de chegar ao critério de fim de vida, enquanto as ferramentas com MQF e emulsão tiveram um tempo de corte de, respectivamente, 120 min e 58 min. A condição com emulsão apresentou uma vida útil duas vezes menor que as demais condições, devido à dificuldade de cisalhamento ocasionada pela refrigeração do material.

Comparando as Figuras 3, 4 e 5 observa-se que para as ferramentas a seco e com utilização de MQF, o desgaste iniciou-se em 0,10 mm subindo suavemente, indiciando um comportamento típico e estável. Já para a ferramenta na condição com emulsão, o desgaste iniciou-se em 0,10 mm e rapidamente atingiu o critério de fim de vida pré-definido.

A utilização ou não de fluídos lubri-refrigerantes teve um grande impacto nos resultados obtidos, visto que os melhores resultados foram sem a utilização de fluído, seguido da condição com MQF e após a emulsão.

Com o apoio do microscópio foi possível avaliar os desgastes nas ferramentas, possibilitando assim concluir sobre a presença principalmente dos mecanismos de adesão e abrasão, e tipo desgaste de flanco e micro-lascamentos.

A Figura 6 mostra fotografias com detalhes do flanco principal, e os desgastes apresentados após a usinagem.

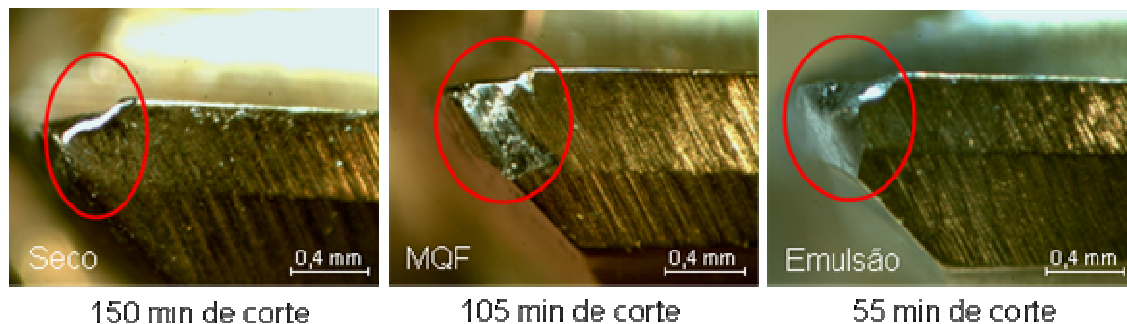


Figura 6. Fotografia com detalhe do flanco principal.

Com o decorrer dos ensaios, o desgaste de flanco das fresas foi aumentando, o que dificultava o corte do material. Devido a esse elevado desgaste, a fresa perde suas características geométricas iniciais, gerando assim um maior atrito e conseqüentemente o efeito de amassamento e caldeamento do material sobre a superfície usinada. Este efeito pôde ser comprovado pela diminuição da rugosidade. A Tabela 2 apresenta os valores de rugosidade para ferramentas novas e em fim de vida para as três condições de usinagem.

Tabela 2. Valores de rugosidade medidos para as ferramentas em estado novo e em fim de vida

	Seco		MQF		Emulsão	
	Nova	Fim de Vida	Nova	Fim de Vida	Nova	Fim de Vida
Ra [μm]	2,88	2,26	2,95	1,29	3,44	3,09
Rz [μm]	12,4	11,2	17,6	8,9	17,8	16,8
Ry [μm]	14,0	17,7	18,0	12,2	19,3	28,3

Os maiores valores de rugosidade com ferramentas novas foram obtidos para a condição de emulsão, devido a maior severidade de corte encontrada e pela condição de gume novo, seguido pela condição com MQF e por ultimo a condição a seco que, devido a maior facilidade de cisalhamento do material decorrente da alta temperatura, obteve os menores valores de rugosidade.

