

# ANÁLISE DOS DESGASTES NO TORNEAMENTO DO COMPÓSITO CARBONO-CARBONO (C/C) COM FERRAMENTAS DE METAL DURO

J.S.S.Olim<sup>(1)</sup>, L.C.Mendes S.J.<sup>(1)</sup>, J.R.Ferreira<sup>(1)</sup>, P. F.Silva<sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Engenharia Mecânica, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Av. BPS, 1303, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, CEP 37.500-000

**Palavras-chave:** Usinagem, Desgaste de Ferramentas, Desgaste por Aderência, Distribuição de Temperaturas, Fibra de Carbono

## RESUMO

O aumento substancial na aplicação de materiais compósitos de carbono reforçado com fibras de carbono, também conhecido por compósito carbono-carbono (C/C), nas indústrias aeronáutica, aeroespacial, automobilística, naval, e na área biomédica, entre outras, faz com que se torne cada vez mais necessária a otimização dos processos de fabricação que utilizam esse material como matéria-prima. Essa necessidade é ainda mais evidente do ponto de vista econômico, haja vista que tal matéria-prima tem um alto valor agregado no seu processo de fabricação (Ferreira et.al, 2001).

Neste trabalho, o processo estudado é a operação de usinagem por torneamento. A usinagem deste material é bastante complicada, devido à heterogeneidade e anisotropia estrutural do material, que provoca severa abrasão e variação das forças de corte. O processo de formação de cavaco é extremamente atípico, sendo observadas rupturas instantâneas das fibras e a fragmentação do material da matriz em uma grande quantidade de pequenos fragmentos (pó), originados de uma série de fraturas durante a usinagem. Além disso, observou-se também o desprendimento das fibras axiais sem apresentar grande aderência residual, sendo desta forma o cavaco formado basicamente por três diferentes aspectos estruturais. A primeira estrutura observada consiste de pedaços de fibras, proveniente das fibras axiais desprendidas. A segunda estrutura consiste de pequenos fragmentos provenientes da quebra das fibras orientadas em direções diferentes da direção axial. A terceira estrutura observada consiste do pó proveniente da fragmentação da matriz de carbono (Olim,2002). Este comportamento já foi verificado em outros trabalhos com o material compósito C/C (Komanduri, 1997 e Ferreira et. al., 2001).

Através da análise da temperatura de corte e de imagens dos desgastes obtidas por meio de um microscópio eletrônico de varredura, este trabalho pretende caracterizar os desgastes ocorridos em ferramentas de metal duro no torneamento dos materiais compósitos C/C, utilizando tais informações na tentativa de elucidar os fenômenos que ocorrem no processo. A análise da temperatura de corte é de extrema importância, uma vez que o material sofre oxidação, segundo Savage (1993), devido ao aumento da temperatura a valores superiores a 370°C e provoca uma diminuição na resistência da peça ao corte.

Para melhor avaliação dos mecanismos de desgastes que atuam no processo, foram realizados ensaios com diferentes velocidades de corte e utilizando quatro ferramentas de diferentes classes de metal duro, sendo elas: metal duro ISO K10 sem cobertura (Sandvik H1P), metal duro ISO K15 com cobertura de TiC e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Sandvik GC3015), metal duro ISO P15 com cobertura de TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiN (Sandvik GC4015) e metal duro ISO P10 sem cobertura (Sandvik S1P). Todos os inserts utilizados tinham geometria ISO SNGN120408 (Sandvik). Além disso, baseado nos

estudos de Ferreira et al (2001), nos quais foi mostrado que não se recomenda o uso de fluido refrigerante no torneamento de compósitos CRFC, não se utilizou fluido refrigerante em nenhum dos ensaios deste trabalho.

Os resultados obtidos para a temperatura de corte na usinagem do compósito C/C com os diferentes insertos de metal duro, em função da velocidade de corte, são apresentados na Figura 1. A Figura 2 apresenta o comportamento do desgaste de flanco sofrido pelas ferramentas em função da variação da velocidade de corte.

