

APLICAÇÃO DE UMA VÁLVULA MQL E ANÁLISE DE RUGOSIDADE S_p E S_v NO FRESAMENTO DA LIGA Ti-6Al-4V

Nelson Wilson Paschoalinoto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP 05508-900, Brasil.
Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), São Caetano do Sul, SP 09580-900, Brasil.
nelson.paschoalinoto@maua.br

Jorge Antonio Giles Ferrer

Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, São Caetano do Sul, SP 09572-300, Brasil.
jorge.ferrer@sp.senai.br

Ed Claudio Bordinassi

Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), São Caetano do Sul, SP 09580-900, Brasil.
ecb@maua.br

Gleicy De L. X. Ribeiro

Instituto SENAI de Inovação em Manufatura Avançada e Microfabricação, São Paulo, SP 04757-000, Brasil.
gleicy.ribeiro@sp.senai.br

Gilmar Ferreira Batalha

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP 05508-900, Brasil.
gfbatalh@usp.br

Resumo. A utilização de lubrificação MQL tem sido utilizada como meio de economizar fluidos de corte e também como uma alternativa sustentável para a minimização de danos causados pelo descarte inapropriado dos óleos utilizados em usinagem. Neste contexto este trabalho abordou o desenvolvimento e aplicação de uma válvula MQL de baixo custo. Utilizou-se duas estratégias para a usinagem: óleo e a mistura de óleo com grafite. Para avaliar seu desempenho, a válvula foi utilizada no fresamento da liga Ti-6Al-4V devido à importância deste material nas aplicações industriais, biomédicas e aeroespaciais, utilizando um planejamento experimental 2^3 com dois pontos centrais. Para o controle de abertura e fechamento foi utilizada a plataforma Arduino devido à facilidade de acesso, custo e aplicação. Após a usinagem, a rugosidade superficial S_v e S_p foram medidas por meio de um interferômetro de luz branca. Uma análise CFD foi realizada para verificar o comportamento do jato. Observou-se que a utilização da estratégia com adição de grafite propiciou menores valores de rugosidade superficial S_p e S_v .

Palavras chave: MQL. Válvula MQL. Fresamento. Ti-6Al-4V

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de lubrificação por mínima quantidade de lubrificante (MQL), representam uma estratégia ecológica e econômica nos processos de usinagem. No processo MQL tem-se a aplicação precisa de um lubrificante adequado (óleos de éster, álcoois etc.) diretamente na interface peça-ferramenta que diminui grandemente o atrito. O sistema consome menos que 50 ml/hora de lubrificante, o qual se evapora quase que totalmente na aresta de corte, por esse motivo, tanto a peça quanto a ferramenta permanecem praticamente secos. (USINAGEM BRASIL, 2012). O custo de sistemas de refrigeração chega a comprometer aproximadamente até 15% do custo de operação num processo de usinagem. (O MUNDO DA USINAGEM, 2018). Por outro lado, é importante destacar que o custo do descarte do fluido refrigerante, considerando tempo de parada e mão de obra, geralmente é superior ao custo do fluido novo. Por esses motivos, a utilização de sistemas MQL vem ganhando grande aceitação como uma opção viável para reduzir os custos de fabricação e proteger o meio ambiente. Os sistemas MQL permitem reduções significativas nos custos relacionados a sistemas de refrigeração, protegem a saúde dos trabalhadores e preservam o meio ambiente, além de possibilitar uma melhora na vida útil da ferramenta e bons resultados em termos de qualidade superficial das peças usinadas. O fresamento é um processo de usinagem caracterizado pelo corte interrompido, o que implica em uma variação cíclica das cargas térmicas e mecânicas sobre o gume de corte. Estudos práticos realizados pelo Grupo de Usinagem (GUS), grupo de pesquisa vinculado à Universidade de Caxias do Sul, mostram que, a redução da variação da temperatura aliada à micro lubrificação oferecidas pela condição MQL podem possibilitar menor desgaste das ferramentas (ZEILMANN, 2009).

