

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE CORTE DA MICROFERRAMENTA NO DESGASTE DE MICROFRESAS

Milla Caroline Gomes

Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - CX 593 - Uberlândia - MG - CEP 38408-100
millagomes@ufu.br

Márcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - CX 593 - Uberlândia - MG - CEP 38408-100
mbacci@ufu.br

Resumo. O desgaste nas ferramentas de corte é inevitável e se torna ainda mais crítico nos processos de microusinagem, devido ao tamanho reduzido das microferramentas. Além disso, o desgaste possui relação com a flexão apresentada pelas ferramentas de corte. Ferramentas rígidas possuem menor flexão e consequentemente maior vida. Em vista da relação do desgaste com a flexão das microferramentas, este trabalho investigou a influência do comprimento de corte, de 600 μm e 800 μm , no desgaste de microfresas. Para isso, microcanaís foram fabricados pelo processo de microfresamento utilizando microfresas de metal duro revestidas com (Al, Ti)N com diâmetro de 400 μm . Os ensaios foram realizados em uma microfresadora CNC de 3 eixos. O desgaste foi medido pela sobreposição das imagens de topo das microfresas obtidas por microscópio eletrônico de varredura (MEV). Os resultados mostraram que o comportamento da curva de desgaste na microusinagem foi semelhante ao apresentado na curva de desgaste dos processos de usinagem convencional em escala macro. Além disso, a microfresa de menor comprimento de corte (600 μm) apresentou uma maior vida, devido a menor flexão.

Palavras chave: Microusinagem. Microfresamento. Desgaste. Flexão. Aço Inoxidável

1. INTRODUÇÃO

Nos processos de usinagem, a geometria das ferramentas de corte é alterada devido a ocorrência de avarias, desgaste e deformação plástica, mesmo que as condições de corte sejam selecionadas de maneira adequada e que o material da ferramenta possua tenacidade suficiente para resistir a ocorrência das avarias (Machado et al., 2011).

Para os processos de microusinagem o desgaste se torna ainda mais crítico em comparação com os convencionais. Isso ocorre devido ao tamanho reduzido das ferramentas de corte (Rahman; Kumar; Prakash, 2001).

Os mecanismos de desgaste nos processos de microusinagem são considerados complexos, pela presença do efeito escala, que faz com que a microferramenta esteja exposta a uma variação não linear de força e energia específica de corte (Jiju; Asams; Jose, 2017).

O desgaste das microferramentas é influenciado pelo seu comprimento em balanço, ou seja, o desgaste possui relação com a flexão apresentada pelas microferramentas. Quanto mais rígida estiver a microferramenta no processo de corte, menor será o desgaste desta (Weingaertner, 2004). Essa flexão é induzida pelas componentes da força de usinagem que atuam nas arestas de corte da microferramenta durante o processo de corte (Huo et al., 2017).

Mijušković, Krajnik e Kopač (2015) analisaram a flexão radial de microfresas de topo esférico, com diâmetro de 0,6 mm e comprimentos (L) iguais a 6 mm e 9 mm. A modelagem foi realizada por meio do modelo de Euler- Bernoulli, considerando as microferramentas como vigas engastadas em uma extremidade e livre na outra. Nesse modelo a flexão ($\delta(x)''$) é dada pela Eq. 1:

$$E I(x) \delta(x)'' = M \quad (1)$$

onde E corresponde ao módulo de elasticidade, I(x) ao segundo momento de área e M ao momento de flexão.

No trabalho o modelo foi desenvolvido para encontrar a flexão de quatro seções das microfresas, as quais são: haste, parte cônica, parte estreita e parte de corte, conforme apresentado na Fig. 1.

De acordo com os resultados obtidos, os autores concluíram que a contribuição da haste para a flexão de ambas as microfresas, corresponde a 0,7%, sendo, portanto, a parte mais rígida da ferramenta. A parte que mais contribui para a flexão da ferramenta foi a estreita, que apresentou uma contribuição de 83,1% para a microfresa mais longa (L = 9 mm), e para a microfresa mais curta (L = 6 mm), apresentou contribuição igual a 73,8%.

