

INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE MICROFRESAS DE METAL DURO NA MICROUSINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205

Aline Gonçalves dos Santos, Universidade Federal de Uberlândia, alinegsantos_23@hotmail.com

Mayara Fernanda Pereira, Universidade Federal de Uberlândia, mayaraufu2011@gmail.com

Bruno Souza Abrão, Universidade Federal de Uberlândia, brunoabrao53@gmail.com

Daniel Fernandes da Cunha, Universidade Federal de Uberlândia, danielcunha85@gmail.com

Mark J. Jackson, Kansas State University, jacksonmj04@yahoo.com

Márcio Bacci da Silva, Universidade Federal de Uberlândia, mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo. Nas operações de usinagem convencional, desgaste de ferramenta é um tema bastante discutido, entretanto, no processo de microusinagem, este é um assunto ainda pouco explorado. As considerações feitas para desgaste de ferramenta na macrousinagem podem não ser válidas para o processo de microusinagem devido às pequenas dimensões envolvidas neste. Um pequeno desgaste em uma microferramenta pode eliminar metade de uma de suas arestas, podendo duplicar a força de corte na outra aresta. Sendo assim, destaca-se a importância de estudar o desgaste de ferramenta no processo de microusinagem e de encontrar formas de minimizá-lo, sendo, geralmente, uma das maneiras possíveis a utilização de fluido de corte. A possibilidade do fluido de corte atuar de forma positiva no desgaste de microferramenta, minimizando-o, motivou a realização do presente trabalho, que tem como principal objetivo analisar a influência do fluido de corte no desgaste em microfresas de metal duro no processo de microfresamento do aço inoxidável duplex UNS S32205. Para tanto, foram realizados ensaios para fabricação de microcanais, utilizando uma microfresadora CNC de 4 eixos e microfresas de metal duro revestidas com TiN de 381 μm de diâmetro. Pré-testes foram realizados a fim de escolher as condições de corte mais adequadas. A ferramenta foi examinada, antes e após cada ensaio, no microscópio eletrônico de varredura. Os resultados mostram que o uso do fluido de corte exerceu influência negativa no desgaste da ferramenta, ou seja, o seu uso implicou em menor tempo de vida da ferramenta.

Palavras chave: microfresamento, desgaste, fluido de corte, aço inoxidável duplex.

1. INTRODUÇÃO

Desgaste de ferramenta é considerado como a ocorrência de deformação ou de perda gradual de material, durante o corte, ocasionando alteração da geometria da ferramenta a partir da sua forma original (ISO 3685, 1993).

Nas operações de usinagem convencional, desgaste de ferramenta é um tema bastante discutido, entretanto, as considerações feitas podem não ser válidas para o processo de microusinagem devido às pequenas dimensões envolvidas neste processo e as suas influências nos diversos desenvolvimentos que não são considerados no caso da macrousinagem (Rahman; Kumar; Prakash, 2001).

Um pequeno desgaste em uma ferramenta convencional pode aumentar uma pequena porcentagem da força de corte, podendo danificar o acabamento superficial. Já na microusinagem, um pequeno desgaste pode eliminar metade de uma das arestas da microferramenta, podendo duplicar a força de corte na outra aresta de corte. Sendo assim, se faz necessário discutir o mecanismo de desgaste das ferramentas utilizadas na microusinagem (Rahman; Kumar; Prakash, 2001). Dessa forma, destaca-se a importância de estudar o desgaste de ferramenta no processo de microusinagem e de encontrar formas de minimizá-lo, sendo, geralmente, uma das maneiras possíveis a utilização de fluido de corte.

Nesse sentido, alguns pesquisadores têm desenvolvido trabalhos que englobam os efeitos das condições de refrigeração e lubrificação no processo de microfresamento como, por exemplo, Vazquez *et al.* (2015). Os autores realizaram ensaios a seco, utilizando emulsão convencional (a jato), MQL na direção de avanço e MQL na direção oposta à de avanço, sendo o material usinado a liga Ti-6Al-4V. Em cada condição, o desgaste da ferramenta foi analisado através da perda no diâmetro da ferramenta. Foi observado que, na aplicação a jato, o desgaste da ferramenta foi em torno de três vezes maior do que o atingido nas demais condições de lubrificação/refrigeração. Analisando o desgaste, apenas numericamente, notou-se que no ensaio realizado a seco e com MQL (em ambas as direções), o desgaste foi semelhante e pequeno. Entretanto, ao observar as imagens da ferramenta, os autores notaram que ela, ao se utilizar MQL na direção de avanço, se mostrou em melhores condições do que as demais ferramentas. Com relação à formação de rebarba, foi observado que esta é reduzida quando a técnica de MQL é utilizada. De forma geral, a utilização de MQL na direção de avanço mostrou resultados melhores que as técnicas tradicionais de refrigeração (Vazquez *et al.*, 2015).