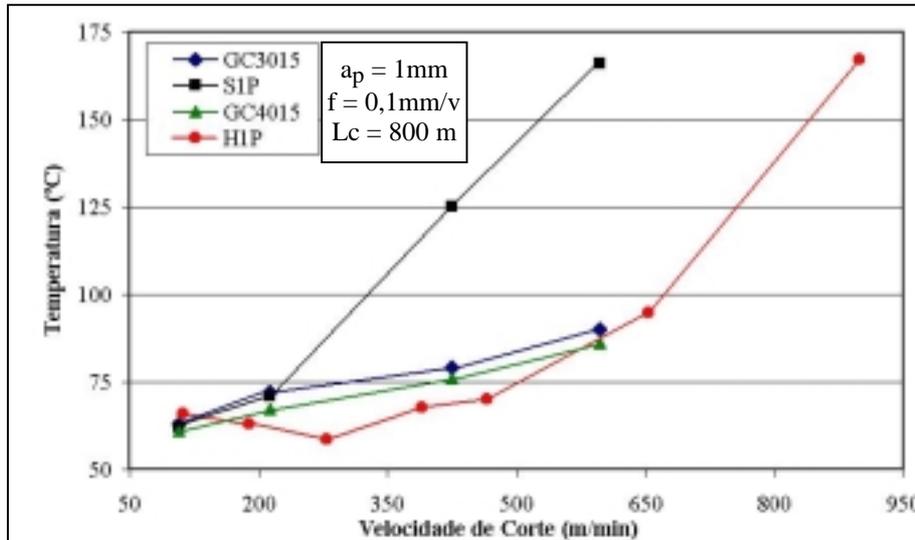


Figura 1. Comportamento da temperatura de corte na ponta da ferramenta em função da variação da velocidade de corte, para os diferentes insertos de metal duro.

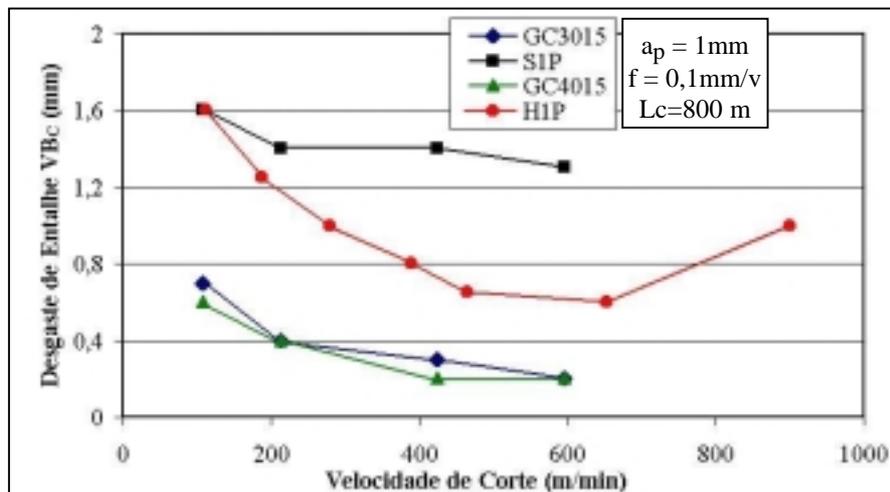


Figura 2. Comportamento do desgaste de flanco em função da variação da velocidade de corte, para os diferentes insertos de metal duro.

Pode-se observar na Figura 2 que o comportamento do desgaste decresce com o aumento da velocidade de corte. Tais resultados confirmam o comportamento já observado em ensaios com a ferramenta de metal duro H1P por Ferreira et. al. (2001). A Figura 2 mostra que tal tendência ocorre também nos outros insertos utilizados, e que os valores dos desgastes nas ferramentas recobertas são menores que nas sem cobertura, mostrando que o recobrimento ameniza o desgaste por apresentar maior dureza e menor coeficiente de fricção.