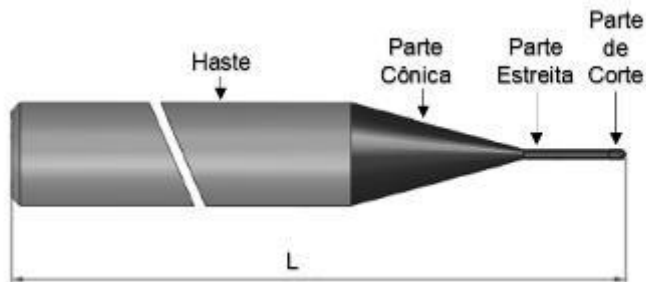


Figura 1 - Partes das microfresas de topo esférico (Adaptado de MIJUŠKOVIĆ; KRAJNIK; KOPAČ, 2015)

Para que a flexão das microferramentas seja reduzida e, conseqüentemente, apresentem menor desgaste, pode-se diminuir o comprimento em balanço das ferramentas, aumentar a rigidez do porta-ferramentas, ou utilizar ferramentas e porta-ferramentas com maior módulo de elasticidade (Lee; Dornfeld; David, 2004).

Ao reduzir o comprimento em balanço das ferramentas algumas variáveis do processo poderão ser afetadas, como a taxa de remoção de material. Nem sempre a ferramenta com menor comprimento em balanço, a de menor comprimento de corte, apresentará maior taxa de remoção de material. A ferramenta que terá essa maior taxa será a que estiver sendo utilizada com condições de corte (rotação, avanço, velocidade de corte e profundidade de corte) e frequência natural que se encontram na zona de estabilidade do Diagrama de Lóbulos (Neto; Diniz; Pederiva, 2016).

Além da flexão depender do comprimento em balanço, depende do diâmetro da microferramenta e do desgaste que a ferramenta sofre no processo de usinagem. Essa relação da flexão com o desgaste ocorre pois, à medida que a ferramenta desgasta as forças aumentam, tendo como consequência o aumento da flexão das ferramentas (Oliaei; Karpát, 2016).

Com o objetivo de verificar a influência do comprimento de corte no desgaste das microferramentas, este trabalho irá estudar a evolução do desgaste em microfresas de metal duro, revestidas com (Al, Ti)N, com comprimentos de corte de 600 μm e 800 μm no processo de microfresamento do aço inoxidável AISI 316L.

2. METODOLOGIA

O material utilizado na realização dos ensaios foi o aço inoxidável austenítico AISI 316L fornecido pela Villares Metals. Este possui fácil usinabilidade por conter uma maior quantidade de enxofre, entre outros controles. A composição química em porcentagem de peso está apresentada na Tab. 1.

Tabela 1 - Composição química do aço inoxidável 316L

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Porcentagem	≤ 0,030	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,045	≤ 0,030	16,00 – 18,00	10,00 – 14,00	2,00 – 3,00

O microfresamento de topo foi o processo utilizado para a fabricação de microcanais. A microfresadora usada consistiu em uma máquina-ferramenta modelo CNC Mini-mill/GX, fabricada pela Minitech Machinery Corporation®. Esta máquina possui rotação máxima do eixo árvore de 60 000 rpm, 3 eixos com resolução de posicionamento de 0,1 µm. A máquina-ferramenta está instalada sobre uma mesa inercial, especialmente projetada para diminuir a influência de vibrações de fontes externas durante a realização da microusinagem.

As microfresas que foram utilizadas são de metal duro, revestidas com (Al, Ti)N, fabricadas pela Mitsubishi Materials. Possuem Estas são constituídas por duas arestas de corte, diâmetro de corte igual a 400 μm e comprimentos de corte de 600 μm e 800 μm .

