

FORMAÇÃO DE CAVACO NO MICROFRESAMENTO DE AÇO COM GRÃOS ULTRAFINOS

Fernando Brandão de Oliveira

IFSP Campus Matão, Rua Stéfano D'avassi, 625, CEP 15.991-502, Matão-SP
fernandobrandao@ifsp.edu.br

Alessandro Roger Rodrigues

USP Campus São Carlos, Av. Trabalhador São-Carlense 400, CEP 13.566-590, São Carlos-SP
roger@sc.usp.br

Resumo. Este trabalho determinou a influência do avanço por dente e do tamanho de grão da peça no processo de formação de cavaco ao se produzir canais retos por microfresamento de topo. Os ensaios foram conduzidos em um centro de microusinagem CNC Kern Pyramid Nano, variando o avanço por dente em 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 2; 3 e 4 $\mu\text{m/z}$. Os aços COS AR 60 como recebido perlítico-ferrítico (tamanho de grão de 11 μm) e COS AR60 com grãos ultrafinos ferrítico (tamanho de 0,7 μm) foram empregados nos testes. Microfresas Sandvik R216.32-00830-AI08G 1620 de carbeto de tungstênio de duas arestas, revestidas de TiAlN, diâmetro de 800 μm e raio de aresta de 1,9 μm foram aplicadas nos ensaios. Os resultados indicam que a redução do tamanho de grão deve diminuir a espessura mínima de corte do material e, portanto, antecipar o processo de total formação do cavaco, garantindo uma melhor integridade superficial da superfície microfresada para avanços mais baixos.

Palavras chave: Cavaco. Microfresamento. Grãos ultrafinos.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas recentes indicam que o processo de refino de grão da microestrutura do material possa ser uma alternativa para manter a integridade superficial de componentes microusinados, mesmo em condições de corte reduzidas, com espessuras de cavaco não deformado na ordem do raio de aresta da ferramenta (Komatsu et al., 2012; Assis; Jasinevicius; Rodrigues, 2015; Elkaseer et al., 2018). Isso ocorreria principalmente pelo efeito da diminuição do tamanho de grão da microestrutura do material no processo de formação de cavaco. O processo de refino do grão deve homogeneizar a microestrutura do material e aumentar o volume de grãos usinados em espessuras de corte muito reduzidas, de forma a atenuar o efeito do *plowing* no processo de formação de cavaco na microusinagem e, por consequência, minimizar o efeito de escala, favorecendo uma formação mais estável do cavaco com espessuras de corte cada vez menores.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é determinar o efeito da microestrutura do material usinado no seu processo de formação de cavaco e na sua espessura mínima de corte, utilizando avanços com valores menores que o valor do raio de aresta da ferramenta de corte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de usinagem foram realizados em um centro de usinagem vertical CNC, modelo KERN Pyramid Nano, com rotação máxima de 50.000 rpm e potência de 6,4 kW, gentilmente cedido pelo Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Manufatura, do SENAI/SC em Joinville-SC. Empregou-se microfresamento de topo sem aplicação de fluido lubrificante-refrigerante.

A profundidade de usinagem (a_p) e a velocidade de corte (v_c), respectivamente, 160 μm e 60 m/min, foram mantidas constantes. A largura de usinagem (a_e) foi adotada como o valor do diâmetro da fresa utilizada no ensaio ($a_e = d_f = 800 \mu\text{m}$). O avanço por dente (f_z) foi adotado como variável de entrada (0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 2; 3 e 4 $\mu\text{m/z}$). A fresa percorreu trajetória linear e unidirecional, microfresando canais de 8 mm de comprimento.

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de usinagem foram obtidos a partir do aço COS AR 60 como recebido perlítico-ferrítico e de uma versão deste material com grãos ultrafinos ferrítico. A aplicação do material como recebido e de sua versão com grãos ultrafinos visa avaliar o impacto do processo de refino de grão e, por consequência, da diminuição do tamanho médio de grão do material no processo de formação de cavaco.

