

ESTUDO DO DESGASTE E DA INTEGRIDADE NA USINAGEM DO AÇO AISI P20¹

Rodrigo P. Zeilmann²

Diego C. Calza³

Alfredo Tomé³

Marcus V. R. Braghini³

Resumo

O processo de fresamento é bastante empregado nas empresas fabricantes de moldes e matrizes. Na usinagem das cavidades, a qualidade da superfície é um dos principais fatores a serem considerados. No entanto, abaixo da superfície encontra-se a sub-superfície, que pode ter grande influência na vida útil dos mesmos. O estado das ferramentas de corte no processo de usinagem influencia diretamente na formação da superfície e, conseqüentemente, da sub-superfície do material. O ensaio foi realizado com fresas de aço-rápido HSS M2, com diâmetro de 6 mm. O revestimento utilizado foi o nitreto de titânio (TiN). Os ensaios foram realizados em dois tipos de corpos-de-prova, sendo que um deles foi utilizado especificamente para a análise da integridade. As condições de usinagem foram à seco e com Mínimas Quantidades de Fluido lubrificante (MQF). O parâmetro de corte variado foi a velocidade de corte, onde foram utilizadas duas diferentes condições. Os principais mecanismos de desgaste encontrados nestes ensaios foram a abrasão e a adesão, os quais dependem dos parâmetros de corte selecionados e das condições de usinagem impostas. Os resultados da integridade da superfície do material, onde foi avaliado para fresas em estado novo e em fim de vida, apresentaram diferenças significativas, onde o principal fator influente constatado foi o estado em que as ferramentas se encontravam. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é um estudo do desgaste da ferramenta e da integridade sub-superficial do material usinado, ocorrido após o processo de fresamento do aço AISI P20.

Palavras-chave: Fresamento; Integridade; Desgaste.

STUDY OF TOOL WEAR AND INTEGRITY IN THE MACHINING OF AISI P20 STEEL

Abstract

The milling process is quite employed in companies and manufacturers of molds and dies. In the machining of molds and dies, the quality of the surface is the main factor to be considered, but under the surface is the sub-surface, which has great influence on the life of the mechanical components. The state of the cutting tools in the process of machining directly influences in the formation of the surface and thus the sub-surface of the material. The test was conducted with high-speed-steel mills M2 with diameter of 6 mm. The coating used for the tools was TiN. The machining was performed on two work-pieces, and that one of them it was used for the analysis of integrity. The conditions were dry machining and Minimal Quantity of Lubricant (MQL). The cut parameter varied was the cutting speed, which were used two different conditions. The main mechanisms found of wear were abrasion and adhesion, which depends on the cut parameters selected and the imposed conditions of machining. The results of the integrity of the surface of the material, which was assessed for mills in new and end state of life, showed significant differences, where the main influential factor noted was the state in which the tools were. Therefore, the objective of this work is a study of the wear and the sub-surface integrity of the machined workpiece, which occurred after the milling process of AISI P20 steel.

Key words: Milling; Integrity; Wear.

¹ *Contribuição técnica ao 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 20 a 22 de agosto de 2008, São Paulo, SP*

² *Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade de Caxias do Sul (UCS).*

³ *Bolsista do Departamento de Engenharia Mecânica, CCET, UCS.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de fresamento, e mais especificamente o fresamento de topo, possui uma ampla área de aplicação na indústria metal-mecânica. As fresas de topo são utilizadas para facear, ranhurar, executar cavidades, rebaixos, matrizes, gravações, rasgos de todos os tipos e tamanhos, além de contornos, entre outros. São características do processo de fresamento em geral.⁽¹⁾

O fresamento caracteriza-se por ser um corte interrompido, ou seja, durante a usinagem a ferramenta de corte passa por períodos ativos, quando trabalha removendo material da peça na forma de cavacos, e por períodos inativos, quando não existe o contato da ferramenta com a peça usinada. A característica interrompida do fresamento submete a ferramenta de corte a flutuações de cargas mecânicas e térmicas que promovem o aparecimento de uma série de desgastes e avarias.⁽²⁾