A condição de corte selecionada para a realização dos ensaios está disposta na Tabela 2. Esta condição foi determinada no pré-teste, por meio da análise qualitativa das rebarbas formadas nos microcanais, sendo escolhida a que apresentou menor formação de rebarbas. Conforme pode-se observar na Tab. 2, o comprimento de corte das microfresas foi o único parâmetro que variou.

Tabela 2 - Condições de Corte

Comprimento de Corte (μm)	Rotação (rpm)	Velocidade de Corte (m/min)	Avanço por dente (μm/dente)	Velocidade de Avanço (mm/min)	Profundidade de Corte (μm)	Penetração de Trabalho (μm)
600	60 000	75,4	5	600	40	400
800						

Para a medição do desgaste, primeiramente, foram obtidas imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) das ferramentas novas. Após a usinagem de cada microcanal, as ferramentas foram retiradas da microfresadora e levadas ao MEV, para obtenção de imagens. O desgaste foi obtido por meio da sobreposição das imagens da superfície de folga secundária (imagens de topo) das ferramentas novas e usadas, utilizando o software Adobe Photoshop CC. A medição foi realizada com software Image J. O desgaste foi estabelecido para cada uma das duas arestas de corte, como a diferença entre a posição da ponta da ferramenta nova com a desgastada.

É importante ressaltar a dificuldade de estabelecer um método de medição do desgaste, devido a adesão de material da peça de trabalho nas ferramentas durante a microusinagem. Outros métodos foram testados, sendo este apresentado o que melhor possibilitou a medição.

No presente trabalho foi analisado a evolução do desgaste das microfresas observando os valores obtidos para somente uma aresta de corte, uma vez que o comportamento do desgaste das duas arestas é semelhante. Neste trabalho foi adotado como critério de fim de vida da microferramenta um desgaste de ponta de $13,29\text{ }\mu\text{m}$. Esse critério foi determinado por meio da análise quantitativa da rugosidade dos microcanais fabricados, uma vez que, para um desgaste superior ao critério adotado a rugosidade apresentou um grande aumento, sendo este de aproximadamente três vezes maior que a média dos valores obtidos para os microcanais nos quais as ferramentas apresentaram desgaste menor que o critério estabelecido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 2 e 3 tem-se a evolução do desgaste obtido ao utilizar microfresas com comprimento de corte de $800\text{ }\mu\text{m}$ e $600\text{ }\mu\text{m}$, respectivamente. Os valores apresentados nas duas figuras são referentes ao desgaste de ponta medido na aresta da direita das microferramentas mostradas nas imagens.

Ao observar as Figuras 2 e 3 nota-se que o comportamento do desgaste das microfresas se assemelhou ao das ferramentas de corte convencionais, onde a curva que representa o desgaste pode ser dividida em três estágios (Santos; Da Silva; Jackson, 2018). O primeiro estágio é caracterizado por um desgaste acelerado devido a adequação da ferramenta ao sistema tribológico (Machado et al., 2011), na Figura 2 esta região se refere ao desgaste que varia de 0 a $7,48\text{ }\mu\text{m}$, enquanto para a Figura 3 varia de 0 a $6,12\text{ }\mu\text{m}$. No segundo estágio, a taxa de desgaste diminui por a ferramenta está adaptada ao processo e aos mecanismos de desgaste presentes (Machado et al., 2011), conforme apresentado nos pontos correspondentes aos desgastes de $7,48\text{ }\mu\text{m}$ a $9,32\text{ }\mu\text{m}$ para a Figura 2 e de $6,12\text{ }\mu\text{m}$ a $12,18\text{ }\mu\text{m}$ para a Figura 3. Já no terceiro estágio, tem-se um aumento acentuado da taxa de desgaste que leva a ferramenta, em curto intervalo de tempo, ao fim de sua vida (Machado et al., 2011). Esse estágio está representado na Figura 2 a partir do desgaste de $9,32\text{ }\mu\text{m}$ e para a Figura 3 a partir de $12,18\text{ }\mu\text{m}$.