O aço COS AR60 como recebido possui tamanho médio de grão de 11 μm e dureza de 192 HV. Após um tratamento termomecânico, o material passou a ter tamanho médio de grão de 0,7 μm e dureza de 216 HV, sendo caracterizado

como um material com grãos ultrafinos. A Figura 1 apresenta a microestrutura do material COS AR60 como recebido e de sua versão com grãos ultrafinos, a qual denominaremos GUF para a discussão dos resultados.

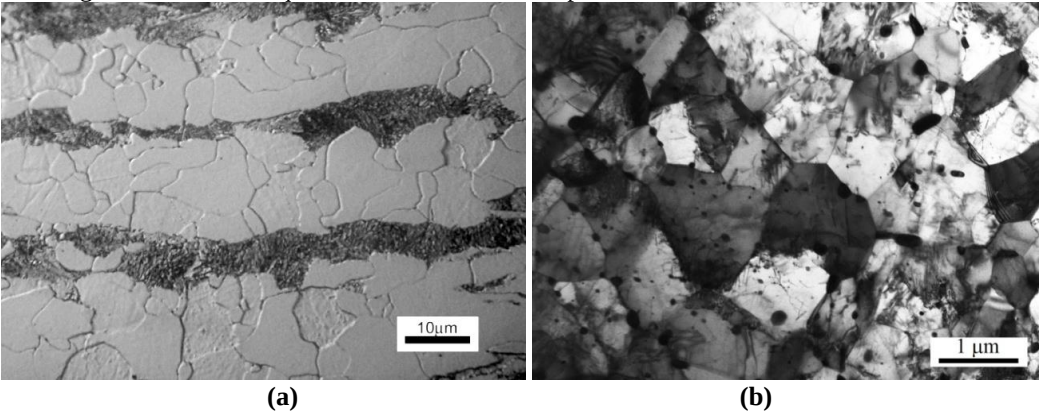


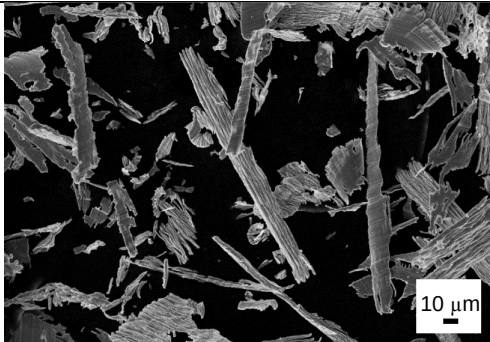
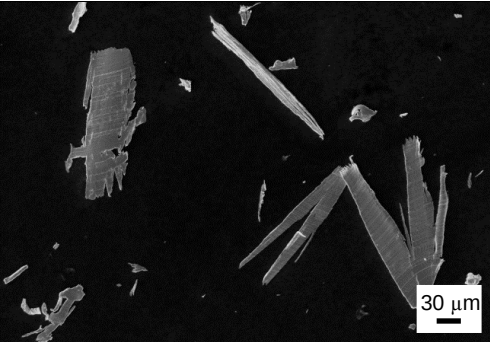
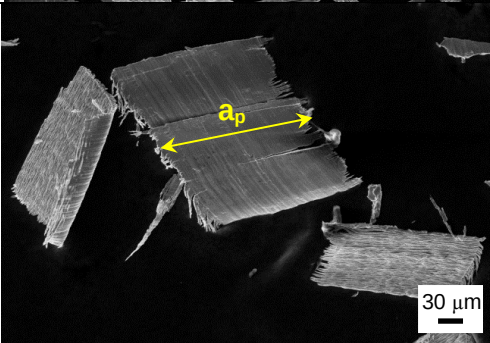
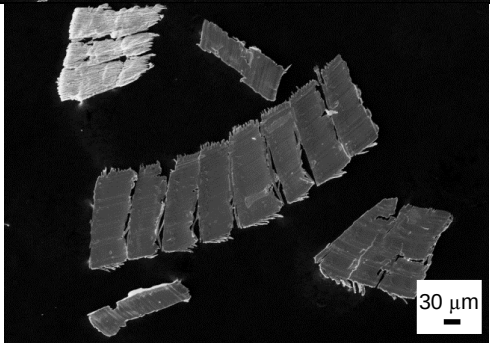
Figura 1. Fotomicrografia do aço COS AR60 (a) como recebido e (b) com grãos ultrafinos (GUF) para caracterização microestrutural do material da peça (Assis, 2013).