A Figura 3 mostra o desgaste sofrido pela ferramenta de metal duro H1P, em um dos ensaios de torneamento do compósito C/C.

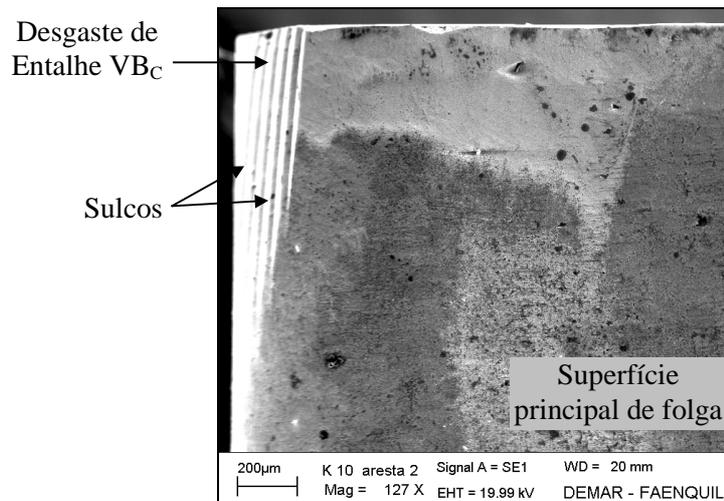


Figura 3. Desgaste na ferramenta de metal duro ISO K10 ( $V_c=279,9\text{m/min}$ ,  $VBC=1,0\text{mm}$ ,  $ap=1\text{mm}$ ,  $f=0,1\text{mm/v}$ ,  $L_c=1215\text{ m}$ ).

Observa-se na Figura 3 que a ferramenta sofreu vários desgastes na forma de sulcos paralelos à direção de corte. Este fato leva-nos a considerar, em função dos baixos valores observados de temperatura de corte, que o mecanismo de desgaste que prevalece em baixa velocidade de corte é o desgaste por aderência (“attrition”). Outro resultado que reforça a ocorrência de tal mecanismo de desgaste é o fato de que os desgastes foram amenizados pelos recobrimentos.

Tais indícios foram observados também nas outras ferramentas, mostrando que o mecanismo de desgaste por aderência ocorre no processo de usinagem do compósito C/C e, tendo em vista que as temperaturas obtidas não atingem a temperatura de oxidação da peça, pode-se afirmar que tal mecanismo é o principal responsável pelo comportamento diferenciado do desgaste com a variação da velocidade de corte. Em maiores velocidades de corte este mecanismo não é tão preponderante e outros mecanismos de desgaste, como a abrasão por exemplo, passam a ser mais significativos.

Sendo assim, as seguintes conclusões podem ser tiradas deste trabalho:

- Os valores obtidos para a temperatura de corte indicam que não ocorreu o processo oxidativo no compósito CRFC, uma vez que os valores das temperaturas de corte ( $T < 170^\circ$ ) estão muito abaixo da temperatura de oxidação do material ( $370^\circ\text{C}$ ).
- Os elevados valores de desgastes observados em baixas velocidades de corte e a presença de sulcos paralelos à direção de corte levam ao forte indício da predominância do desgaste por aderência.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à FAPEMIG, pelo suporte financeiro e pela bolsa de Iniciação Científica e também ao Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) do Centro Técnico Aeroespacial (CTA) pela doação do corpo de provas (tubeira do VLS).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Ferreira, J.R., Coppini, N.L., Levy Neto, F., 2001, “Characteristics of carbon-carbon composite turning” *Journal of Materials Processing Technology*, 109, p65-71.
- Komanduri, R., 1997, “Machining of fiber reinforced composites”, *Machining Science and Technology*, v.1, n.1, pp 113-152.

Olim, J.S.S, "Geração e Distribuição de Calor no Torneamento de Compósitos C/C",  
Relatório Final, FAPEMIG, 2002.

Savage, G. - Carbon-carbon composites. London: Chapman & Hall, 1993.