

INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL INICIAL NA FORMAÇÃO DE REBARBAS NO MICROFRESAMENTO DA LIGA Ti6Al4V

Guilherme Henrique Alves Andrade

Maksym Ziberov

Aline Gonçalves dos Santos

Márcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG, 38408-100
guilherme.h.andrade@ufu.br; ziberov@hotmail.com; alinegsantos_23@hotmail.com; mbacci@ufu.br

Resumo. O processo de microusinagem tem se apresentado como um importante processo de fabricação de peças que possuem dimensões na ordem de micrometros. Nesta situação o mecanismo de formação do cavaco se diferencia dos processos de macrousinagem, assim como os fenômenos envolvidos, como a formação de rebarbas. No caso da microusinagem, a rebarba pode ser ainda mais crítica pois assume dimensões relativamente maiores quando comparadas com os parâmetros profundidade de corte e avanço, dificultando um possível processo de rebarbação. O avanço e a profundidade de corte da microusinagem assumem valores muito menores comparados com a usinagem convencional. Assim, a preparação do corpo de prova a ser usinado terá muita influência no processo, principalmente na formação de rebarbas. Desta forma, este trabalho investiga a influência da rugosidade superficial inicial do corpo de prova na formação de rebarbas no microfresamento da liga Ti6Al4V. São usinadas amostras com superfícies com diferentes acabamentos superficiais: lixa 320, 400, 600, 1000 e polida. Os melhores resultados em relação a geometria de rebarba foram obtidos nas amostras preparadas com lixa 320 e polida com óxido de alumínio. Para estas condições as alturas médias das rebarbas foram, respectivamente, $4,72\ \mu\text{m}$ e $4,92\ \mu\text{m}$.

Palavras chave: microusinagem, microfresamento, rebarba, Ti6Al4V

1. INTRODUÇÃO

A demanda por componentes em microescala tem crescido demasiadamente nos últimos anos (Cardoso; Davim, 2012). A área médica, por exemplo, tem exigido cada vez mais produtos com dimensões pequenas a fim de diminuir os incômodos provocados pela inspeção e cirurgia. Outra aplicação, mas em pesquisa (apresentando resultados promissores), se dá no comportamento de fluidos em microcanais (Sempértegui-Tapia; Ribatski, 2017).

Microcomponentes requerem tolerâncias muito estreitas, e ambos os requisitos funcionais e estruturais exigem o uso de vários materiais de engenharia, incluindo aços inoxidáveis, titânio, latão, alumínio, platina, irídio, plásticos, cerâmicas e compósitos (Liu *et al.*, 2004). Essa diversidade de materiais permite a fabricação de diversos microcomponentes. As ligas de titânio, em particular, possuem boas propriedades mecânicas a altas temperaturas, elevada resistência a corrosão e grande razão resistência-peso (Ezugwu *et al.*, 2003), o que lhe garante uma ampla utilização principalmente nas áreas biomédica e aeronáutica.

Neste contexto, a microusinagem tem se apresentado como uma importante ferramenta. É um processo de alta ou ultra precisão que envolve a fabricação de peças que possuem dimensões na ordem de micrometros (Chae; Park; Freiheit, 2006). Para Masuzawa (2000), o prefixo “micro” representa a faixa de dimensões das ferramentas utilizadas no processo, de $1\ \mu\text{m}$ a $999\ \mu\text{m}$. Alguns autores, no entanto, consideram que um processo de microusinagem também ocorre quando se utiliza pequenos valores de avanço e profundidade de corte.

O raio característico da aresta de corte de uma ferramenta normalmente utilizada em processos de microusinagem é da ordem de $1\ \mu\text{m}$ a $4\ \mu\text{m}$ (Bissacco; Hansen; Chiffre, 2005; Samuel *et al.*, 2011). Devido a esta redução considerável das dimensões envolvidas no processo (Aramcharoen; Mativenga, 2009), há uma diferença entre os mecanismos fundamentais de corte em relação à usinagem convencional, é o chamado efeito escala. Este efeito é caracterizado por um aumento da energia por unidade de volume de material removido com a redução da espessura de corte (Liu; Melkote, 2007) e está intimamente relacionado com a relação entre avanço e raio da cunha cortante.

A formação de rebarbas é um aspecto muito importante em peças usinadas, pois compromete as dimensões e o funcionamento de uma peça. Em microusinagem, a rebarbação acaba se tornando um grande problema, visto que as dimensões da rebarba se tornam relativamente grandes comparadas com as condições de corte (avanço e profundidade de corte). Isso ocorre porque a aresta da microferramenta a ser utilizada no processo pode possuir as mesmas dimensões ou até mesmo serem inferiores ao tamanho do grão da microestrutura do material da peça, fazendo com que a remoção de material possa ocorrer em um único grão (Câmara *et al.*, 2012; Dos Santos, 2016).

