

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DA LIGA Ti-6Al-4V COM LUBRIFICANTES SÓLIDOS

Ricardo Ribeiro Moura, Universidade Federal de Uberlândia, ricardoribeirimoura@gmail.com

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

Gustavo Vilela Oliveira, Universidade Federal de Uberlândia, gustavovilela_oliveira@hotmail.com

Resumo. A usinagem de materiais de difícil usinabilidade como o titânio e suas ligas tem um papel importante no desenvolvimento de novas técnicas de usinagem, ferramentas de corte e revestimentos, com intuito de aumentar a usinabilidade deste tipo de material. Devido às pobres propriedades térmicas do titânio, a ferramenta de corte sofre desgastes elevados, que afetam a integridade superficial do material usinado. Desta forma, este trabalho relata um estudo envolvendo a utilização de lubrificantes sólidos durante a usinagem da liga Ti-6Al-4V no processo de torneamento. Foram utilizados inserts de metal-duro classe S15 sem revestimento. Foram realizados testes a seco, com fluido e solução contendo fluido com lubrificante sólido. A lubrificação foi realizada utilizando o sistema MQL com fluido sintético e soluções contendo 20% de lubrificantes sólidos em peso, sendo estes: Grafite malha 325, Grafite malha 625 e Bissulfeto de Molibdênio (MoS₂). Os resultados mostraram que há uma melhora no perfil rugosidade para os testes realizados com os lubrificantes sólidos, destaque para o MoS₂ que obteve os menores valores de rugosidade.

Palavras chave: lubrificantes sólidos, Ti-6Al-4V, MQL, grafite e bissulfeto de molibdênio.

1. INTRODUÇÃO

Uma análise geral das operações de usinagem, considerando os aspectos ecológicos, pode identificar nestas operações várias fontes agressoras do meio ambiente, entre elas, os fluidos de corte ou fluidos lubri-refrigerantes. Em distintos processos os fluidos são utilizados em grandes quantidades para aumentar a vida das ferramentas e melhorar a qualidade das peças produzidas, consequentemente, influndo nos custos industriais. Os fluidos lubri-refrigerantes introduzem uma série de melhorias funcionais e econômicas no processo de usinagem de metais. As melhorias de caráter funcional são aquelas que facilitam o processo de usinagem, conferindo a este um melhor desempenho, com redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e o cavaco, expulsão do cavaco da região de corte, refrigeração da ferramenta, refrigeração da peça em usinagem, melhor acabamento da peça usinada e refrigeração da máquina-ferramenta. Entre as melhorias de caráter econômico distinguem-se a redução do consumo de energia, redução do custo da ferramenta na operação e o impedimento da corrosão da peça usinada.

Para a obtenção destas melhorias, diversas formas de aplicação e tipos de fluidos de corte são utilizados. Entre os meios auxiliares, os principais métodos utilizados são os de aplicação com fluido em abundância (emulsão) e atualmente também a Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) e a usinagem a seco.

A tendência mundial visa à usinagem sem fluido de corte (seco), que objetiva reduzir de forma significativa custos com a compra de fluidos de corte e sua destinação final, bem como problemas ocupacionais, tais como doenças de pele (dermatites) e variações de sintomas respiratórios, e relacionados ao meio ambiente, onde os fluidos de corte tornam-se graves poluentes da água, solo e ar.

A usinagem a seco é relatada por muitos pesquisadores como a “usinagem do futuro” por eliminar a utilização de fluidos de corte, devido ao avanço dos materiais para ferramentas de corte (SREEJITH; NGOI, 2000). Entretanto, em processos com condições mais severas de usinagem, como na furação e no fresamento (corte intermitente), a não utilização de fluido de corte tem algumas restrições devido a maiores esforços térmicos e mecânicos do processo, havendo a necessidade de facilitadores do processo. Como em muitos casos não é possível a ausência total do meio auxiliar, o método de aplicação com Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) tem se mostrado uma boa alternativa (Costa et al., 2006).