Em máquinas projetadas para uso de sistemas MQL, o efeito lubrificante pode ser controlado mediante um parâmetro dentro do programa CNC, o parâmetro varia o valor da vazão e a duração. Um exemplo é o sistema MQL instalado nos centros de usinagem MAG da série SPECHT®. O equipamento possui um sistema de dosagem de alta precisão integrado dentro da carcaça do eixo-arvore (FFG, 2020). O sistema MQL possibilita vantagens como a eliminação da refrigeração líquida reduz os custos de investimento acima de 15%, a eliminação de bombas, filtros e motores permitem uma economia

de energia de aproximadamente 30%, elimina o problema de descarte de resíduos perigosos; envolve menores custos de manutenção; permite uma melhoria das condições ambientais; garante mínima contaminação e ambiente de trabalho limpo; garante maior segurança para o operador com diminuição de problemas cutâneos e das vias respiratórias. Os cavacos são facilmente recicláveis por conterem máximo 0,3% de impurezas. Uma preocupação frequente dos usuários do sistema MQL é em relação ao grau de contaminação do ambiente em torno ao equipamento, o que afetaria as condições de segurança operacional devido às partículas em suspensão que podem ficar no ambiente após a aplicação. Ensaios realizados em diferentes laboratórios, mostram que o risco de contaminação para o operador é mínimo, os resultados das medições realizadas mostram que são inferiores a 25% do valor limite estabelecido, além do mais, os óleos utilizados no sistema MQL são toxicológica e dermatologicamente seguros e estão classificados com risco hídrico de classe 1, sendo que os fluidos utilizados na refrigeração líquida atingem riscos de classe 2 ou 3 (CALZADO, 2012).

Em seu estudo de revisão, Sharma (2016), comenta que devido à penetração eficiente de névoa de óleo na zona de contato a abordagem MQL reduziu o atrito e a temperatura da zona de corte. O fresamento com MQL propiciou melhor desempenho de corte com alta velocidade, registrando o menor desgaste de flanco sob três condições de resfriamento (MQL, emulsão e estratégia sem lubrificante. Davis, 2015 investigou a utilização de um líquido iônico na usinagem de titânio. Este fluido consiste em um sal de baixo ponto de fusão, como aditivo lubrificante para implementação de lubrificação por MQL. Neste estudo utilizou-se o hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazólio (BMIM-PF6). Verificou-se que o MQL baseado em líquido iônico reduziu o desgaste da ferramenta em 60% quando comparado ao corte a seco e 15% mais do que o MQL sem BMIM-PF6. Sua utilização resultou nas menores forças de corte e melhor acabamento de superfície. Lawal (2013) comenta que a usinagem com lubrificantes sólidos é uma tentativa de evitar o uso de fluido de corte e que o grafite e dissulfeto de molibdênio (MoS_2) são os materiais predominantes. Esses materiais estão na forma de pó e são aditivos lubrificantes eficazes devido à sua estrutura. Os autores comentam que é um método complexo para a seleção do correto lubrificante para uma aplicação específica e que são utilizados quando os lubrificantes líquidos não atendem aos requisitos da tecnologia em uso. Comentam ainda que poucos estudos estão disponíveis sobre esta técnica. Sarhan, 2012 realizou um estudo de utilização de grafite no fresamento do alumínio AA6061-T6 visando menor consumo de energia e de poluição referentes aos fluidos de corte comparando usinagem utilizando S_iO_2 com usinagem com óleo lubrificante comum. Com seu estudo conseguiu reduzir o consumo de óleo em até 25%. Notou que as nanopartículas de S_iO_2 suspensas em óleo reduziu o atrito e as forças de corte. Este trabalho teve o objetivo de construir uma válvula de mistura MQL de baixo custo, aplicá-la no fresamento da liga Ti-6Al-4V e a avaliar a rugosidade superficial de duas estratégias de lubrificação distintas.

2. CONCEPÇÃO DA VÁLVULA

A válvula desenvolvida é caracterizada por um sistema de abertura e fechamento controlado por Arduino. Possui um êmbolo com característica de válvula agulha. A Fig.1 ilustra a sua concepção e o posicionamento do atuador foi monitorado pelos sensores do módulo *Kinematics* do software CATIA V5 R20. As setas indicam as entrada de lubrificante e ar comprimido.