A profundidade de corte na microusinagem pode ser menor do que a rugosidade da superfície a ser usinada, assim o acabamento prévio pode ter efeito no processo. Considerando que os fenômenos envolvidos ainda não são claramente explicados, o principal objetivo deste trabalho é verificar a influência da rugosidade superficial inicial da peça na geometria das rebarbas geradas pelo processo de microfresamento da liga Ti6Al4V.

2. METODOLOGIA

Foram preparadas 5 amostras com dimensões de 5×5×5 mm retiradas no sentido longitudinal à laminação de uma barra da liga Ti6Al4V. Cada amostra foi embutida em baquelite de modo a facilitar o manuseio das mesmas. No processo de lixamento foi usado uma lixadeira manual. As amostras foram preparadas utilizando lixas 320, 400, 600 e 1000 mesh. Uma amostra foi polida. A amostra polida também passou pelo processo de lixamento, após o lixamento a superfície foi polida com óxido de alumínio (alumina) de 1 μm . Esta preparação teve como objetivo obter amostras com superfícies de diferentes rugosidades.

Este estudo se baseia no microfresamento de microcanais com 40 μm de profundidade, ao longo de toda a face do corpo de prova. Foram utilizados os seguintes parâmetros de usinagem: 40.000 rpm de rotação da ferramenta e velocidade de avanço de 400 mm/min, o que resulta um avanço por dente de 5 μm . A ferramenta utilizada foi uma microfresa de metal duro de topo reto com duas arestas de corte fabricada pela Mitsubishi Materials® com especificação MS2MS com 400 μm de diâmetro de corte, 800 μm de comprimento de corte e revestimento em TiAlN. A vista de topo desta ferramenta é apresentada na Fig. 1.a. Para a usinagem dos canais, foi utilizada uma microfresadora CNC de 4 eixos Mini-mill/GX do fabricante Minitech Machinery. Os eixos X, Y e Z possuem deslocamento máximos de 300 mm, 228 mm e 228 mm respectivamente. Esta máquina tem resolução de posicionamento de 0,1 μm para cada eixo.

Para não comprometer a integridade da microferramenta e a validação dos testes, foram usinados canais no baquelite próximos à peça com outra fresa de diâmetro maior, apresentados pelas setas brancas da Fig. 1.b., para que a microfresa usinasse apenas o corpo de prova de Ti6Al4V. Os microcanais foram feitos em uma direção perpendicular às marcas geradas pelo processo de lixamento das amostras. Essa configuração é apresentada pela Fig. 1.b.

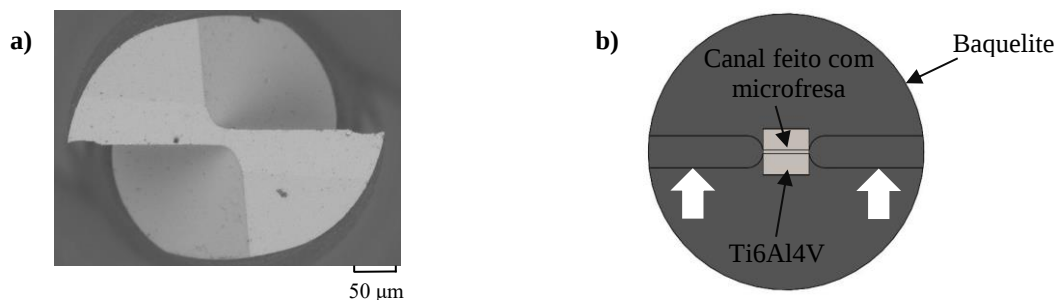


Figura 1. a) Vista de topo da microfresa de metal duro; b) Configuração final do corpo de prova após a obtenção dos microcanais. As setas brancas apontam para os canais feitos com a fresa de diâmetro de corte maior.

O posicionamento da microferramenta em um processo de microusinagem requer atenção especial, devido à dificuldade experimental e aos erros a ele associados. Este trabalho adota uma metodologia simples, mas que demanda um tempo considerável, que consiste na aproximação da ferramenta em distâncias bem pequenas, sem a utilização de um equipamento de ampliação de imagem (avaliação a olho nu). Após esta aproximação, a microferramenta é movimentada na direção axial até tocar a peça, utilizando o menor avanço da máquina (0,1 μm). O toque é percebido quando a peça é riscada.