É importante ressaltar que na Figura 2, para o comprimento usinado de $61,70\text{ mm}$ houve uma redução do valor medido do desgaste em relação ao comprimento anterior, de $49,36\text{ mm}$. Isto ocorreu devido ao material aderido à microfresa que dificultou a medição neste comprimento. Tal fato, demonstra a dificuldade de se determinar o desgaste para os processos de microusinagem devido as dimensões micrométricas das ferramentas de corte.

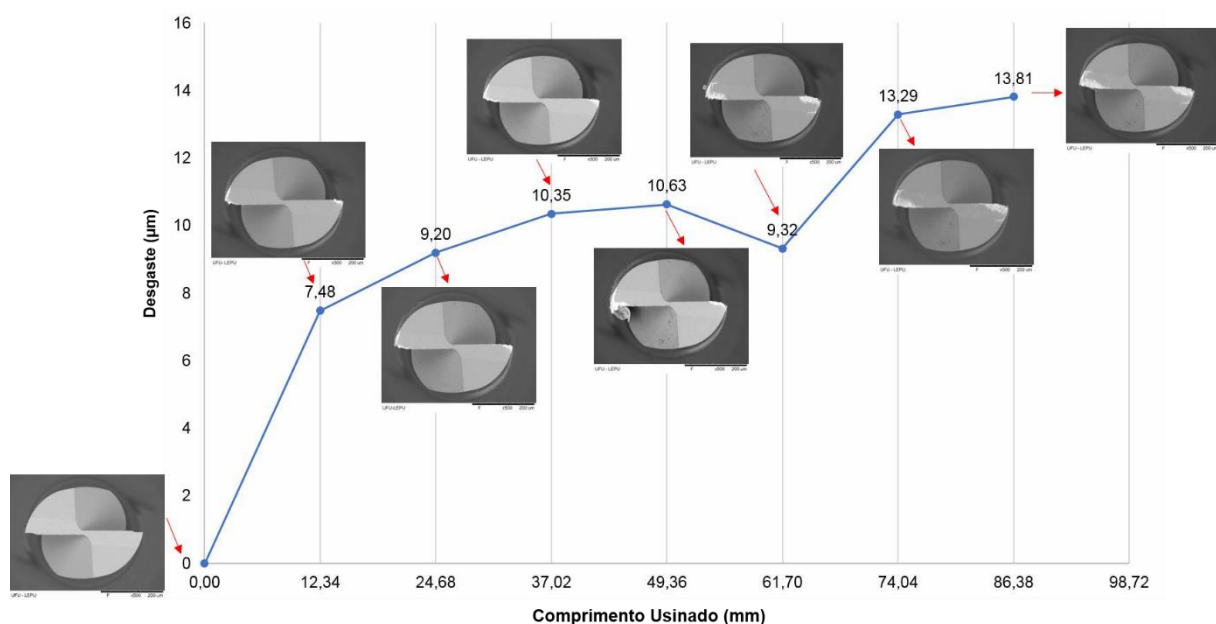


Figura 2 - Evolução do desgaste da aresta de corte à direita ao usar microfresa de comprimento e velocidade de corte iguais a $800\text{ }\mu\text{m}$ e $75,4\text{ m/min}$, respectivamente