Já Zhang e Jun (2013) desenvolveram um sistema de aplicação do fluido e verificaram o desempenho de quatro fluidos diferentes: água atomizada por ultrassom; óleo de canola nebulizada; água e óleo misturados; e solução a 5% TRIM. Os pesquisadores concluíram que as condições onde se utilizou somente água e água mais óleo foram as que atuaram de forma que um número maior de canais fosse feito até que a fratura da ferramenta fosse atingida. Resultado diferente do esperado, onde ao utilizar apenas água foi fornecido um melhor resultado em comparação com a condição de se utilizar apenas óleo. De acordo com os autores, isso significa que para o material usinado (aço 1018), o aumento da temperatura atua de maneira mais expressiva, sendo a capacidade de refrigeração mais importante para melhorar o processo de corte e vida útil da ferramenta (Zhang e Jun, 2013).

Apesar de já estar sendo estudado por demais pesquisadores, o efeito do uso do fluido de corte no desgaste de ferramenta no processo de microusinagem é um assunto ainda pouco explorado. Além disso, a análise do desgaste se restringe normalmente à verificação da mudança no raio de aresta e diâmetro da ferramenta. Sendo assim, há muitas análises a serem feitas no que se refere à influência do fluido de corte no desgaste ocorrido durante o processo de microusinagem. Dessa forma, o presente trabalho tem como principal objetivo analisar a influência do fluido de corte no desgaste em microfresas de metal duro no processo de microfresamento do aço inoxidável duplex UNS S32205.

2. METODOLOGIA

O material utilizado nos ensaios foi o aço inoxidável duplex UNS S32205 fornecido pela empresa Aperam. Primeiramente, foi realizada uma análise microestrutural do mesmo, para tanto, foram feitos os procedimentos de lixamento, polimento e ataque químico, onde foram observadas a presença das duas fases características desse tipo de aço inoxidável, ferrita e austenita, como pode ser observado na imagem da Fig. (1).

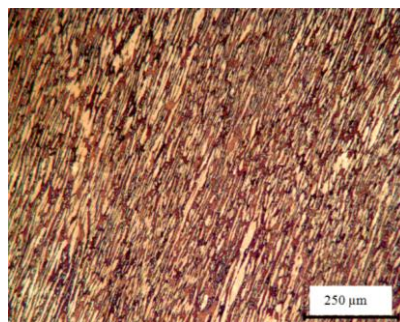


Figura 1. Microestrutura do aço inoxidável duplex UNS 32205

O processo utilizado para realização dos ensaios foi o microfresamento. Para tanto, utilizou-se uma microfresadora CNC de 4 eixos (Fig. (2)) do fabricante Minitech Machinery Corporation. A característica mais importante desta máquina ferramenta é a rotação máxima do eixo árvore, 60000 rpm. Esta máquina tem resolução de posicionamento de 0,1 µm.

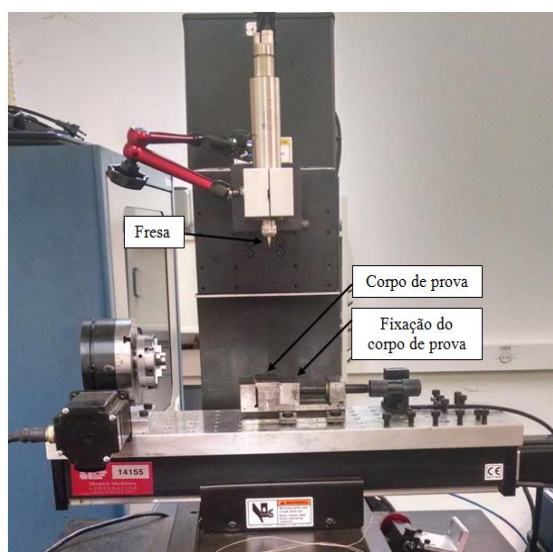


Figura 2. Microfresadora utilizada nos ensaios

No que se refere às ferramentas empregadas, estas foram microfresas de metal duro de 381 μm de diâmetro revestidas com TiN, fabricadas pela empresa Performance Microtools.