O fim de vida de uma ferramenta é determinado pelo grau de desgaste sofrido pela mesma durante o período de usinagem. Entende-se por desgaste, as alterações geométricas ocorridas na cunha de corte, decorrentes do trabalho de corte. Para realizar este trabalho a cunha de corte sofre elevadas solicitações térmicas e mecânicas, proporcionando a ação de diversos mecanismos de desgaste que atuam simultaneamente no sentido de degradar a ferramenta. Os mecanismos de desgaste atuantes na ferramenta dependem da forma de atuação da ferramenta durante a remoção de material, isto é, dependem basicamente das características da ferramenta, dos movimentos de corte e avanço, parâmetros de corte e condições de corte, entre outros aspectos.⁽³⁾

Os revestimentos empregados sobre ferramentas de corte surgiram no final da década de 60 como uma alternativa para melhorar a resistência ao desgaste, sem que isso implicasse na redução de sua tenacidade. A deposição de revestimentos tem como principal finalidade o aumento da vida das ferramentas. Outros efeitos positivos, conseqüentes por tais propriedades, tais como o aumento da velocidade de corte, redução das forças de usinagem e redução da tendência à adesão, podem também ser obtidos.⁽⁴⁾

Tradicionalmente, a topografia da superfície usinada tem sido aceita como critério que controla sua qualidade. Entretanto, a topografia é apenas parte da consideração. As alterações provocadas pela usinagem que ocorrem abaixo da superfície também possuem um papel fundamental sobre o desempenho funcional dos componentes usinados.⁽⁵⁾

Sendo assim, este trabalho visa uma análise do comportamento da vida de fresas de aço-rápido através do desgaste de flanco máximo ($VB_{máx}$) e da integridade da sub-superfície do material usinado, sob condição de aplicação de MQF e à seco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste ensaio experimental foram utilizadas fresas de aço-rápido HSS M2 (DIN 844), de topo reto, com 6 mm de diâmetro, revestidas com TiN (nitreto de titânio). Como condição de aplicação de fluido, o ensaio foi realizado à seco e com mínimas quantidades de fluido lubrificante (MQF). O fluido atomizado em mínimas quantidades foi um fluido com base sintética. Os parâmetros de corte utilizados foram extraídos de ensaios já realizados no Grupo de Usinagem e de dados recomendados por fabricantes das ferramentas (Tabela 1).

Tabela 1. Características da ferramenta e condições de corte utilizadas nos ensaios.

Diâmetro [mm]	Fluido	Revestimento	Velocidade de corte v_c [m/min]	Avanço por gume f_z [mm]	Profundidade axial a_p [mm]	Profundidade radial a_e [mm]	l/d
6	Seco e MQF	TiN	30	0,1	0,4	2	3,5
			90	0,1	0,4	2	3,5

Fonte: Grupo de Usinagem.

Nos ensaios foi realizado fresamento de topo, corte concordante e linear. O material usinado foi o aço AISI P20 temperado, com dureza entre 31 e 33 HRc. Dois corpos-de-prova foram preparados para o ensaio, na qual um deles foi utilizado especificamente para a análise da qualidade da sub-superfície. Os mesmos foram fixados a zero grau em relação à mesa do centro de usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500, como mostra a fotografia da Figura 1.



Fonte: Grupo de Usinagem.

Figura 1. Fotografia do ensaio em andamento, com detalhe dos dois diferentes corpos-de-prova utilizados para os ensaios de longa duração e de integridade.

A composição química do material empregado nos ensaios é mostrada na tabela 2.

Tabela 2. Composição química do aço AISI P20, segundo a norma ASTM, em %.