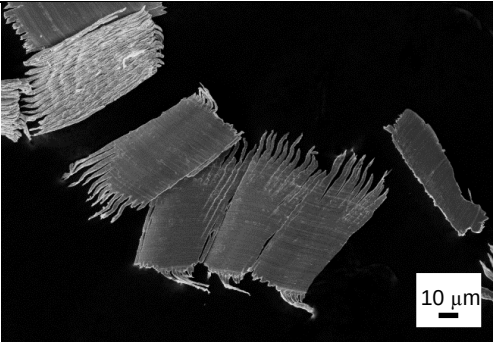
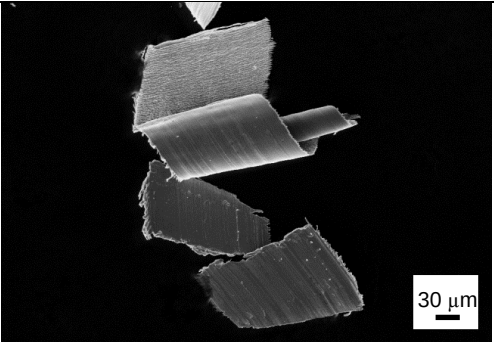
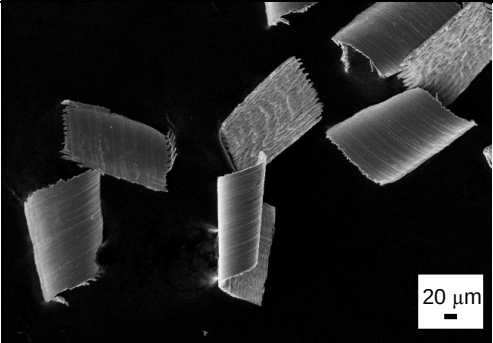
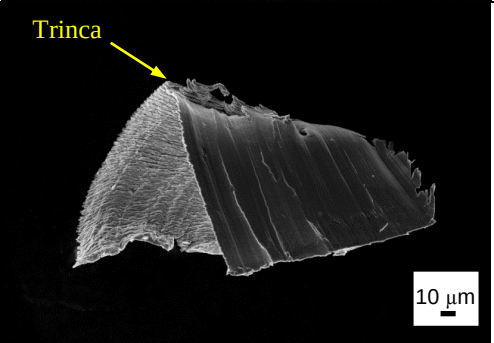
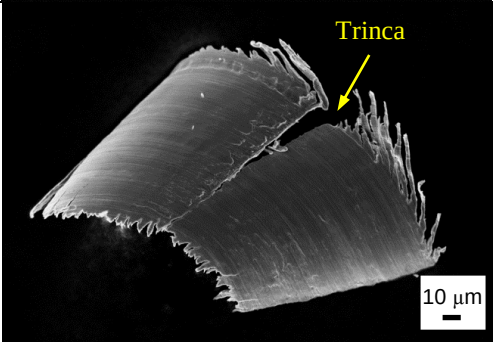
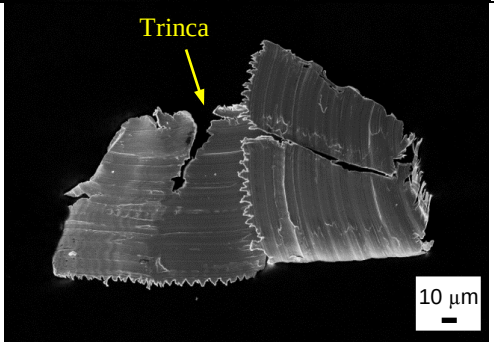
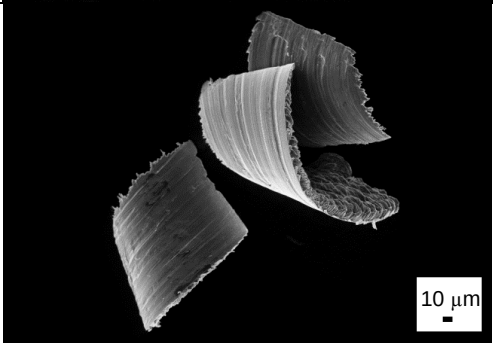
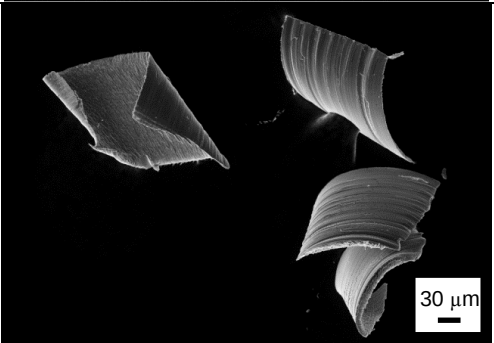
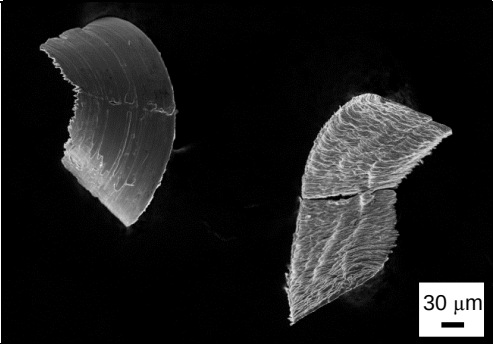
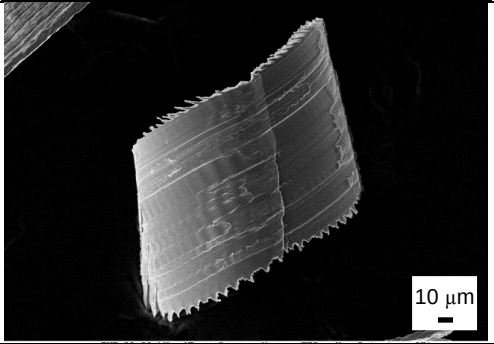
A ferramenta adotada para a realização dos ensaios foi uma fresa de topo inteiriça de metal duro, com duas arestas de corte e revestimento de TiAlN. Foi selecionada a microfresa de código R216.32-00830-AI08G 1620 da Sandvik Coromant que possui diâmetro de 800 μm e valor máximo de profundidade de usinagem de 0,8 mm. O raio de aresta das ferramentas de corte, medido através de um microscópio confocal *Olympus OLS4000*, foi determinado em $1,9 \pm 0,103 \mu\text{m}$. O desgaste das ferramentas foi monitorado via microscopia ótica a fim de não influir nos resultados.