As condições de corte, escolhidas através de oito pré-testes realizados, estão dispostas na Tab. (1). Nota-se que se variou somente a rotação, isto para observar o efeito da velocidade de corte sobre o desgaste da ferramenta.

Tabela 1. Condições de corte utilizadas

Avanço ($\mu\text{m}/\text{dente}$)	Profundidade de corte (μm)	Rotação (rpm)
1,5	30	20000
1,5	30	30000

Para que fosse possível a análise do desgaste da ferramenta, foi necessária a preparação do corpo de prova de maneira que o comprimento de corte fosse pequeno. Para tanto, foi feito um ressalto na barra fornecida, dividindo a face superior (a ser usinada) em duas partes, nas extremidades, de, aproximadamente, 4,3 milímetros cada. A Fig. 2 mostra o corpo de prova preparado e fixado na morsa.

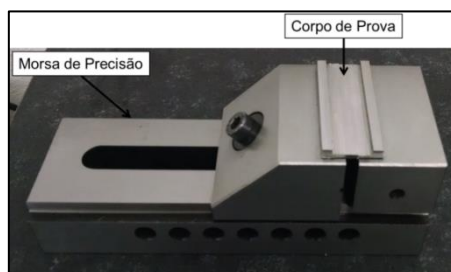


Figura 3. Corpo de prova para análise do desgaste

Para posterior análise do desgaste, por meio da comparação das ferramentas desgastadas com as novas, fotos de cada microfresa nova foram tiradas. Foram feitas imagens do topo da ferramenta e das duas arestas de corte da mesma. Além disso, verificou-se a integridade das microfresas, analisando se apresentavam alguma não conformidade, desgaste ou até mesmo quebra. Para tanto, utilizou-se o Microscópio Eletrônico de varredura (MEV). Subsequente à análise das ferramentas novas, os ensaios foram conduzidos, sendo utilizadas as condições de corte escolhidas por meio dos pré-testes realizados.

Foram realizados ensaios a seco e utilizando fluido de corte, com o objetivo de verificar sua influência no desgaste da microfresa. Como recomendado pela IMO para usinagem do aço inoxidável duplex, o fluido utilizado na realização dos ensaios foi o óleo vegetal puro com aditivos EP. Utilizou-se da técnica de MQL, sendo a vazão utilizada de 40,7 ml/h. O fluxo do fluido foi direcionado contra a direção de avanço.

Após a usinagem de cada microcanal, a ferramenta foi retirada da microfresadora e levada ao MEV para análise. Ressalta-se que foram feitas imagens das ferramentas desgastadas nas mesmas posições e escala das ferramentas novas. Além disso, imagens da superfície de saída da ferramenta foram obtidas, a fim de possibilitar posterior análise dos mecanismos de desgaste.

Para possibilitar a medição do desgaste, as imagens das ferramentas desgastadas foram sobrepostas às novas, utilizando o *software* Adobe Photoshop CC. Cabe ressaltar que se tentaram diversas maneiras de realizar esse procedimento, sendo a mais adequada, a utilização desse *software*.

Posterior à realização dessa etapa, onde foi feita a sobreposição da imagem da ferramenta desgastada sobre a nova, pôde-se medir o desgaste após cada passe. O desgaste foi medido na superfície principal de folga por meio da distância encontrada através da diferença do tamanho da ponta da ferramenta nova com a desgastada. Para tanto, utilizou-se o *software* ImageJ 1.43u.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura (4) mostra a evolução do desgaste para rotação de 30000 rpm. Observa-se que o comportamento do desgaste apresentado pela microferramenta foi semelhante ao que é apresentado por uma ferramenta na usinagem convencional, onde pode-se identificar três regiões distintas. A região um, no gráfico analisado, se refere ao desgaste que vai de 0 a 7,57 μm , desgaste este que aparece logo após o primeiro passe. Nessa região, onde ocorrem os primeiros instantes do corte, a ferramenta experimenta um desgaste acelerado (Machado *et al.*, 2011). A região dois, onde o

