

Tema: Iniciação científico-tecnológica

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE FERRAMENTA DE METAL DURO NO FRESAMENTO COM ALTA VELOCIDADE DE CORTE NO AÇO AISI H13 ENDURECIDO*

Leonardo Roberto da Silva¹

Manoel Amâncio Gomes²

Arthur Hermsdorff Cezar³

Isabela Caroline Ribeiro da Silva³

Resumo

Com o desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte, os processos de usinagem de aços endurecidos (com remoção de cavacos em aço com dureza superior a 45 HRC) têm estado cada vez mais em evidência, de tal modo que, em alguns casos, substitui-se o processo de retificação por possibilitar a redução do tempo de produção e do custo de fabricação. Além disso, é possível obter peças com elevado acabamento superficial e tolerâncias apertadas. Este trabalho visa analisar o desgaste de ferramenta de metal duro e possíveis danos causados na superfície da peça através das solicitações térmicas e mecânicas originadas do fresamento com alta velocidade de corte no aço AISI H13 endurecido. A avaliação do desempenho das ferramentas de metal duro consistiu na análise dos seguintes parâmetros: vida, desgaste de ferramenta, dureza, rugosidade e microestrutura. Os resultados obtidos neste estudo mostraram que o material da ferramenta e a velocidade de corte influenciaram no desempenho das variáveis de saída citadas. As ferramentas de metal duro apresentaram baixo rendimento na usinagem HSM (*High Speed Machining*) e rendimento satisfatório com velocidades de corte convencionais.

Palavras-chave: Usinagem com alta velocidade; Aços endurecidos; Rugosidade; Microestrutura; Desgaste de ferramenta.

CARBIDE TOOL ANALYSIS BEHAVIOR IN HIGH SPEED MILLING OF HARDENED AISI H13 STEEL

Abstract

Because of the development of new materials for cutting tools, machining processes of hardened steels (chip removal on steels with hardness above 45 HRC) have been increasingly in evidence, in a way that, in some cases replace the grinding process by allowing the reduction of production time and manufacturing cost. Furthermore, it is possible to obtain parts with high surface finish and tight tolerances. This article aims to analyze the wear of carbide tools and possible damages in the part surface through mechanical and thermal stresses in high speed milling of hardened steel AISI H13. Performance evaluation of carbide tools will be the analysis of the following parameters: life, tool wear, hardness, roughness and microstructure. Results in this article showed that the tool material and the cutting speed influenced the performance of the cited output variables. The carbide tools showed low performance in HSM machining and satisfactory performance in conventional cutting speeds.

Keywords: High speed machining; Hardened steels; roughness; microstructure; Tool wear

¹ Professor Doutor, Engenharia Mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

³ Graduando, Engenharia de Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A usinagem de materiais duros vem sendo cada vez mais utilizada ao longo dos tempos, devido ao crescente aumento da demanda de produção e à necessidade de redução dos custos e prazos de fabricação, oriundos da exigência cada vez maior das novas tecnologias empregadas nos processos industriais. Convencionou-se chamar de usinagem de materiais duros, a remoção de cavacos em materiais com dureza superior a 45 HRC. Há poucos anos, materiais que necessitavam ser usinados em sua forma endurecida eram usinados apenas pelo processo de retificação. Hoje, devido ao desenvolvimento de materiais para ferramentas de elevada dureza e resistência ao desgaste em altas temperaturas, aliados ao surgimento de máquinas e ferramentas de maiores rigidez e precisão dimensional em altas rotações, já é possível a usinagem desses materiais pelos processos de fresamento e torneamento [1-4].

Segundo Gamarra [5], o fresamento é também a área clássica de aplicação para HSM (*High Speed Machining*). Tal processo permite o uso de velocidades de cinco a dez vezes maiores que as utilizadas na usinagem convencional [6-7]. Além da redução do tempo de produção ao se atingir tais velocidades, destacam-se ainda outras qualidades para HSM, como: altas taxas de remoção de material, baixas forças de corte, mínimas distorções nas peças, capacidade de usinar paredes finas, utilização de simples dispositivos de fixação, ótimos acabamentos superficiais, pequeno ou nenhum dano térmico à integridade da superfície da peça, peças livres de rebarbas e fácil manuseio dos cavacos [8].