Para a realização das medições de avaliação geométrica das rebarbas e da rugosidade gerada na preparação das amostras, foi utilizado o equipamento NewView™ 8300 Surface Profiler (non-contact benchtop surface profiler) da fabricante ZYGO, padronizando as medições com uma objetiva com aumento de 20 vezes e auxiliar de 0,5 vezes. O software de análise de dados utilizado foi o TalyMap da fabricante Taylor Hobson.

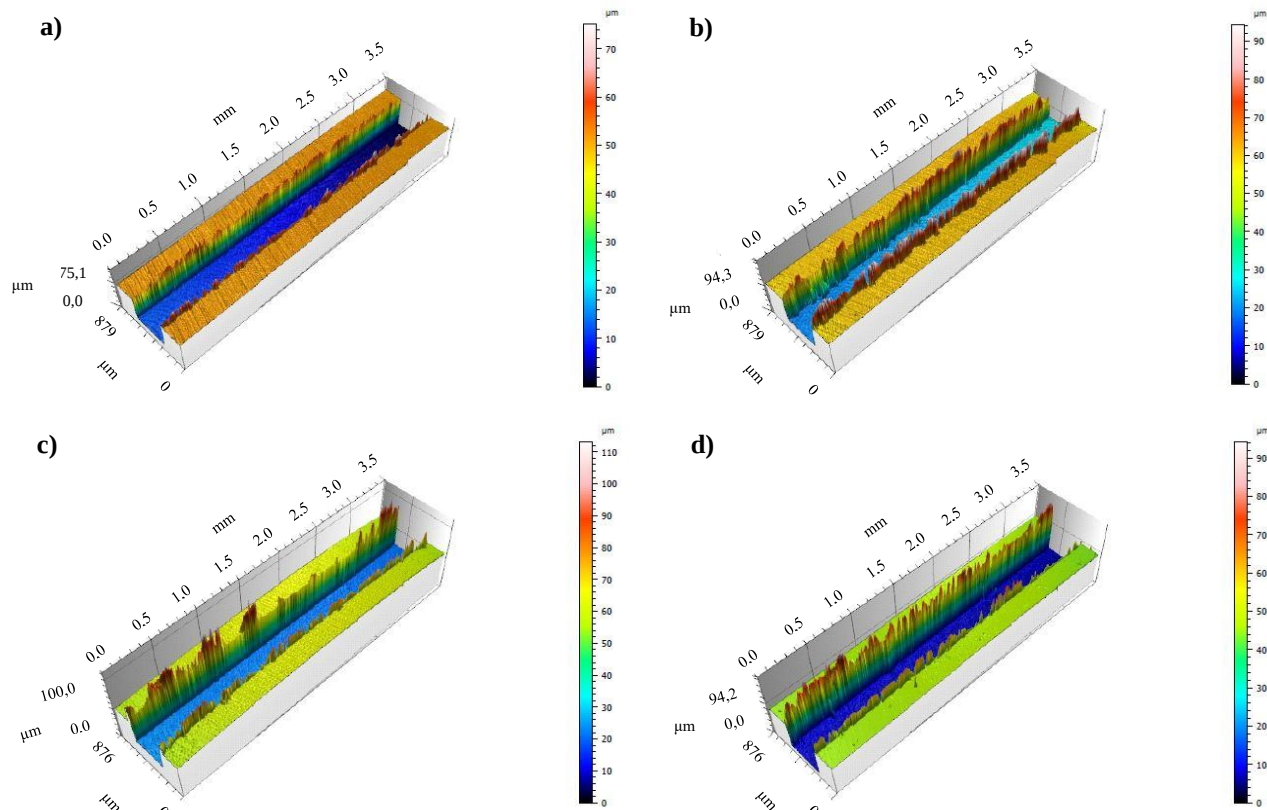
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados de rugosidade obtidos após preparação das amostras. Os parâmetros utilizados foram S_a (desvio aritmético médio superficial), S_q (desvio médio quadrático superficial) e S_t (altura total da superfície), pois são os mais utilizados na avaliação de rugosidade. Para cada amostra foram feitos três escaneamentos, a uma distância perpendicular ao centro do microcanal (não afetada pela fabricação) e as outras distanciadas de 1,25 mm a partir do centro, conforme ilustra a Fig. 2.