Pesquisadores têm trabalhado com a utilização de “eco-lubrificantes” em processos de usinagem, utilizando quantidade mínima de lubrificante, como bissulfeto de molibdênio (MoS₂) em pó, graxa baseada em grafite misturada com água e óleo SAE 20 em várias proporções em vez de apenas refrigerantes em sua composição (RAO; KRISHNA, 2008). Os resultados são encorajadores, incluem a redução significativa na taxa de desgaste da ferramenta, imprecisão dimensional e rugosidade da superfície pela utilização do MQL, principalmente através da redução da temperatura da zona de corte e da mudança favorável na interação cavaco-ferramenta e ferramenta/peça de trabalho (DHAR; KHAN, 2006).

Pesquisas recentes investigaram o uso de grafite como um meio lubrificante no processo de usinagem para reduzir o calor gerado. O papel efetivo do grafite como lubrificante foi evidente a partir da melhoria global do processo. Diferentes parâmetros do processo, como forças de corte, temperatura, energia específica e rugosidade superficial foram observados e relatados como inferiores quando comparadas com as de usinagem com refrigeração convencional (VENUGOPAL; RAO, 2004; SHAJI, RADHAKRISHNAN, 2003). Grafite e bissulfeto de molibdênio utilizados no

processo de usinagem assistida, relatou melhoria considerável no desempenho do processo, em comparação com a de usinagem com fluido de corte convencional em termos de forças de corte, qualidade da superfície e energia específica (REDDY; RAO, 2006).

A usinagem da liga de titânio é dificultada pela sua alta reatividade, baixa condutividade térmica e esforços elevados, que levam a elevada temperatura de corte e vibração. Por se tratar de um material amplamente utilizado na indústria aeronáutica e de alto valor agregado, qualquer avanço que leve a melhoria do processo é de extrema importância industrial e científica.

A presente pesquisa concentra-se na usinagem com lubrificação sólida, contribuindo para uma usinagem sustentável de materiais avançados de engenharia. Além disso, esta pesquisa passa a ser uma alternativa às tradicionais técnicas de usinagem. Com os resultados obtidos será possível analisar a viabilidade da utilização dos lubrificantes sólidos na usinagem de uma liga de baixa usinabilidade como a Ti-6Al-4V.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios foram conduzidos nas dependências do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem da Faculdade de Engenharia Mecânica (LEPU/FEMEC/UFU). Foi utilizado um Torno CNC ROMI Multiplic 35D, com rotação máxima de 3000 rpm. O corpo de prova de Titânio ASTM F136 grau 5, conhecido como liga Ti-6Al-4V, possuía a dimensão de Ø200 x 300 mm. Foi utilizado fluido de corte sintético (Quimatic® Super Fluido 3) aplicado utilizando o sistema MQL da Accu-Lube® com pressão de 3 bar e vazão de 5 ml/min. As ferramentas utilizadas possuem o código SNMG120408-SM 1105, metal-duro da classe S15, revestidas com TiAlN (PVD) e produzidas pela Sandvik®.

Os testes foram realizados à seco e com MQL, apenas com fluido de corte e com solução contendo fluido de corte e lubrificantes sólidos. As soluções utilizadas continham fluido de corte e lubrificante sólido com 20% em peso. Foram utilizados o Grafite malha 625 (granulometria média de 20µm), Grafite malha 325 (40µm) e Bissulfeto de Molibdênio (MoS₂, 6µm). Os parâmetros de corte são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 – Parâmetros de corte.

V_c (m/min)	f (mm/rev.)	a_p (mm)
30, 50 e 70	0.10, 0.15, 0.20, 0.25	0.50
30, 50 e 70	0.20	2.00

A rugosidade média aritmética (R_a) foi medida com auxílio de um rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ-201 com cutoff de 0.8 mm x 5 leituras. O comprimento de amostragem é definido pela Norma ABNT NBR ISO 4287 (2002). Foram realizadas 6 medições para cada condição de corte, com temperatura média de 28°C, ao longo do comprimento usinado na direção de avanço da ferramenta.