Apesar das vantagens citadas, alguns problemas são encontrados no uso de HSM, como, por exemplo, a alta taxa de desgaste nas ferramentas e redução de vida útil das mesmas. Isso exige que algumas medidas sejam tomadas para que a razão custo-benefício ainda seja favorável às perspectivas de uma determinada indústria. Então, o material da ferramenta de corte deve ser duro e sua resistência ao calor elevada para que a vida útil esteja em um nível aceitável [6,8].

O metal duro é considerado o material com maior aplicação na área de usinagem. Até algumas décadas atrás, vários autores consideravam que o mesmo apresentava uma série de limitações para aplicação em altas velocidades [9-11]. No entanto, a partir da década de 90, a indústria de moldes e matrizes passou a utilizá-lo com grande sucesso. Alguns dos motivos citados para que isso fosse observado foram a fabricação de ferramentas utilizando grãos menores que $1\mu\text{m}$ e a utilização de várias camadas de revestimentos [2]. Somado a isso, observou-se que as temperaturas alcançadas com HSM não eram tão elevadas quanto se imaginava, cerca de 200°C a 400°C contra os 1200°C da usinagem convencional [12]. Hoje ainda, vários pesquisadores [13-15] vêm observando um bom desempenho do metal duro em aplicações com aços endurecidos, principalmente em aço AISI H13.

Tönshoff et al. [16] afirmam que o desgaste da ferramenta e a integridade superficial das peças usinadas são fortemente influenciados pela utilização ou não de fluidos de corte, uma vez que eles agem no sentido de reduzir a carga térmica na aresta de corte, aumentando, assim, a vida da ferramenta quando comparado com o corte a seco. No entanto, observa-se que nos sistemas de lubri-refrigeração convencionais são utilizados milhares de litros de emulsões lubrificantes, que muitas vezes são descartados diretamente na natureza, levando a contaminação do solo e da água e gerando forte impacto ambiental. Além disso, o contato do operador das máquinas com o fluido pode gerar graves problemas de saúde. Para atender as exigências dos órgãos de controle ambiental, a maior parte das empresas que ainda utilizam fluidos

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

de corte tem investido no reprocessamento desses, o que gera um grande custo adicional, tornando cada vez mais cara sua utilização.

Dessa forma, a usinagem sem fluido de corte surge como uma tendência mundial, devido ao menor impacto ambiental, risco à saúde do operador e custo de produção. Essa ainda pode ser utilizada na tecnologia HSM, uma vez que o tempo de contato entre ferramenta e peça é pequeno, e consequentemente o calor gerado pelo atrito entre essas também, não se observando assim um aquecimento considerável [17]. Considerando todo o exposto, estão entre os objetivos do presente trabalho avaliar o desempenho da tecnologia de usinagem a seco no fresamento com alta velocidade de corte no aço AISI H13 endurecido em operação de acabamento, assim como o estudo do desgaste de ferramentas de metal duro e possíveis danos causados na superfície da peça através das solicitações térmicas e mecânicas originadas do processo sob tais condições de corte.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova de dimensões 150x18x40mm utilizados nos ensaios de usinagem foram produzidos, inicialmente, pelo processo de laminação, com dureza máxima de 207 HB, e então endurecidos pelos processos de têmpera e revenimento com dureza final de 46 HRC. A composição química e as propriedades físicas do material foram fornecidas pelo fabricante, mediante certificado de qualidade da análise química, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Composição Química em % e Propriedades Físicas. Fonte: VILLARES METAIS, 2006.