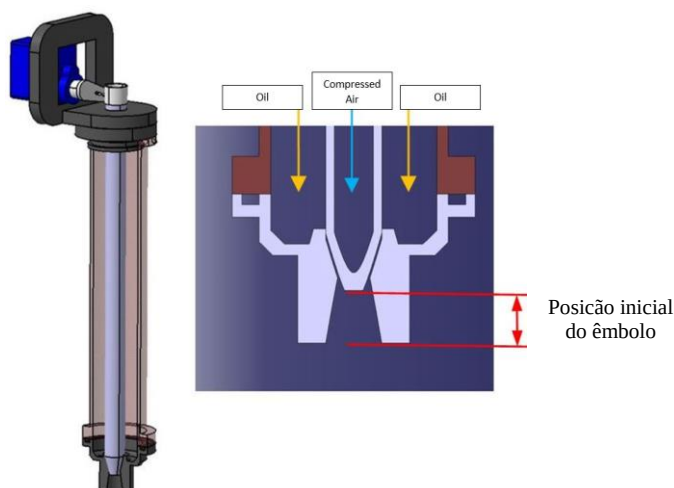
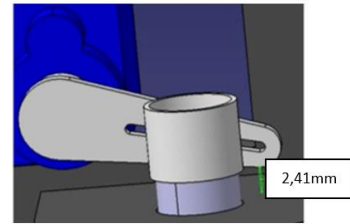
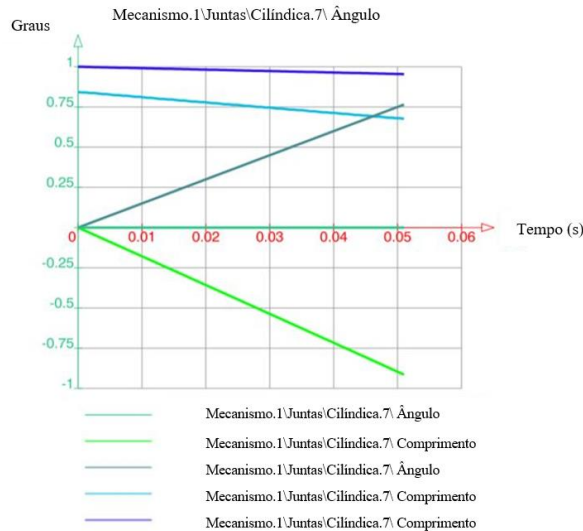


Figura 1. Concepção da Válvula (Dados dos autores)

A cinemática da válvula foi proposta utilizando o software CATIA V5 R20. Foram monitoradas as juntas por meio de sensores virtuais. As medições, as juntas cilíndricas atuando na agulha e a junta de revolução do servo estão representadas na Fig. 2a. A Figura 2b mostra um detalhe do servomotor com uma medida de abertura da haste da válvula monitorada em um ciclo de fechamento.



(a)

(b)

Figura 2. (a) Representação gráfica dos sensores cinemáticos (Dados dos autores). (b) Indicação de medida pelo sensor cinemático (Dados dos autores).

3. FRESAMENTO

O fresamento de topo da amostra contou com um planejamento experimental 2^3 com dois pontos centrais com a utilização de uma réplica. O tipo de planejamento utilizado foi o *standard 2***(K-p) (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978). Para o fresamento adotou-se duas estratégias: fresamento com jato de óleo e fresamento com a mistura óleo + grafite. O óleo escolhido foi o Superfluido 3 da empresa Quimatic/Tapmatic. O inserto utilizado foi o BDMT 11 03 02 ER223 JS (CVD) / CA6535 da empresa Kyocera e foi montado em um fresa de topo de 10 mm. O centro de usinagem ROMI D600 foi o escolhido para este trabalho. A Figura 3 mostra o corpo de prova da liga Ti-6Al-4V com dimensões de 50,0 cm x 5,0 cm x 1,7 cm utilizado nos ensaios. Em destaque estão os canais realizados pela fresa de topo com indicação do avanço da fresa



Figura 3. Amostra de Ti-6Al-4V (Dados dos autores)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados os resultados da aplicação da válvula nas abordagens utilizadas, os resultados do fresamento e de rugosidade S_v e S_p . O parâmetro S_p representa a máxima altura dos picos (UNDA, 2007) e o parâmetro S_v corresponde à altura máxima do vale. (COUTO, 2019). Simulação fluidodinâmica (CFD) para o jato a seco foi também abordada.

