



Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DE CAVACO NO FRESAMENTO DE ALTO DESEMPENHO DE MATERIAS COM GRÃOS ULTRAFINOS

Vladimir C. F. Alves, Danilo F. Barbosa, Cleiton L. F. de Assis e Alessandro R. Rodrigues

EEESC-USP, Escola de Engenharia de São Carlos, Curso de Engenharia Mecânica

Campus São Carlos - Bairro Centro - CEP 13566-590 – São Carlos – São Paulo

E-mail para correspondência: vladimir_alves@hotmail.com

Introdução

A usinagem é um dos processos mais empregados na indústria e possui alto custo associado e, sendo assim, pesquisas que visam melhorar o processo ou reduzir os custos são de grande importância econômica. Sob o prisma científico, o estudo do material que foi usinado é a melhor forma de compreender e controlar os efeitos do processo de fabricação no componente acabado. Este trabalho de pesquisa traz uma abordagem diferente da maioria dos estudos de usinabilidade, que se limitam ao enfoque do processo e da máquina-ferramenta, enquanto o estudo do cavaco revela os fenômenos ocorridos no cisalhamento, relacionando-os com os parâmetros de usinagem. Com a classificação dos cavacos, pode-se isolar quais parâmetros estão relacionados diretamente com os efeitos encontrados (VENDRAME et al, 2010). A formação do cavaco, em geral, nas condições normais de usinagem com ferramentas de metal duro ou aço rápido ocorre da seguinte forma:

- Durante a usinagem, devido à penetração da ferramenta na peça, uma pequena porção de material é recalçada contra a superfície de saída da ferramenta;
- O material recalçado sofre deformação plástica, que aumenta progressivamente, até que tensões de cisalhamento se tornem suficientemente grandes, de modo a se iniciar um deslizamento entre a porção de material recalçado e a peça. Este deslizamento ocorre de acordo com os planos de cisalhamento dos cristais. Durante a usinagem, estes planos instantâneos irão definir certa região entre a peça e o cavaco, denominada região de cisalhamento. Esta região normalmente é aproximada a um plano denominado plano de cisalhamento, a direção deste plano define o ângulo de cisalhamento.
- Continuando a penetração da ferramenta em relação à peça, haverá uma ruptura parcial ou completa na região de cisalhamento, dependendo da ductilidade do material e das condições de usinagem.
- Prosseguindo, devido ao movimento relativo entre a ferramenta e a peça, inicia-se um escorregamento da porção de material deformada e cisalhada (cavaco) sobre a superfície de saída da ferramenta. Enquanto isso, em uma nova porção de material inicia-se o mesmo processo.

Considerando-se o exposto, pode-se concluir que o fenômeno de formação do cavaco é um fenômeno periódico, inclusive na formação do cavaco dito contínuo. Tem-se alternadamente uma fase de recalque e uma fase de escorregamento para cada porção de material removido. O quociente entre a espessura do cavaco (h') e a espessura de material a ser removida (h) é denominado grau de recalque do cavaco (Rc). Este parâmetro é importante para avaliação das condições de usinagem por permitir o cálculo do ângulo de cisalhamento (ϕ) que influencia a força e a energia necessária para o corte, bem como a temperatura de trabalho (BATALHA, 2001). Outro fator relacionado ao ângulo de cisalhamento é o ângulo de deformação da microestrutura (η) pela análise geométrica das imagens de microscopia dos cavacos (ASSIS, 2010).

Outra análise é a forma e o tamanho do cavaco, que são muito importantes, principalmente para os processos de usinagem onde há pouco espaço para os cavacos ou em máquinas-ferramentas com pouco espaço de trabalho, esta análise será feita através do raio de curvatura do cavaco. Tem-se, ainda, que com uma estrutura mais refinada, menores são as fronteiras intergranulares e maiores são os contatos de natureza química e eletrostática, melhorando o comportamento frente às solicitações mecânicas impostas no trabalho de usinagem (Baptista e Nascimento, 1989).

Objetivo

O objetivo deste trabalho foi comparar a usinabilidade de um aço com grãos ultrafinos com seu homólogo de origem na usinagem de alto desempenho, com base no estudo do mecanismo de formação de cavaco, levando em consideração o ângulo de deformação da microestrutura e o raio de curvatura do cavaco.