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	0,4	1	0,35	5,2	1,5	0,9
Densidade a 20° C= 7,85kg/dm³.						
Condutividade térmica (W/mk)			20°C	350°C	700°C	
			24	28,3	29,3	
Expansão térmica						
Intervalo de temperatura (°C)						
	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600
Coef. Exp. Térm. (10⁻⁶ m/mk)						
	11,5	12	12,2	12,5	12,9	13

Os ensaios de usinagem foram realizados em uma fresadora MIKRON HSM 700 de RPM = MIN. 100 rpm e MAX. 42.000 rpm (Figura 1). Áreas de trabalho de X = 700 mm; Y = 550 mm; Z = 450 mm e capacidade de carga de mesa de até 700 kg.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Figura 1. MIKRON HSM 700 CNC. *Fonte: NEMAK Brasil, 2013.*

Os corpos de prova foram fixados em uma morsa e usinados pela operação de fresamento frontal de acabamento, com uma fresa porta ferramenta de diâmetro 20mm e com capacidade de montagem para duas ferramentas de corte.

A usinagem ocorreu em toda a área superficial da medida de 18mm, realizando os cortes discordante e concordante ao mesmo tempo.

Foram utilizadas ferramentas de metal duro classe F30M, cuja composição contém elementos de liga como W (Tungstênio), Co (Cobalto), Cr (Cromo) e C (Carbono) e uma cobertura composta de Ti (Titânio), Al (Alumínio) e N (Nitrogênio) de código ISO XOMX 120408TR-D14 (Figura 2).



Figura 2. Imagem do inserto utilizado.

Os ensaios foram realizados com três velocidades de corte diferentes (150 m/min, 225 m/min e 300 m/min), mantendo-se a_p (profundidade de corte) e f_z (avanço por aresta) constantes e iguais a 0,2 mm em ambos os casos.

Para o primeiro valor de velocidade de corte utilizado, foram também usados os seguintes parâmetros: velocidade de avanço igual a 955 mm/min e número de rotações por minuto igual a 2.387.

Para o segundo valor de velocidade de corte utilizado, os parâmetros foram: velocidade de avanço igual a 1.432,5 mm/min e número de rotações por minuto igual a 3.580.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Para o terceiro valor de velocidade de corte utilizado, os parâmetros foram: velocidade de avanço igual a 1.910 mm/min e número de rotações por minuto igual a 4.774.

Avaliou-se o desgaste da ferramenta com auxílio de uma Lupa Estereoscópica de aumento com capacidade de até 90 vezes de ampliação SMZ 91. A rugosidade média (Ra) foi avaliada com auxílio de um rugosímetro modelo MarSurf M300C. O rugosímetro foi ajustado para um *Cut-Off* (comprimento de amostragem) de 0,8 mm. Para a análise de microestrutura, foi preparada uma amostra que passou pelo processo de embutimento, polimento e ataque da superfície com Nital 3%. O material foi analisado posteriormente com o uso do microscópio Olympus GX61 com um aumento de 500 vezes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o primeiro valor de velocidade de corte foram realizados 110 passes de usinagem retirando 22mm do material (removido 59.400 mm³), em um tempo efetivo de usinagem de 19,6 minutos.

Com o segundo valor de velocidade de corte foram realizados 85 passes de usinagem, retirando 17mm do material (removido 45.900 mm³), em um tempo efetivo de usinagem de 10,1 minutos.

Para o terceiro valor de velocidade de corte foram realizados 40 passes de usinagem, retirando 8 mm do material (removido 21.600 mm³), em um tempo efetivo de usinagem de 3,6 minutos.

3.1 Desgaste da Ferramenta

A Tabela 2 apresenta os valores referentes ao desgaste da ferramenta obtidos nas três condições de corte:

Tabela 2. Desgaste da Ferramenta para Diferentes Velocidades de Corte.

Velocidade de corte (m/min)	Desgaste da Ferramenta (mm)
150	0,05
225	0,35
300	0,22

De acordo com os dados obtidos, foi possível observar que as ferramentas de metal duro apresentaram baixo rendimento na usinagem HSM e rendimento satisfatório com velocidades de corte convencionais.

Para as velocidades de corte no regime de transição e alta velocidade, a usinagem precisou ser interrompida devido ao desgaste da aresta da ferramenta de corte para preservar a integridade do suporte.