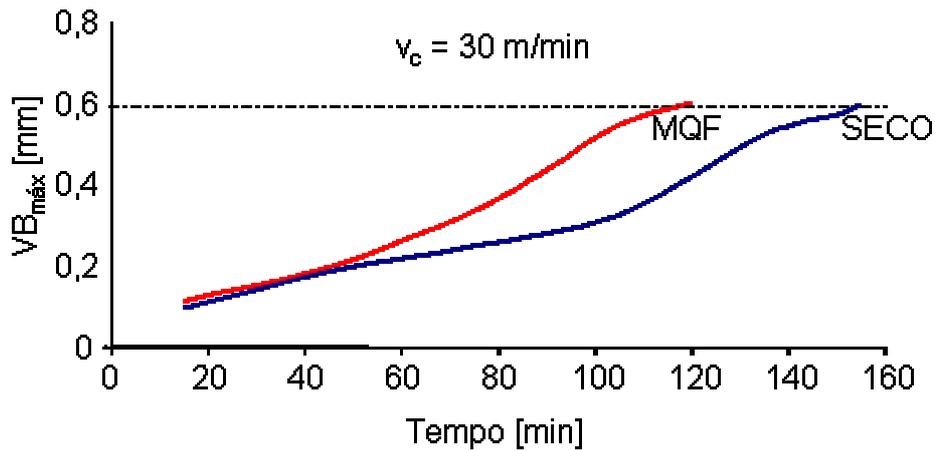
C	Mn	Si	Cr	Mo
0,28 – 0,40	0,60 – 1,00	0,20 – 0,80	1,40 – 2,00	0,30 – 0,55

Fonte: ASTM.

Para a análise da medição da profundidade das deformações plásticas do material foi utilizado um microscópio óptico Nikon, modelo Epiphot 200. A análise foi feita com as ferramentas em estado novo e em estado de fim de vida, ou seja, após atingirem o critério de fim de vida $VB_{m\acute{a}x} = 0,6$ mm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra os gráficos do comportamento do desgaste de flanco máximo ($VB_{m\acute{a}x}$) em relação ao tempo de usinagem, com e sem aplicação de fluido lubrificante (à seco), para a velocidade de corte de 30 m/min.

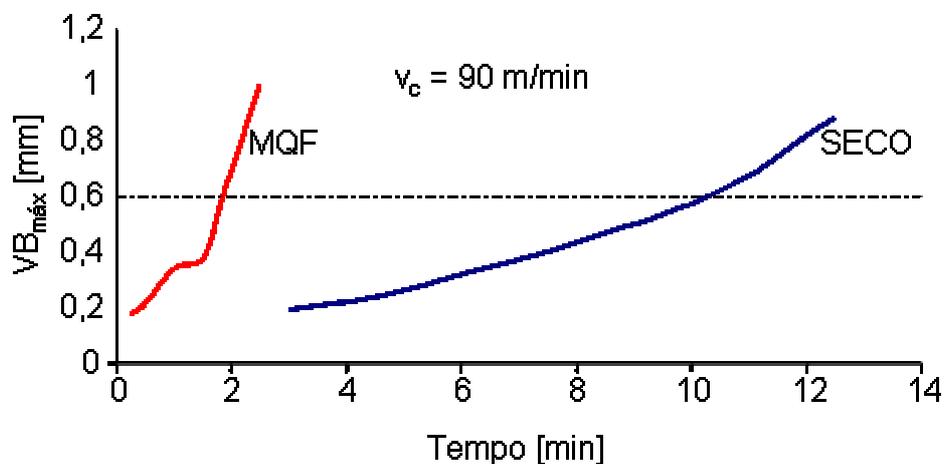


Fonte: Grupo de Usinagem.

Figura 2. Gráficos do comportamento do $VB_{máx}$ em relação ao tempo de usinagem para a velocidade de corte de 30 m/min, na condição à seco e com MQF.

Analisando os gráficos, percebe-se a diferença do comportamento de máximo desgaste de flanco, ao longo do tempo de corte, inclusive com vidas diferenciadas para o critério pré-definido de fim de vida, para as diferentes condições de aplicação de fluido lubrificante. Para a condição à seco, a vida média ficou em 155 minutos, até chegarem ao estado de fim de vida. Já para a condição com aplicação de MQF, as ferramentas usinaram em média 120 minutos.

A Figura 3 mostra os gráficos do comportamento do desgaste de flanco máximo em relação ao tempo de usinagem com e sem aplicação de fluido lubrificante (MQF) para a velocidade de corte de 90 m/min.



Fonte: Grupo de Usinagem.