A medidas do desgaste da ferramenta foram realizadas em um microscópio ótico com câmera integrada e software analisador de imagens. Adotou-se o critério de desgaste de flanco máximo ($VB_{máx.} = 0.30$ mm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A rugosidade superficial é a grandeza que quantifica o grau de acabamento. Ela está diretamente relacionada à geometria da ferramenta e aos parâmetros de usinagem. O avanço de corte (f) é também uma variável que influencia diretamente o valor da rugosidade teórica, pois quanto menor o avanço, menores tendem a ser as marcas deixadas na superfície da peça pela passagem da ferramenta (SANDVIK - COROMANT, 2005, STEMMER, 1995, FERRARESI, 1977). Além das questões relativas à geometria de corte o acabamento superficial é influenciado pela velocidade de corte. Mantidas as demais condições de trabalho, maiores velocidades de corte tendem a produzir melhor qualidade superficial (OLIVEIRA, 2003 et. al, 2003, SCHULZ, 1989).

A Figura 1 mostra a evolução dos valores de rugosidade média (R_a) com a variação dos parâmetros de corte (v_c , a_p e f). Podemos notar que a rugosidade média (R_a) tende a aumentar com o aumento do avanço e com relação à velocidade de corte, inicialmente tende a aumentar com o aumento da velocidade de corte, diminuindo após uma certa velocidade. Isso se deve à formação de uma aresta postiça que pode ocorrer a pequenas velocidades de corte, fator que desaparece com o emprego de velocidades de corte mais altas, como evidenciado por Galdino et. al (2011). A formação da aresta postiça é proporcionada devido à alta taxa de encruamento da liga Ti-6Al-4V, o que pode ter ocorrido para os valores de rugosidade com velocidade intermediária (50 m/min) nas Fig. 1 (b, c, d e e).

A profundidade de corte tem pouca influência sobre a qualidade superficial, para os valores utilizados neste trabalho como pode ser visto na Fig. 1 (f).

Quando comparamos os valores de Ra obtidos com a usinagem a seco e com MQL, pode-se notar que os valores de rugosidade diminuem significativamente, o que é resultado da diminuição do gradiente de temperatura da ferramenta de corte.