A análise do processo de formação de cavaco foi realizada recorrendo-se ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) *Zeiss LEO 440*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as imagens de MEV dos cavacos gerados no microfresamento dos aços COS AR60 e GUF para os oito avanços por dente.

	COS AR60	GUF
$f_z = 0,25 \mu\text{m/z}$		
$f_z = 0,5 \mu\text{m/z}$		

$f_z = 0,75 \mu\text{m/z}$				
$f_z = 1,0 \mu\text{m/z}$				
$f_z = 1,25 \mu\text{m/z}$				
$f_z = 2,0 \mu\text{m/z}$				
$f_z = 3,0 \mu\text{m/z}$				

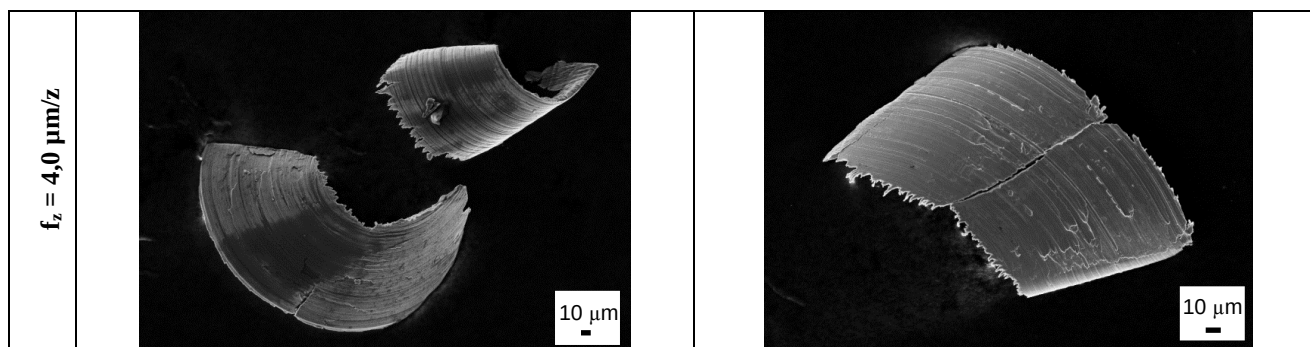


Figura 2. Avaliação qualitativa da formação de cavaco no microfresamento dos aços COS AR60 e GUF.

Os cavacos podem ser divididos em três grupos para cada material. Para o aço COS AR60 o primeiro grupo contendo apenas o avanço de $0,25 \mu\text{m/z}$, o segundo grupo contendo os avanços de $0,5$ a $1 \mu\text{m/z}$ e o terceiro grupo contendo os avanços de $1,25$ a $4 \mu\text{m/z}$. Para o aço GUF o primeiro grupo contendo apenas o avanço de $0,25 \mu\text{m/z}$, o segundo grupo contendo os avanços de $0,5$ e $0,75 \mu\text{m/z}$ e o terceiro grupo contendo os avanços de 1 a $4 \mu\text{m/z}$.

Para o primeiro grupo de cavacos para os dois materiais foram considerados os formados apenas pelo avanço de $0,25 \mu\text{m/z}$. Observa-se a presença de fragmentos dos materiais arrancados da superfície microfresada, sem qualquer geometria e dimensões definidas, e bandas de cisalhamento não uniformes. Para este avanço, o microfresamento foi fortemente influenciado pelo *plowing*, onde não há remoção efetiva de material (processo altamente instável), e o cavaco não deve ter atingido a espessura mínima de corte do material.

Os cavacos gerados no microfresamento com os avanços listados no segundo grupo começam a apresentar uma geometria mais bem definida, mesmo que particionados em porções menores que, juntas, devem formar o cavaco na geometria final esperado no microfresamento com o corte em cheio, como um arco. As porções de cavaco apresentam uma altura próxima ao valor do a_p utilizado nos ensaios de microfresamento. Além disso, para estes mesmos avanços, os cavacos, mesmo particionados, começam a apresentar uma curvatura e alguns se formam de forma helicoidal, com angulação próxima ao ângulo de hélice da ferramenta (30°), conforme apresentado na Fig. 3. Isso sinaliza que o processo de formação de cavaco começa a experimentar certa estabilização, pois decorre mais efetivamente da interação com a geometria da cunha cortante da microfresa.

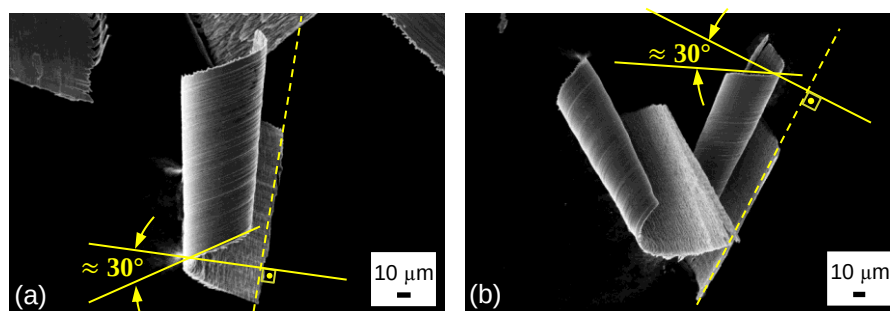


Figura 3. Cavacos gerados no microfresamento dos aços (a) COS AR60 com $f_z = 1 \mu\text{m/z}$ e (b) GUF com $f_z = 0,75 \mu\text{m/z}$.