Para as ferramentas em fim de vida, a rugosidade também foi mais acentuada para a condição com emulsão, devido a severidade e dificuldade do corte ocasionada pela refrigeração do fluído. Para esta condição, com MQF foram medidos os menores valores de rugosidade, devido ao aumento do poder micro-lubrificante, através da redução do atrito na interface peça-ferramenta.⁽¹²⁾

4 CONCLUSÃO

Nos ensaios aqui decorridos, o fluido de corte exerceu influência significativa sobre a vida da ferramenta.

A ferramenta usinando na condição a seco apresentou o melhor resultado de vida, devido a facilitação do cisalhamento do material pelo aumento da temperatura durante o corte.

A ferramenta usinando na condição de emulsão apresentou o pior resultado de vida da ferramenta, devido a dificuldade de corte do material melhor refrigerado, conseqüentemente com maior resistência mecânica.

Foram observados principalmente mecanismos de abrasão e adesão, sendo o desgaste de flanco e micro-lascamentos predominantes.

Verificou-se a aderência de material sobre o gume e sobre a ponta das ferramentas.

As melhores medições de rugosidade foram para as ferramentas em fim de vida nas três condições de aplicação de fluido. Isso mostra que com o aumento do desgaste, a ferramenta perde suas qualidades de corte e amassa o material na superfície.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, as empresas colaboradoras: Blasé Swisslube do Brasil, Tapmatic do Brasil; e à Universidade de Caxias do Sul (UCS) pela colaboração dada ao projeto *UsiMold II* do Grupo de Usinagem (GUS).

REFERÊNCIAS

- 1 KÖNIG, W., KLOCKE, F. *Fertigungsverfahren - Drehen, Fräsen, Bohren. Springer-Verlog. 7ª Edição. Berlin, 2002.*
- 2 REIS, A. M., VIOLATTI, D. C., JÚNIOR, W. S., JÚNIOR, A. M. S., DA SILVA, M. B. Avaliação do desempenho de ferramentas de aço-rápido no rosqueamento interno do ferro fundido cinzento GH-190. 2º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Uberlândia, 2003.
- 3 TÖNSHOFF, H. K., ARENDT, C., BEN AMOR, R. Cutting of Hardened Steel. CIRP Annals - Manufacturing Technology. Vol. 49, issue 2, p. 547-566, 2000.
- 4 HUTCHINGS, I. M. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. 2th ed. CRC Press, Inc. Boca Raton, 1992.*
- 5 KALPAKJIAN, S., SCHMID, S. R. *Manufacturing Engineering and Technology. 4th ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 2001.*
- 6 ZEILMANN, R. P. Furação da liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2003.
- 7 BELEJCHAK, P. Machining stainless steel. *Advancer Materials & Processes*, no 12, p. 23-25, 1997.
- 8 BRAGA, D. U., DINIZ, A. E., MIRANDA, G. W. A., COPPINI, N. L. Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 122, p. 127-138, 2002.
- 9 GU, J.; BARBER, G., TUNG, S., GU, R. Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts. *Wear*, p. 273-284, 1999.
- 10 ZEILMANN, R. P., OLIVEIRA, J. M., CALZA, D. C., XAVIER, E. B. Integridade de peças usinadas pelo processo de furação. *Revista Máquinas e Metais*, Ano XLIV, n. 503, p. 28-38, dez. 2007.

- 11 HIOKI, D. Influência dos parâmetros de corte do fresamento HSM sobre o desempenho tribológico do aço AISI H13 endurecido. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2006.
- 12 SILVA, L. R., BIANCHI, E. C., CATAI, R. E., FUSSE, R. Y., FRANÇA, T. V., AGUIAR, P. R., BEZERRA, A. A., COELHO, R. T., SANTOS, S. C., SALES, W. F.. Aplicação da técnica de mínima quantidade de lubrificante - MQL nos processos de usinagem. In: 3^o COBEF - Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2005, Joinville - SC. 3^o COBEF, 2005. p. 1-10.