Tabela 1. Resultados das medições de rugosidade superficial das amostras

Amostra	Sa (µm)		Sq (µm)		St (µm)	
	Média*	Desvio Padrão**	Média*	Desvio Padrão**	Média*	Desvio Padrão**
320	0,321	± 0,035	0,397	± 0,040	2,437	± 0,331
400	0,190	± 0,021	0,243	± 0,024	1,547	± 0,180
600	0,127	± 0,003	0,167	± 0,003	1,287	± 0,031
1000	0,048	± 0,009	0,062	± 0,011	0,464	± 0,048
Polida	0,047	± 0,002	0,058	± 0,003	0,362	± 0,060

As amostras com as respectivas rugosidades mostrada na Tab. 1 foram microusinadas para avaliar o efeito do estado da superfície. A avaliação foi feita, a princípio, pela dimensão das rebarbas formadas. A Figura 3 apresenta os resultados do escaneamento 3D dos microcanais para todas as amostras. A dimensão utilizada no escaneamento foi de 3,5 mm, sendo o centro do canal o centro do escaneamento.



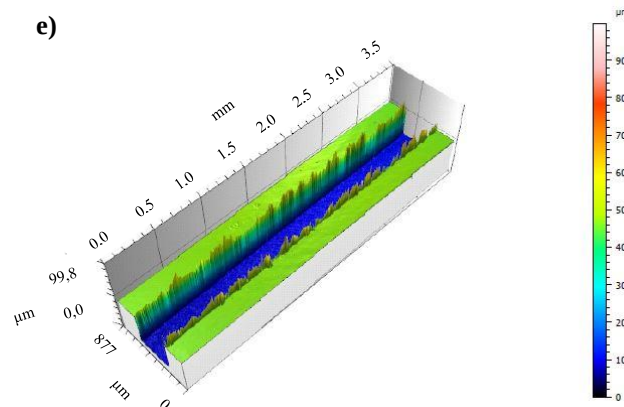
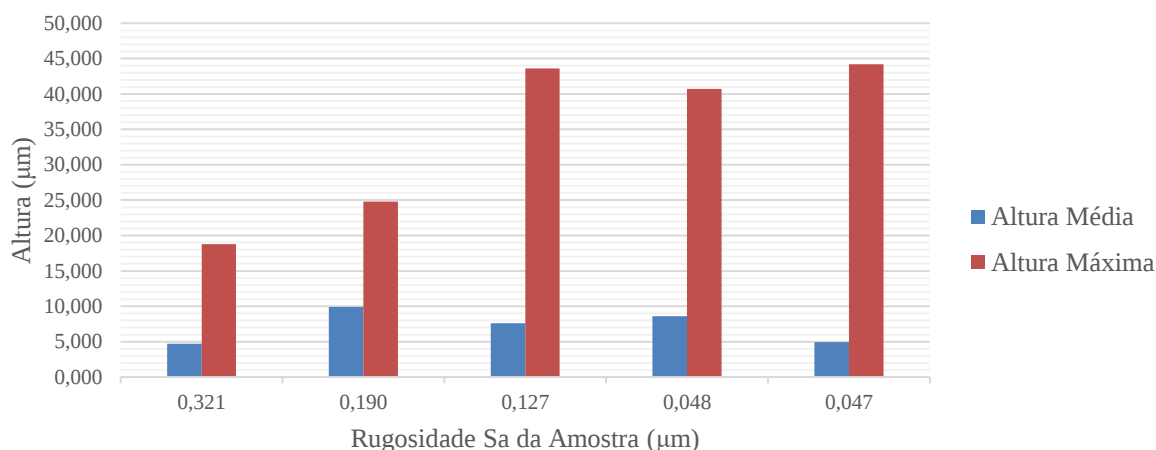


Figura 3. Resultado do escaneamento 3D dos canais das amostras a) 320; b) 400; c) 600; d) 1000 e e) Polida

A Figura 4 apresenta os resultados das medições de altura das rebarbas, que permitem a avaliação geométrica destas.

Figura 4. Avaliação das alturas das rebarbas em cada uma das amostras



O parâmetro de altura de rebarba é frequentemente utilizado para avaliar a geometria das rebarbas formadas. Neste caso, os resultados mostram que a superfície com a maior rugosidade (preparada com a lixa 320) e a superfície com a menor rugosidade (amostra polida) tiveram os menores valores de altura de rebarba. A diferença para as demais amostras é considerável em termos comparativos. Os resultados sugerem que não existe correlação entre o acabamento da superfície e a altura das rebarbas. No entanto, as rebarbas podem ser muito mais prejudiciais para as peças com melhor acabamento superficial, já que os métodos de rebarbação normalmente afetam também a superfície da peça. Novos testes devem ser realizados para identificar outros fatores que influenciam a formação das rebarbas, incluindo a metodologia de preparação das amostras adotadas neste trabalho.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que a rugosidade da superfície não afeta a altura das rebarbas formadas, dentro da faixa de valores utilizados neste trabalho. Novos testes devem ser realizados para comparar superfícies com rugosidades maiores do que as utilizadas neste trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio às pesquisas realizadas no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem da Universidade Federal de Uberlândia (LEPU/UFU) e à Taylor Hobson do Brasil pelas medições feitas utilizando o equipamento NewView™ 8300 Surface.