desgaste cresce de maneira constante, é determinada pelos pontos em que o desgaste foi de 7,57 a 12,65 μm . Nesse estágio, a ferramenta já está adaptada ao processo e os mecanismos de desgaste atuam de maneira uniforme até uma nova inflexão ser atingida (Machado *et al.*, 2011). Quando essa inflexão é atingida, se inicia a região três, que no gráfico, se dá a partir do desgaste de 12,65 μm , no qual nota-se uma aceleração do desgaste, até que a quebra da ferramenta fosse atingida. Ao analisar o último canal usinado, observa-se que, desde o início deste, a rebarba de topo foi bem maior do que nos outros canais, o que sugere que a ferramenta quebrou ao entrar na peça ou logo no início do canal. Vale ressaltar que o desgaste para as duas arestas de corte apresentaram o mesmo comportamento.

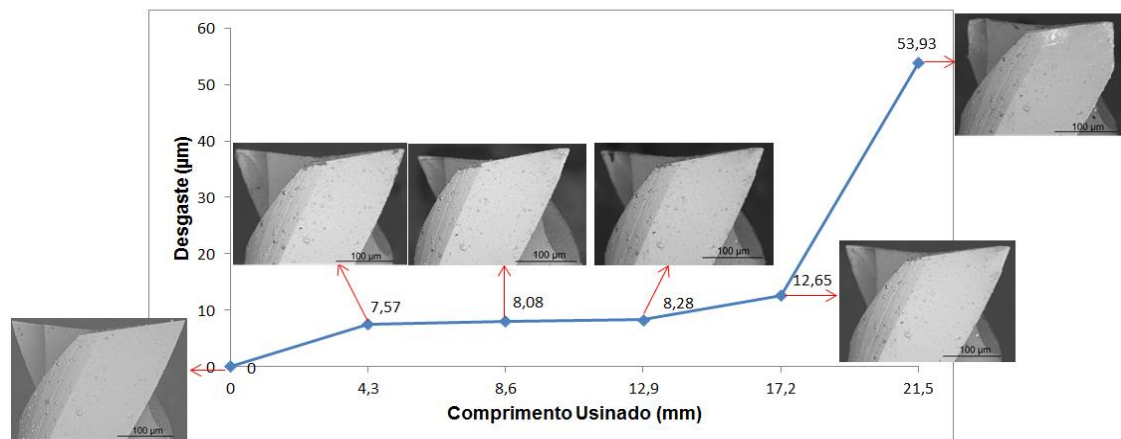


Figura 4. Comportamento do desgaste na superfície principal de folga da microfresa em função do comprimento usinado, ao usinar com a rotação de 30000 rpm

A Figura (5) mostra a evolução do desgaste da microferramenta no transcorrer dos ensaios, utilizando fluido de corte. Como pode ser observado, após o quarto passe ou durante o fresamento deste comprimento de usinagem, de 12,9 a 17,2 mm, a ferramenta quebrou. Ao se comparar esse comportamento com o apresentado pelo desgaste da ferramenta nos ensaios realizados a seco, nota-se que, ao utilizar fluido de corte, a ferramenta usinou um comprimento menor até a sua quebra ser atingida. Entretanto, vale ressaltar que a diferença foi pequena, tendo em vista que a ferramenta, nos ensaios a seco, quebrou logo no início da usinagem do quinto canal, ou seja, o comprimento usinado até a sua quebra também foi próximo de 17,2 mm. Esse resultado se difere do que geralmente é esperado e apresentado pela usinagem convencional, tendo em vista que neste processo o fluido costuma atuar de forma positiva, reduzindo o desgaste da ferramenta. Sugere-se que o uso do fluido de corte por meio da técnica de MQL atuou como refrigerante do material do corpo de prova, tornando-o mais resistente e aumentando a força de cisalhamento, o que leva ao maior desgaste da ferramenta. Uma futura análise para buscar o entendimento da influência negativa do fluido de corte no desgaste da ferramenta será feita com maior detalhamento.