Metodologia

O material utilizado foi um aço 0,16%C dual-fase ferríta-perlita, submetido a tratamento termomecânico para refino de grão. Os parâmetros de usinagem foram velocidade de corte de 800 m/min, avanço por dente de 0,3 mm/z, profundidade de usinagem de 0,5 mm e largura de usinagem de 2 mm. O corte foi concordante, sem emprego de fluido de corte. Amostras de cavaco foram coletadas e embutidas em resina epóxi de maneira que ficassem na posição de análise desejada, posteriormente foram lixados manualmente com grana 120, 220, 320, 400, 600, 1000. Para espelhamento foi feito o polimento com óxido de alumínio (alumina), com tamanho de partículas de 1 μ m e posteriormente 0,3 μ m. Para a última etapa do polimento foi empregado pasta de diamante de 0,25 μ m. As amostras sofreram ataque químico por contato de algodão embebido com Nital 2% na superfície a ser atacada por 5 segundos. No microscópio ótico, imagens da microestrutura do cavaco foram feitas procurando nitidez das linhas de deformação das lemelas ao longo do cavaco, porém devido ao aumento, apenas pequenas regiões do cavaco eram fotografadas. A estratégia posterior foi unir todas as imagens em forma de mosaico com auxílio de um software de imagens.

Em um software de CAD pode-se medir os ângulos de microestrutura (η) em 10 pontos do cavaco, partindo-se do ponto de menor espessura para o de maior espessura do cavaco. Utilizando o mesmo software obteve-se a espessura de material a ser removida (h), espessura do cavaco (h') e raio de curvatura (R). A Figura 1 ilustra as medições realizadas.

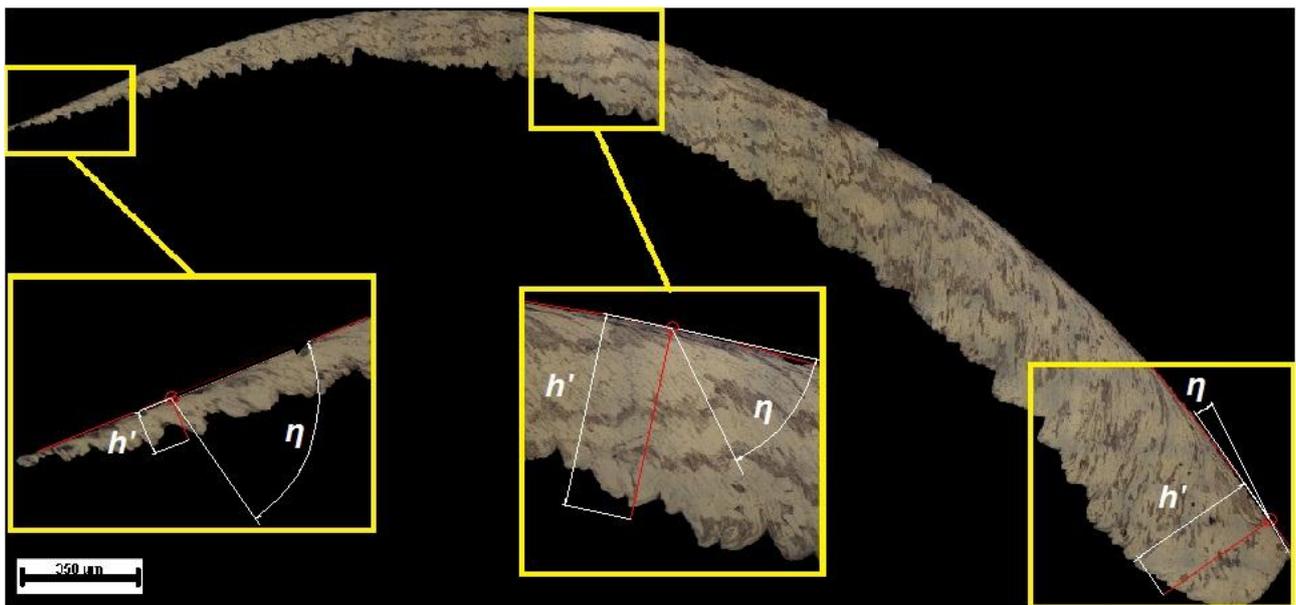


Figura 1 – Medição da espessura do cavaco e ângulo de deformação da microestrutura para o material como recebido.

O raio de curvatura foi medido dividindo o cavaco em três partes iguais em termos de comprimento e considerando a linha média do cavaco. A média do raio de curvatura dos três setores resultou no raio de curvatura médio.