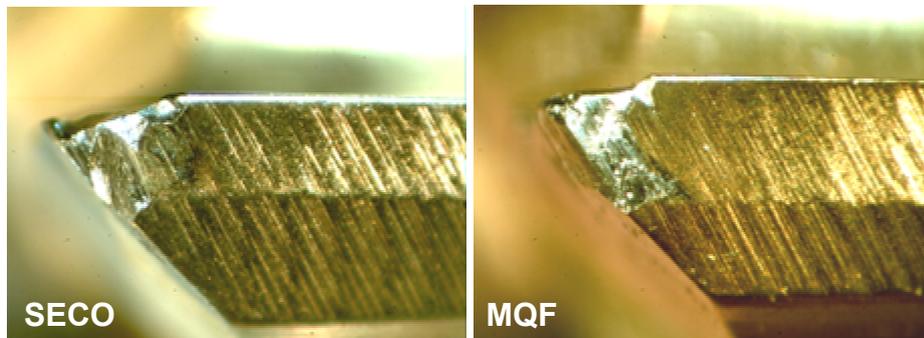
Figura 3. Gráficos do comportamento do $VB_{máx}$ em relação ao tempo de usinagem para a velocidade de corte de 90 m/min, na condição à seco e com MQF.

Para esta condição de 90 m/min, que é mais severa, novamente as ferramentas usinadas na condição à seco tiveram um rendimento médio maior, quando comparadas as ferramentas usinadas com MQF, na qual usinaram em média 2 minutos.

Para a condição com aplicação de MQF, normalmente é esperado que a ferramenta seja favorecida pela micro-lubrificação resultante da atomização do fluido próximo a ferramenta de corte. E, neste caso, para o fresamento, o corte interrompido facilita que o óleo atomizado atinja o gume e assim tenha um melhor efeito de micro-

lubrificação, mantendo a manutenção da temperatura e a resistência mecânica do material da peça (que é temperada). Isto resulta em uma maior dificuldade de corte e, conseqüentemente, um maior desgaste.

A Figura 4 mostra duas imagens de desgaste típico apresentado no flanco, para a usinagem com velocidade de corte de 30 m/min, com e sem a utilização de fluido de corte. No caso, as fotografias representam o gume da ferramenta em estado em fim de vida.



Fonte: Grupo de Usinagem.

Figura 4. Fotografias do desgaste de flanco máximo das ferramentas devido aos mecanismos de abrasão e adesão.

O flanco da ferramenta é o local onde há maiores solicitações térmicas e mecânicas devido ao processo de usinagem. Com o aumento do tempo de usinagem, o desgaste aumenta, gerando mais atrito entre a peça e a ferramenta. Com isso, a camada revestida tende a diminuir até perder completamente sua função. Assim, sem a presença do revestimento, maiores temperaturas são geradas, que influenciam diretamente no aumento do desgaste da ferramenta.

A análise sub-superficial de um material usinado é muito importante para a indústria de moldes e matrizes, pois estes são expostos a grandes esforços, podendo apresentar problemas posteriores, gerando elevados custos para as empresas. Por isso é importante que se conheça a integridade da peça, pois a usinagem gera deformações plásticas na sub-superfície do material podendo resultar em micro-trincas, lascamentos, e conseqüentemente, o desgaste da cavidade.

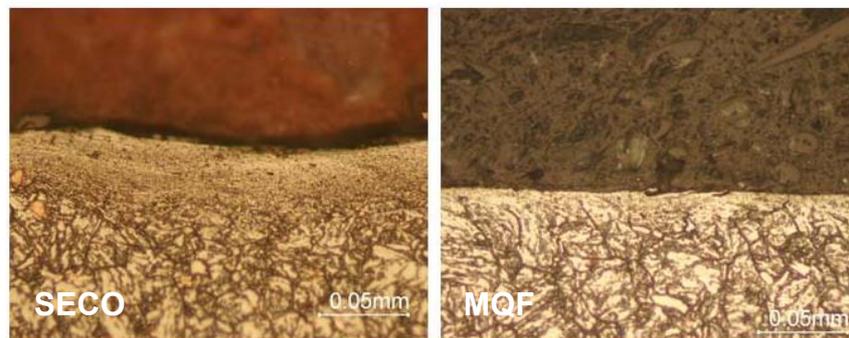
Uma das formas de se avaliar a alteração da integridade do material é através da análise da micro-estrutura após a usinagem. As medições das máximas profundidades das deformações plásticas geradas pela usinagem, quando comparadas pela condição de aplicação de fluido, foram maiores para a condição à seco, aonde a máxima deformação plástica mensurada foi de 50 μm , para a $v_c = 30$ m/min, com a ferramenta na condição de fim de vida.