6. REFERÊNCIAS

- Aramcharoen, A., Mativenga, P.T., 2009, "Size effect and tool geometry in micromilling of tool steel", *Precision Engineering*, Philadelphia, v. 4, p. 402-407.
- Bissaco, G., Hansen, H.N., Chiffre, L.D., 2005, "Micromilling of hardened tool steel for mould making applications", *Journal of Materials Processing Technology*, p. 201-207.
- Câmara, M.A., Campos Rubio, J.C., Abrão, A.M., Davim, J.P., 2012, "State of the Art on Micromilling of Materials, a Review", *J. Mater. Sci. Technol.*, ed. 28(8), p. 673-685.
- Cardoso, P., Davim, P., 2012, "A Brief Review on Micromachining of Materials", *Rev. Adv. Mater. Sci.* 30, p. 98-102.
- Chae, J., Park, S., Freiheit, T., 2006, "Investigation of micro-cutting operations", *International Journal of Machine Tools & Manufacturing*, New York, v. 46, n. 3-4, p. 313-332.
- Dos Santos, A.G., 2016, "Microfresamento De Aço Inoxidável Duplex UNS S 32205 Com Ferramentas De Metal Duro Revestidas Com Nitreto De Titânio", 107 p., dissertação de mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil.
- Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y., 2003, "An Overview of the Machinability of Aeroengine Alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, v. 134, p. 233-253.
- Liu, X., Devor, R.E., Kapoor, S.G., Ehmann, K.F., 2004, "The Mechanics of Machining at the Microscale: Assessment of the Current State of the Science". *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, v.126, p. 666-678.
- Liu, K., Melkote, S.N., 2007, "Finite element analysis of the influence of tool edge radius on size effect in orthogonal micro-cutting process", *International Journal of Mechanical Sciences*, v. 49, p. 650-660.
- Masuzawa, T., 2000, "State of the art of micromachining", *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Amsterdam, v. 49, n. 2, p. 473-488.
- Samuel, J., Rafiee, J., Dhiman, Z., Yu, Z.-Z., Koratkar, N., 2011, "Graphene Colloidal Suspensions as High Performance Semi-Synthetic Metal-Working Fluids", *The Journal of Physical Chemistry C*, v. 115, p. 3410-3415.
- Sempétergui-Tapia, D.F., Ribatski, G., 2017, "The effect of the cross-sectional geometry on saturated flow boiling heat transfer in horizontal micro-scale channels", *Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 89, p. 98-109.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF INITIAL SURFACE ROUGHNESS ON THE FORMATION OF BURRS IN MICROMILLING OPERATION OF Ti6Al4V ALLOY

Guilherme Henrique Alves Andrade

Maksym Ziberov

Aline Gonçalves dos Santos

Márcio Bacci da Silva

Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG, 38408-100
guilherme.h.andrade@ufu.br; ziberov@hotmail.com; alinegsantos_23@hotmail.com; mbacci@ufu.br

Abstract. The micro-machining process is an important manufacturing process of pieces that have dimensions in the order of micrometers. In this situation, the mechanism of chip formation differs from the conventional processes, as well as the phenomena involved, such as burr formation. In the case of micro-machining, the burr can be much more critical as it takes on relatively much larger dimensions when compared to the cutting parameters. Furthermore deburring process is more difficult. Feed rate and depth of cut in micro-machining assume much lower values compared to conventional machining. Thus, the preparation of the specimen to be machined can affect the process, mainly in the dimensions of the burrs. Thus, this work investigates the influence of the initial surface roughness of the test specimen on the formation of burr when micromilling Ti6Al4V alloy. Samples with different surface roughness are machined: sandpaper 320, 400, 600, 1000 and polished. The results shown that the lower burr heights were obtained in the samples prepared with sandpaper 320 and polished with aluminum oxide. For these conditions the burr heights were, respectively, 4.72 μm and 4.92 μm .

Keywords: micro-machining, micromilling, burr, Ti6Al4V

RESPONSIBILITY NOTICE

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