4.1. Construção da válvula

O torno convencional ROMI T240 foi utilizado na usinagem da agulha. O corpo de alumínio ABNT 6351-T6 foi usinado no torno MAZAK. O funcionamento da válvula é baseado em uma mistura de fluidos por meio de um circuito hidráulico (entradas laterais) e outro circuito pneumático (entrada superior). As entradas de fluido laterais podem ser utilizadas em conjunto ou de forma isolada. Para este trabalho utilizou-se apenas a entrada lateral superior. A abertura e fechamento da válvula, bem como o posicionamento da haste é controlada por um micro servo 9G SG90. Os materiais escolhidos e a fabricação da válvula in loco propiciaram um maior custo-benefício relacionado às aplicações existentes. O alumínio utilizado para o corpo foi avaliado em R\$39,00 e a haste central foi avaliada em R\$19,00. O servo utilizado tem um custo de R\$15,90 (ROBOCORE, 2021). A válvula completa foi estimada em R\$85,00. A Figura 4 ilustra a válvula de mistura montada com detalhe do servomotor. Em 4a e 4b ilustram-se respectivamente as vistas frontais e laterais. Na Figura 4c é ilustrado o detalhe da montagem do servomotor. A Figura 4d mostra as dimensões principais do produto acabado.

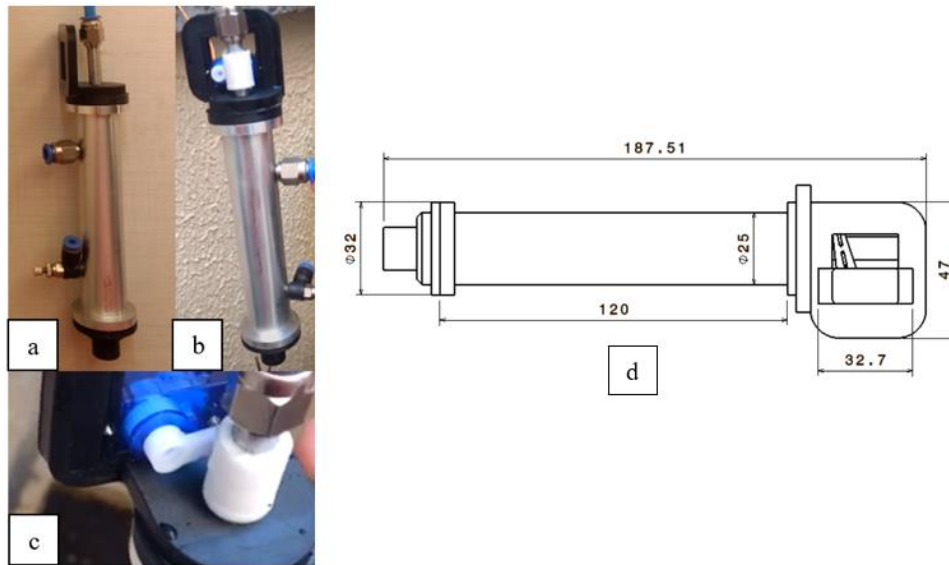


Figura 4. Válvula acabada com detalhe do servo. (a) Vista frontal. (b) Vista lateral. (c) Detalhe da montagem do mecanismo atuador do servomotor. (d) Dimensões principais do produto acabado (Dados dos autores)