Para a condição com MQF, a máxima deformação plástica medida foi de 25 μm , também para a $v_c = 30$ m/min, para a ferramenta em estado de fim de vida. A Figura 5 mostra típicas deformações plásticas para a condição à seco e com MQF.

A ferramenta em seu estado de fim de vida já não possui suas características iniciais de corte e também a presença do revestimento está comprometida, com isso, maiores solicitações térmicas e mecânicas são geradas na interface peça/ferramenta, que contribuem na formação das deformações plásticas.

Quando analisadas para a $v_c = 90$ m/min, para ambas as condições de aplicação de fluido, tanto na usinagem com ferramentas novas quanto em estado de fim de vida, não apresentaram deformações plásticas maiores que 18 μm . Isso ocorre porque quanto maior for a velocidade de corte, maior parcela do calor é dissipado pelo

cavaco. Enquanto que, para menores velocidades de corte, menor parcela de calor é dissipada para o cavaco, retendo-se na peça, o que influi diretamente na formação das deformações plásticas.



Fonte: Grupo de Usinagem.

Figura 5. Fotografia das máximas deformações plásticas encontradas para $v_c = 30$ m/min, nas condições à seco e com MQF, respectivamente.

Na usinagem sem aplicação de fluido, maiores temperaturas são geradas. Com isso, uma redução na resistência mecânica do material é evidente, o que facilita o corte pela ferramenta. No entanto, o encruamento do material nesta área deformada também é maior, porque um dos principais fatores influentes sobre as alterações na sub-superfície são as solicitações térmicas.

Já para a usinagem com aplicação de MQF, uma micro-lubrificação reduz o atrito entre a ferramenta e a peça, vindo a diminuir indiretamente a temperatura na região de corte. Com a temperatura menor, a resistência do material tende a manter-se, vindo a dificultar o cisalhamento do mesmo, que irá aumentar o desgaste da ferramenta. No entanto, a influencia térmica menor resulta em menores deformações plásticas.

4 CONCLUSÃO

Como já conhecido pela literatura, aqui se comprovou que as ferramentas obtiveram maiores vidas para a velocidade de corte de 30 m/min. Para as condições ensaiadas, foram observados principalmente os mecanismos de abrasão e adesão, sendo o desgaste de flanco e micro-lascamentos os tipos predominantes.

As maiores profundidades de deformações plásticas mensuradas foram encontradas para a velocidade de corte de 30 m/min, com o uso de ferramentas no estado de fim de vida.

A condição de aplicação à seco teve influência negativa na integridade do material, na qual veio a prejudicar a sub-superfície, apresentando as maiores deformações plásticas mensuradas nos ensaios.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, pelo apoio com bolsa, à Universidade de Caxias do Sul (UCS) pela colaboração dada ao projeto *UsiMold II* do Grupo de Usinagem (GUS), e as empresas colaboradoras do projeto, pelo fornecimento de seus produtos.

REFERÊNCIAS

- 1 SCHROETER, R. B.; WEINGAERTNER, W. L.; MACEDO, S. E. M. Análise de forças no fresamento de topo reto. Revista Máquinas e Metais, p.130-139, ago. 2001.
- 2 DUARTE, M. A. V.; SANTOS, A. L. B.; MELO, A. C. A.; CUNHA JR, S. S. Determinação e estimativa das trincas de origem térmica geradas no fresamento frontal. Revista Máquinas e Metais, p. 240-249, abr. 2006.
- 3 TEIXEIRA, C. R. Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluidos de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida. Tese de Doutorado. UFSC, Florianópolis, 2001.
- 4 HOGMARK, S., JACOBSON, S., LARSON, M., 2000, Design and Evaluation in Tribological Coatings, Wear, Vol. 246, pp. 20–33.
- 5 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.