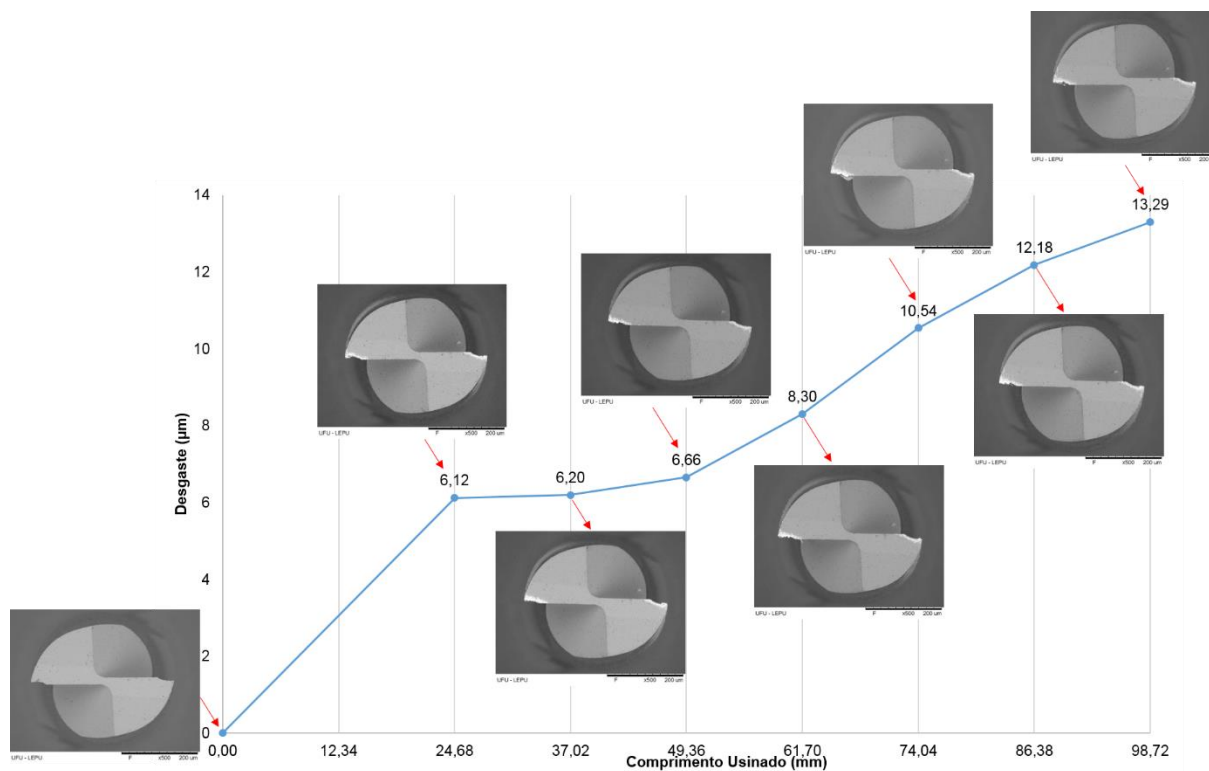


Figura 3 - Evolução do desgaste da aresta de corte à direita ao usinar com microfresa de comprimento e velocidade de corte iguais a 600 µm e 75,4 m/min, respectivamente

Ao analisar a influência do comprimento de corte das microfresas, de 600 µm e 800 µm, no desgaste obtido para cada uma, era esperado que a microfresa de menor comprimento apresentasse maior vida em comparação com os resultados obtidos para a microfresa de maior comprimento, pois assim como nos processos de usinagem convencional em escala macro, as ferramentas de menor comprimento de corte na microusinagem possuem maior rigidez do que as de maior comprimento, o que resulta em menor flexão da mesma no processo, e consequentemente, em maior vida (Weingaertner, 2004; Vieira; De Almeida, 2006).

Os resultados foram correspondentes ao esperado, conforme pode-se verificar nas Figuras 2 e 3, uma vez que para o critério de fim de vida de 13,29 µm, a microfresa de menor comprimento usinou 98,72 mm, enquanto que a microfresa de maior comprimento usinou 74,04 mm.

4. CONCLUSÕES

Ao analisar o comportamento do desgaste em microfresas, foi possível observar que o desgaste das microfresas em função do comprimento usinado é semelhante ao desgaste das macroferramentas, onde a curva que representa o desgaste pode ser dividida em três estágios.

Além disso, foi observado que a microfresa de menor comprimento de corte (600 µm) apresentou maior vida, em comparação com o resultado obtido para a microfresa de maior comprimento (800 µm), aproximadamente 30%, por nesta condição a microferramenta apresentar maior rigidez e, portanto, menor flexão.

3. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, e às agências de fomento governamentais CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro. Agradecemos também à comissão organizadora do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação.

4. REFERÊNCIAS

Huo, D., Chen, W., Teng, X., Lin, C. e Yang, K., 2017. "Modeling the influence of tool deflection on cutting force and surface generation in micro-milling". *Micromachines*, Vol. 8, n. 6, p. 188.

- Jiju, V.E., Asams. S. e Jose, M., 2017. "Experimental Investigation of The Tool Wear Mechanism During Micro Turning On Ti-6Al-4V Alloy". *Proceedings of 10th International Conference on Precision, Meso, Micro and Nano Engineering (COPEN 10)*.
- Lee, K., Dornfeld, D. A. e David, A., 2004. "A Study of Surface Roughness in the Micro End Milling Process". *Consortium on Deburring and Edge Finishing*, p. 1-8.
- Machado, A. R., Silva, M. B., Coelho, R.T. e Abrão, A.M., 2011. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. 2a edição. São Paulo: Blucher.
- Mijušković, G., Krajnik, P. e Kopač, J., 2015. "Analysis of tool deflection in micro milling of graphite electrodes". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 76, n. 1-4, p. 209-217.
- Neto, H. K., Diniz, A. E. e Pederiva, R., 2016. "Influence of tooth passing frequency, feed direction, and tool overhang on the surface roughness of curved surfaces of hardened steel". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 82, n. 1-4, p. 753-764.
- Oliaei, S. N. B. e Karpas, Y., 2016. "Influence of tool wear on machining forces and tool deflections during micro milling". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 84, n. 9-12, p. 1963-1980.
- Rahman, M., Kumar, A. S. e Prakash, J. R. S., 2001. "Micro milling of pure copper". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 116, n. 1, p. 39-43.
- Santos, A. G., Da Silva, M. B. e Jackson, M. J., 2018. "Tungsten carbide micro-tool wear when micro milling UNS S32205 duplex stainless steel". *Wear*, Vol. 414-415, p. 109-117.
- Vieira, G. H., De Almeida, S. F. M., 2006. "Análise de vibração livre de ferramentas para usinagem em alta velocidade". *Anais do 12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XII ENCITA*.
- Weingaertner, W. L. 2004, "Influência do comprimento em balanço da ferramenta sobre a estabilidade dinâmica do fresamento de topo reto a altas velocidades". Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Influence of the cutting length of microtools on the wear of the micro end mills

Milla Caroline Gomes

Federal University of Uberlandia - Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - CX 593 - Uberlândia - MG - CEP 38408-100
millagomes@ufu.br

Marcio Bacci da Silva

Federal University of Uberlandia - Av. João Naves de Ávila 2121 - Campus Santa Mônica - CX 593 - Uberlândia - MG - CEP 38408-100
mbacci@ufu.br

Abstract. Wear on cutting tools is inevitable and becomes even more critical in micro-machining processes due to the reduced size of the microtools. In addition, the wear is related to the flexure presented by the cutting tools. Rigid tools have less flexion and consequently longer life. In view of the correlation of wear and flexion of the micro tools, this work investigated the influence of the cut length, of 600 μm and 800 μm , on the wear of micro end mills. For this, microslots were manufactured by micromilling using (Al, Ti) N coated carbide micro end mills which have a cut diameter of 400 μm . The tests were performed in a 4 axis CNC micromill machine tool. The wear was measured by the superimposition of the top images of the microtools obtained by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that the behavior of the wear curve in the micromachining was similar to that presented in the wear curve of conventional macro-scale machining processes. In addition, it was found that when using the microtools with shorter cut lengths (600 μm) the life of the microtool was higher, due to less flexion for this condition.

Keywords: Micromachining. Micromilling. Wear. Flexion. Stainless Steel

RESPONSIBILITY NOTICE

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