A Figura 3 apresenta o desgaste observado na ferramenta ao se utilizar uma velocidade de corte de 225 m/min e com a realização de 85 passadas.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

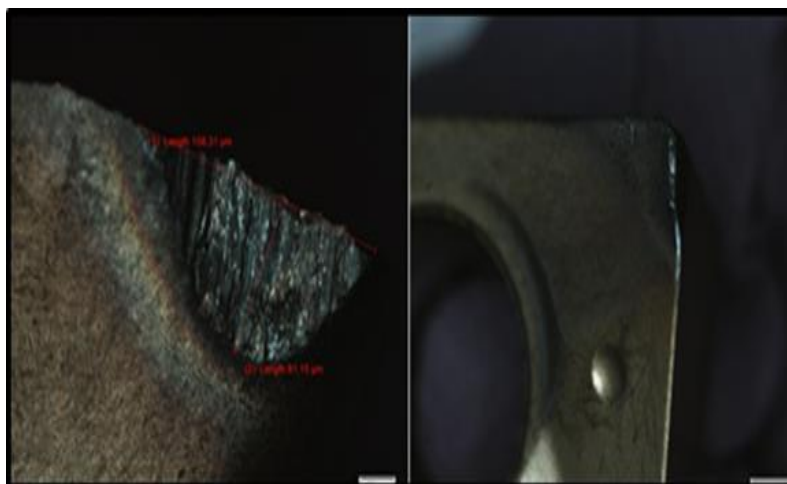


Figura 3. Desgaste observado na ferramenta para $V_c = 225\text{m/min}$ (Ampliação de 50x).

De uma maneira geral, os desgastes que ocorreram na ferramenta de metal duro não são provenientes de um único mecanismo, mas sim de uma combinação de vários deles.

3.2 Dureza

Em todos os testes observados, não foram constatadas mudanças significativas na dureza dos corpos de prova, mantendo-se então o valor de 46 HRC durante a usinagem.

3.3 Rugosidade

A Tabela 3 apresenta os valores do parâmetro Ra encontrados para os três casos analisados após o último passe de usinagem.

Tabela 3. Rugosidade média (Ra) encontrada para diferentes velocidades de corte.

Velocidade de corte (m/min)	Ra (μm)
150	0,662
225	0,557
300	1,103

É possível observar que o acabamento superficial apresentou valores de Ra menores com velocidades intermediárias.

3.4 Microestrutura

Pôde-se observar que o material passou por um processo de têmpera e revenimento, o que resultou em uma microestrutura martensítica, na qual foi possível observar os contornos de grãos do material.

A remoção do material durante a usinagem não causou alterações visíveis na microestrutura do material.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

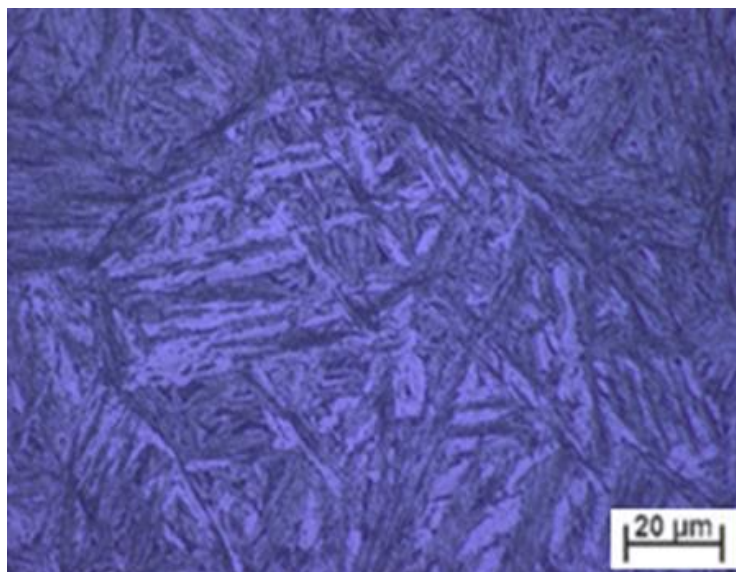


Figura 5. Microestrutura do aço H13 após tempera e revenimento (Ampliação de 500x).