4.2. Análise CFD

Para o jato de ar utilizado nas abordagens utilizou-se um estudo CFD para avaliar o seu comportamento. A pressão de entrada foi estipulada em 6 bar. Nesta análise utilizou-se o software ANSYS 2019 R3 versão acadêmica com o módulo *Fluent*. Trabalhou-se com o modelo “*Viscous*” (*Standard k-e, Scalable Wall Fn*). Para a construção da superfície para a geração da malha utilizou-se o *workbench* “*Generative shape design*” do software CATIA V5 R20 da empresa Dassaut Systèmes. A Figura 5 mostra a concepção desenvolvida. A metodologia empregada consistiu na criação de dois *sketches*, correspondendo ao *design* do jato (5a) e da superfície livre (5b) (XSCIENCEY, 2016). A partir da criação dos *sketches*, foram criadas superfícies com a ferramenta “*Join*” do mesmo *workbench*.

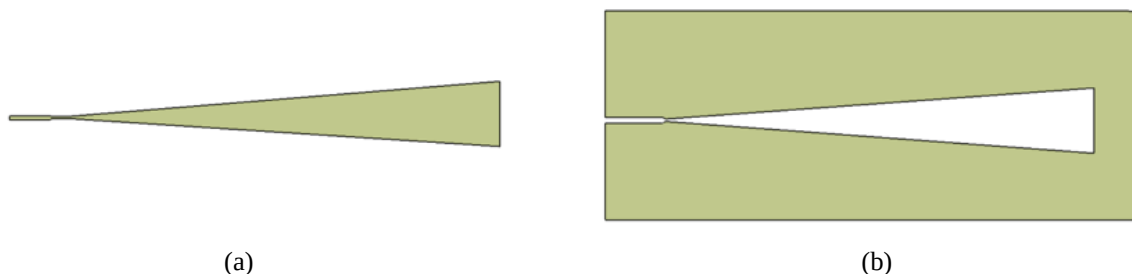


Figura 5. Metodologia de construção de superfícies para geração de malha da análise CFD empregada. (a) Superfície estimada para o jato. (b) Superfície livre de domínio.

A malha utilizada foi criada pelo software ANSYS 2019 R3. Contou-se com a abordagem “*face sizing*” para a geração da malha com maior precisão para a superfície destinada ao jato. A malha contou com 29604 nós e 29567 elementos com tamanho de 1,0 mm. A Figura 6 mostra a concepção da malha com a abordagem “*face sizing*”.

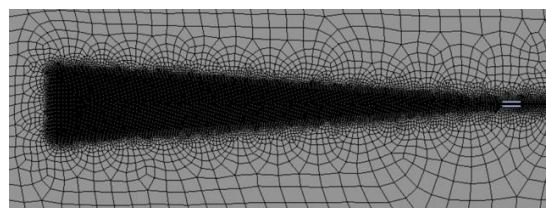


Figura 6. Criação da malha utilizando a ferramenta *face sizing*.

A Figura 7a mostra o padrão da malha e o resultado obtido com a simulação do jato. Na Figura 7b comparou-se os ângulos dos jatos real e simulado. Obteve-se um ângulo de jato de 9,24° e 9,70° para o jato real e o simulado respectivamente.

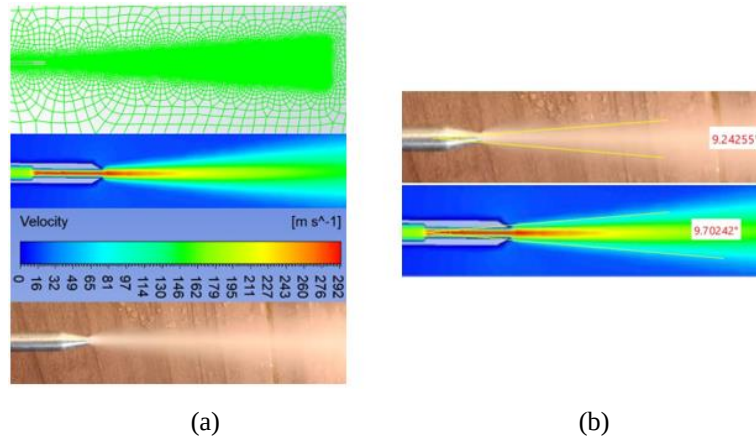


Figura 7. (a) Visualização do refino de malha, do contorno de velocidades e do jato real (Dados dos autores). (b) Análise comparativa dos ângulos do jato real e simulado.