Resultados

Com base nos dados quantitativos foram obtidas as curvas de variação do ângulo de deformação da microestrutura (η) ao longo da extensão dos cavacos oriundos do fresamento de alto desempenho para os materiais alvo deste estudo, conforme Figura 2.

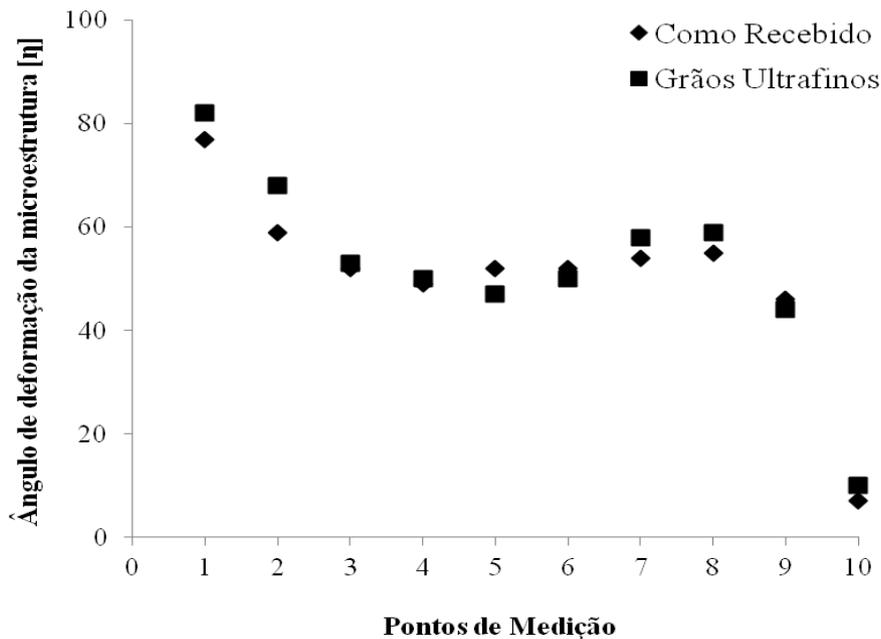


Figura 2 - Ângulo de deformação da microestrutura ao longo do cavaco dos materiais usinados.

Observa-se que as curvas referentes ao ângulo de deformação da microestrutura dos dois materiais são coincidentes, revelando que o refinamento da microestrutura do material com grãos ultrafinos não gerou alteração do ângulo de cisalhamento do cavaco.

O grau de recalque variou pouco para os mesmos pontos de medição, sendo assim foi utilizado para confirmar o resultado obtido com a análise do ângulo de microestrutura. O valor médio do grau de recalque para o material como recebido (CR) ficou em torno de 2,23 com desvio padrão para mais ou para menos de 0,26 e para o material com grãos ultrafinos (GUF) em torno de 2,08 com desvio padrão para mais ou para menos de 0,58. Assim temos que o ângulo de cisalhamento em relação aos materiais não sofreu variação, porém não é o mesmo ao longo do comprimento do cavaco de fresamento.

Outra análise realizada foi a do raio de curvatura do cavaco, que apresentou uma média de 2,77 mm para o CR e 1,16mm para o GUF. O menor raio de curvatura favorece menor área de contato e conseqüentemente menor atrito com a ferramenta de corte, proporcionando maior vida útil da ferramenta.

Considerações Finais

A intervenção da microestrutura do material por meio do refino de grão não gerou variação do ângulo de cisalhamento, fato este corroborado pelas medições de grau de recalque, portanto não afetando a usinabilidade do material. No entanto, foi visto que este o ângulo de cisalhamento variou ao longo do comprimento do cavaco, revelando uma relação estreita com a espessura de corte. Já o raio de curvatura foi menor para o material com grãos ultrafinos, fato que favorece a redução do atrito na interface cavaco-ferramenta.

Referências Bibliográficas

- Assis, C. L. F., “Efeito do Fresamento com Alta Velocidade de Corte na Usinabilidade de Aços Ferríticos com Grãos Ultrafinos”, Dissertação de Mestrado, 2010.
- Batalha, G. F., “Processo de fabricação por remoção de material”, São Paulo, 2001. (Apostila).
- Baptista, A. L. B., Nascimento, I. A., “Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços”, Dissertação de Mestrado, 1989.
- Vendrame, S., et al, “Usinagem eficiente depende da formação do cavaco”, PIBITI/CNPq, 2010