A espessura mínima de corte muito provavelmente foi atingida neste grupo de avanços por dente, onde os cavacos se formaram de modo a atingir a geometria esperada. Como apresentado na Fig. 3, o cavaco do GUF se formou para um avanço por dente menor, de $0,75 \mu\text{m/z}$.

Finalmente, observando os cavacos obtidos no microfresamento com os avanços do terceiro grupo para os dois materiais, é possível concluir que o *plowing* foi praticamente superado e o cavaco deve ser formado majoritariamente pelo cisalhamento do material. Para os maiores avanços, os cavacos apresentam geometria definida, com a curvatura e forma de arco esperados. As trincas inicialmente apresentadas vão diminuindo tanto em espessura como em comprimento à medida que se aumenta avanço, até atingir $4 \mu\text{m/z}$.

4. CONCLUSÕES

O processo de refino de grão leva a uma diminuição do valor da espessura mínima de corte do material. Os resultados indicam que o cavaco deve se formar completamente no microfresamento com avanços menores para o material com grãos ultrafinos, o que deve ser acompanhado de uma melhor integridade superficial da superfície microfresada.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro e concessão de bolsa de estudo e ao Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Manufatura, SENAI/SC em Joinville-SC, por disponibilizarem sua infraestrutura para o desenvolvimento deste trabalho e pelo apoio técnico à pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Assis, C.L.F., 2013. *Microfresamento de aços com grãos ultrafinos*. 2013. 101 f. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Assis, C.L.F.; Jasinevicius, R.G.; Rodrigues, A.R., 2015. "Micro end-milling of channels using ultrafine-grained low-carbon steel". In *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 77, n. 5, p. 1155-1165.
- Elkaseer, A.M.; Dimov, S.S.; Pham, D.T.; Popov, K.P.; Olejnik, L.; Rosochowski, A., 2018. "Material microstructure effects in micro-endmilling of Cu99.9E". In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 232, n. 7, p. 1143-1155.
- Komatsu, T.; Yoshino, T.; Matsumura, T.; Torizuka, S., 2012. "Effect of crystal grain size in stainless steel on cutting process in micromilling". In *Procedia CIRP*, Vol. 1, p. 150-155.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

CHIP FORMATION IN MICROMILLING OF ULTRAFINE-GRAINED STEEL

Fernando Brandão de Oliveira

IFSP Campus Matão, Rua Stéfano D'avassi, 625, CEP 15.991-502, Matão-SP
fernandobrandao@ifsp.edu.br

Alessandro Roger Rodrigues

USP Campus São Carlos, Av. Trabalhador São-Carlense 400, CEP 13.566-590, São Carlos-SP
roger@sc.usp.br

Abstract. This work determined the influence of the feed per tooth and workpiece grain size over chip formation when producing straight slots by end micro milling. Milling tests were carried out in a micro milling center CNC Kern Pyramid Nano by varying tool feed per tooth in 0.25; 0.5; 0.75; 1; 1.25; 2; 3 e 4 $\mu\text{m}/\text{tooth}$. COS AR60 as received pearlite-ferrite (11 μm grain size) and ultrafine grain ferrite (0.7 μm grain size) steels were used as workpiece. TiAlN coated two-flute carbide end mills Sandvik R216.32-00830-AI08G 1620 with 800 μm diameter and 1,9 μm cutting edge radius were applied in all tests. The results indicated that the smallest grain size must decrease the minimum chip thickness of the material, anticipating the complete chip formation, leading to a better surface integrity of the machined surface for smaller feed rates.

Keywords: chip, micromilling, ultrafine grain.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.