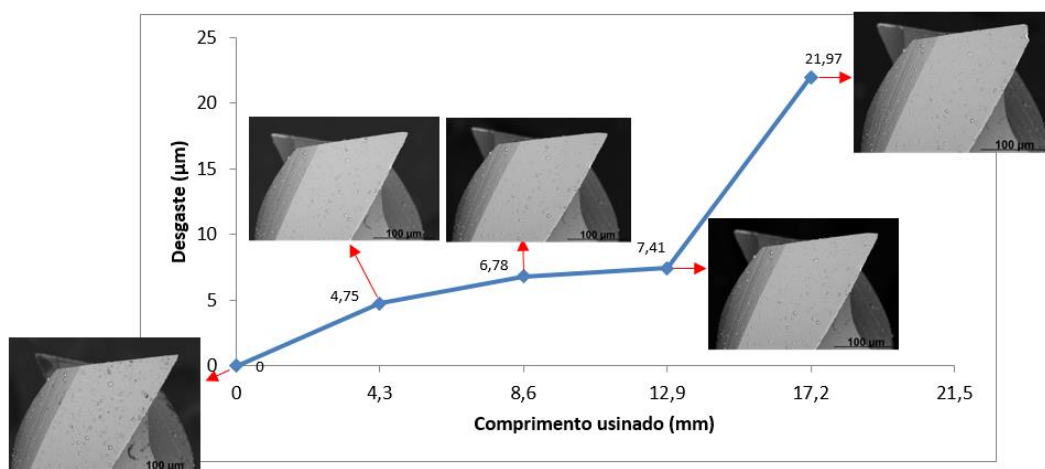


Figura 5. Comportamento do desgaste na superfície principal de folga da microfresa em função do comprimento usinado, ao usinar a 30000 rpm utilizando fluido

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao comparar o gráfico da evolução do desgaste para os ensaios a seco e utilizando fluido de corte, foi observado que o uso do fluido de corte exerceu influência negativa no desgaste da ferramenta, ou seja, o seu uso implicou em menor tempo de vida da ferramenta.

Além disso, ao analisar o gráfico obtido para o desgaste em função do comprimento usinado, nos ensaios a seco, se observa que o seu comportamento é semelhante ao desgaste em macroferramentas, com três regiões de taxa de desgaste diferentes.

5. REFERÊNCIAS

- IMOA International Molybdenum Association, 2009, “Orientações práticas para processamento dos aços inoxidáveis duplex”, Londres, 64 p.
- ISO 3685, 1993, “Tool-life testing with single-point turning tools”, 54 p.
- Machado, A.R., Coelho, R.T., Abrão, A.M., Da Silva, M.B., 2011, “Teoria da Usinagem dos Materiais”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- Rahman, M., Kumar, S., Prakash, J.R.S., 2001, “Micro milling of pure copper”, Journal of materials Processing Technology, Vol.116, pp. 39–43.
- Vazquez, E., Gomar, J., Ciurana, J., Rodríguez, C.A., 2015, “Analyzing effects of cooling and lubrication conditions in micromilling of Ti6Al4V”, Journal of Cleaner Production, Vol.87, pp. 906–913.
- Zhang, Y., Jun, M.B.G., 2013, “Mixed jet of independently atomized water and oil sprays as cutting fluids in micro-milling”, Manufacturing Letters, Vol.1, pp. 13–16.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências CAPES (PROEX), CNPq (processos 304355/2013-5 e 313934/2014-2), Fapemig e ao suporte oferecido pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) e Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU).

7. ABSTRACT

In conventional machining operations, tool wear is an important subject and is discussed in the literature, however, in the micromachining process, this is a subject still little explored. Some considerations for tool wear from macromachining point of view may not be valid for micromachining process because of the small dimensions involved, the size effect may be applied also to tool wear. A small wear land on a microtool can eliminate half of its edges, and could double the shear force at the other edge. Therefore, it is necessary to discuss the wear types and wear mechanism for tools used in micromachining. This work deals with the end of life criteria and discusses the evolution of wear on carbide micromill tools when cutting UNS S32205 duplex stainless steel. Experimental tests were performed to manufacture micro channels, using a 4-axis CNC micromilling machine and TiN coated carbide tools with 0.381 mm in diameter. Previous tests were performed in order to choose the most appropriate cutting conditions for evaluation of tool wear. The tool was examined before and after each test into the scanning electron microscope. The results show that tool wear curve for micromachining process is similar to the tools used in macromachining, however the wear type or wear land and the end of life criterion must be specific for this process.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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