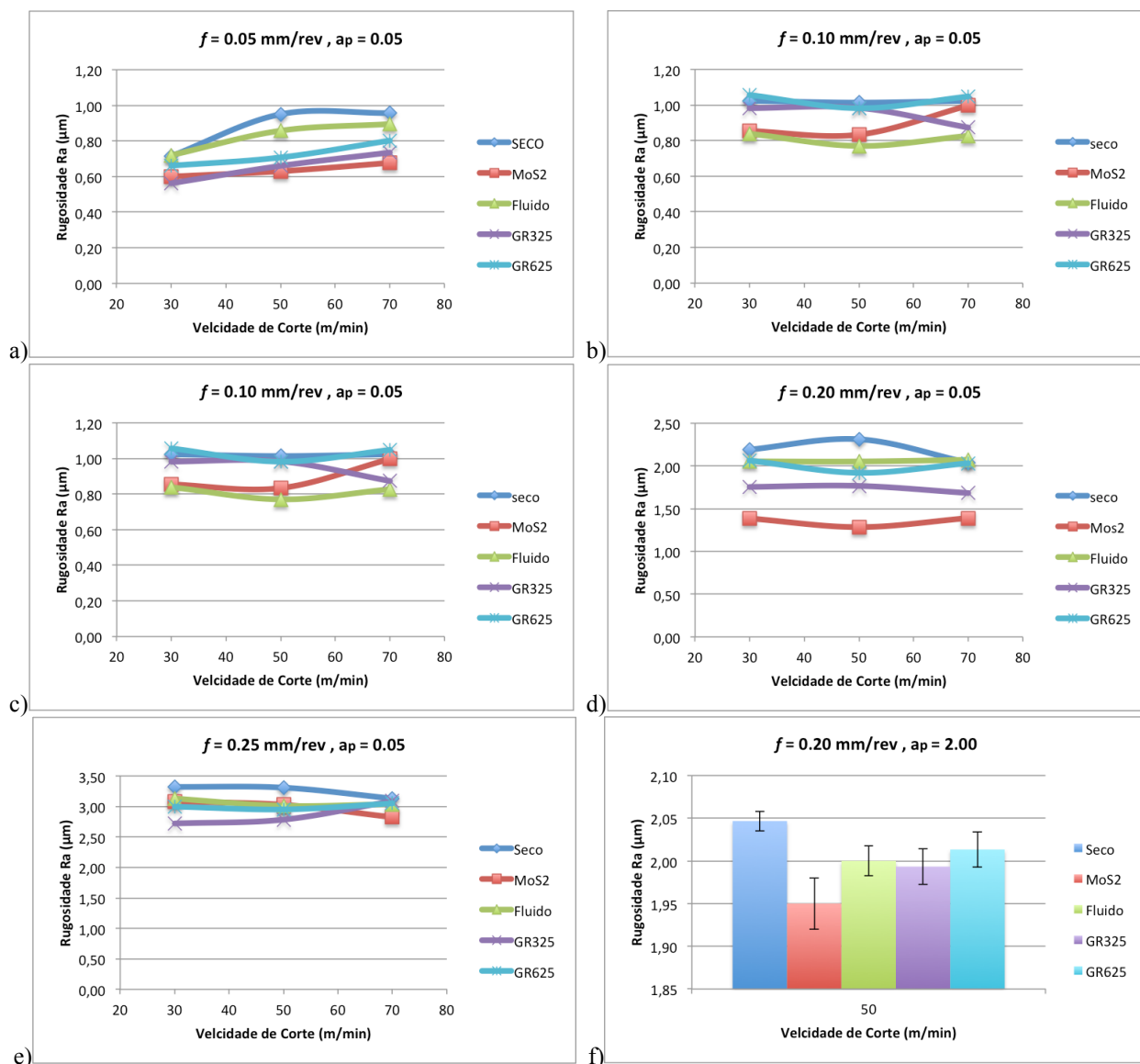


Figura 1 – Gráficos de Rugosidade Média (Ra).

4. CONCLUSÕES

- ✓ O aumento da velocidade de corte tende a diminuir os valores de Ra.
- ✓ Com o aumento do avanço os valores de Ra aumentaram significativamente.
- ✓ A profundidade de corte não teve influência significativa nos valores de Ra.
- ✓ Os testes realizados com MQL apresentaram menores valores de rugosidade quando comparados com a usinagem a seco.
- ✓ De modo geral o Bissulfeto de Molibdênio (MoS2) foi o lubrificante sólido que obteve o melhor desempenho, conseguindo os menores valores de rugosidade.

5.REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 4287, 2002. Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade.
- COSTA, E. S., MACHADO, A. R., ROSA, S. N., SOUZA JR. E. A. - *Qualidade dos furos usinados com diferentes métodos de lubrificação e refrigeração*. Revista Máquinas e Metais, São Paulo, nº 484, p. 140-161, maio 2006.
- FERRARESI, D. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. Ed. Edgard Blucher Ltda. São

GALDINO, R. S., ANDRADE, J. F., BUZONE, D. M., RIBEIRO, M.V. *Avaliação dos cavacos obtidos da usinagem do Ti-6Al-4V*. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 6º COBEF, 2011, Caxias do Sul. ABCM, 2011. v. CD Rom.

KHAN, M.M.A., DHAR, N.R. *Performance evaluation of minimum quantity lubrication by vegetable oil in terms of cutting force, cutting zone temperature, tool wear, job dimension and surface finish in turning AISI-1060 steel*. Journal of Zhejiang University—Science A 7 (11) (2006) 1790–1799.

Paulo, 1977, p. 751.

RAO, N. D., KRISHNA, V. P. *The influence of solid lubricant particle size on machining parameters in turning*. Int. J. Mach. Tools Manuf. 2008 48, 107–111.

REDDY, N. S. K., RAO, P. V. *Experimental investigation to study the effect of solid lubricants on cutting forces and surface quality in end milling*. International Journal of Machine Tools and Manufacture 46 (2006) 189–198.

SANDVIK – COROMANT – *Manual técnico de usinagem*. Sandviken, Suécia, 2005.

SHAJI, S., RADHAKRISHNAN, V. *An investigation of a solid lubricant moulded grinding wheels*. International Journal of Machine Tools and Manufacture 43 (2003) 965–972.

SREEJITH, P. S., NGOI, B.K.A. *Dry machining: machining of the future*. Journal of Material Processing Technology 101 (3) (2000) 287–291.

STEMMER, C. E. *Ferramentas de corte I*. 1995. Ed. da UFSC. p. 249.

VENUGOPAL, A., RAO, P. V. *Performance improvement of grinding of SiC using graphite as a solid lubricant*. Materials and Manufacturing Processes 19 (2) (2004) 177–186.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.