4 CONCLUSÃO

A avaliação do desgaste da ferramenta de metal duro, da rugosidade, da dureza e da microestrutura dos corpos de prova levou às seguintes conclusões:

- Na maior parte dos processos de usinagem, é observado mais de um tipo de desgaste;
- Não é possível definir com precisão o tipo de desgaste predominante;
- A velocidade de corte tem influência direta na vida da ferramenta, na rugosidade e no desgaste da ferramenta;
- A dureza tem influência direta na usinabilidade do material.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Pesquisa e pelo financiamento das bolsas de Iniciação Científica.

Demais agradecimentos à empresa Nematik por permitir a realização dos ensaios, ao engenheiro Ricardo que colaborou na análise das amostras, e ao supervisor Nilson que auxiliou na usinagem das mesmas.

REFERÊNCIAS

- 1 Abrão AM, Aspinwall DK, Wise ML. A review of polycrystalline cubic boron nitride tool developments and application. In: 30th International MATADOR Conference. Manchester : UMIST; 1993. 1-11.
- 2 Dewes RC, Aspinwall DK. A review of ultra high speed milling of hardened steels. Journal of Materials Processing Technology, 1997; 69: 1-17.
- 3 Momper, FJ. Usinagem a seco e de materiais endurecidos. Máquinas e Metais, 2000; 411: 30-37.
- 4 Grzesik W. Influence of tool wear on surface roughness in hard turning using differently shaped ceramic tools. Wear. 2008; 265: 327-335.
- 5 Gamarra JR. Características das Ferramentas em HSM – Fresamento, Furação e Faceamento. In: Santos, A.V. et al. Usinagem em altíssimas velocidades: como os

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

- conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal- mecânica. São Paulo: Érica; 2003. 94-110.
- 6 Oliveira FG. HSM – Conceito e aplicações. In: Santos, A.V. et al. Usinagem em altíssimas velocidades: como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica. São Paulo: Érica; 2003. 29 – 35.
 - 7 Erdel BP. High-speed machining. Estados Unidos: SME; 1997. 21-23.
 - 8 Oliveira AJ. Análise do desgaste de ferramentas no fresamento com alta velocidade de aços endurecidos [tese de doutorado]. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas; 2007.
 - 9 Schulz H, Moriwake T. High-Speed Machining. Annals of the CIRP. 1992; 41: 637- 643.
 - 10 Ray M. Tomorrow's cutting tools: Building on the present. Modern machine shop., 1989: 76-88
 - 11 Kramer BM. On tool materials for high speed machining. Journal of engineering for industry, 1987; 109: 87-91.
 - 12 Dewes RC, Chua KS, Newton PG. Aspinwall, D.K. Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel. Journal of Material Processing Technology, 1999; 92-93: 293-301.
 - 13 Ghani JA, Choudhury IA, Masjuki HH. Performance of P10 TiN coated carbide tools when end milling AISI H13 tool steel at high cutting speed. Journal of Material Processing Technology. 2004; 153-154: 1062-1066.
 - 14 Novaski O, Silva FR, Correa M, Lima FE. Aspectos técnicos do fresamento na zona de transição entre as velocidades convencionais e a alta velocidade. In: 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Curitiba; 2001 [acesso em 2 mar. 2014]. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/pt/wpcontent/anais/cobef/2001/tcob029.pdf>
 - 15 Urbanski JP, Koshy P, Dewes RC, Aspinwall DK. High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture. Materials and Design. 2002; 21: 395-402.
 - 16 Tonshoff HK, Wobker HG, Brandt D. Tribological aspects of hard turning with ceramic tools. Journal of Society of Tribologists and Lubrification Engineers, 1995; 1: 163-168.
 - 17 Ferraresi D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Editora Edgard Blücher; 2012.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.