4.3. Medições de rugosidade

A medição dos parâmetros de rugosidade S_p e S_v foram medidos por meio do interferômetro Taylor Hobson/ Talysurf CCI Lite. A escolha dos parâmetros S_p (máxima altura de pico) e S_v (máxima profundidade de vale) foi definida em função de suas peculiaridades e importantes aplicações, além de não se ter muitas literaturas a respeito.

O parâmetro S_p quantifica a altura do pico mais alto e é geralmente especificado em superfícies em contato mecânico com deslizamento. O parâmetro S_v quantifica a profundidade do vale mais profundo. É utilizado quando a profundidade do vale é importante para a retenção de fluido em aplicações de resistência à corrosão (SOUZA, 2016). O software TalyMap Gold v. 6.2 foi utilizado para a obtenção das imagens. Adotou-se um cut-off de 0.8mm e uma área de leitura de 4.3mm² no centro da amostra. Aplicou-se Gauss como filtro e a norma utilizada para os parâmetros adotados foi a ISO25178. A temperatura do laboratório de Metrologia no momento de aquisição era de 20°C. A Tabela 1 ilustra o resultado da estatística descritiva. O intervalo de confiança utilizado para o desvio-padrão foi de 95%.

Tabela 1. Estatística descritiva (Dados dos autores)

Variável	Média	Valor mínimo	Valor máximo	Desvio padrão
S_p (μm)	3.60	2.20	7.05	1.11
S_v (μm)	7.54	4.06	14.83	2.50

De posse dos resultados, analisou-se os ensaios com os menores e maiores valores das variáveis independentes v_c , a_p e f . Desta forma os ensaios 1 e 8 de cada estratégia foram escolhidos para o estudo. Para o teste 1 houve uma diminuição do parâmetro S_p de 7.05μm (óleo) para 3.42μm com a utilização de óleo e grafite (-51%) e uma redução de 14,83μm (abordagem utilizando óleo) para 12,27μm com a utilização de óleo e grafite (-17,3%). Para o teste 8 houve uma diminuição de 4,11μm para 3,35μm (-18,5%) e uma redução de 9.06μm para 5.89μm (-35%). A Figura 8 mostra os valores máximos (Ensaio 1- Óleo) e mínimos (Ensaio 2 - Óleo e grafite) dos valores encontrados. A qualidade superficial foi suavizada utilizando menores valores de condições de corte (Fig. 8a). A superfície topográfica para os valores máximos, está ilustrada na Fig. 8b.

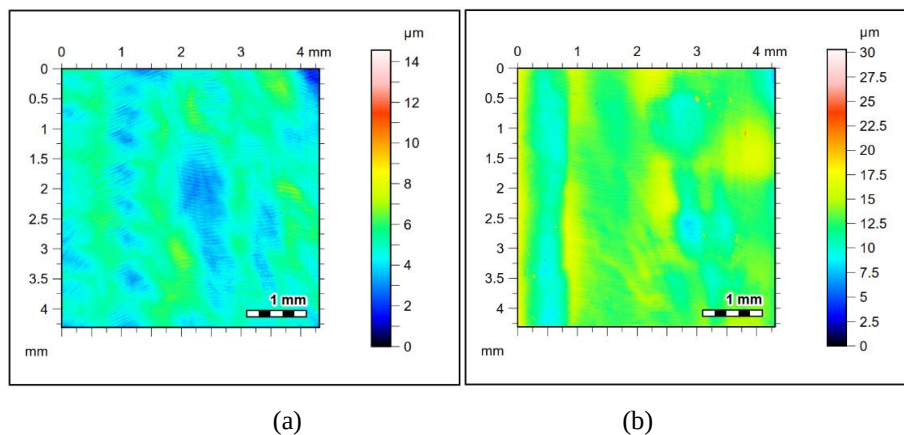


Figura 8. Topografia da superfície de rugosidade. (a) Valores $S_p=2,20$ e $S_v=4,06$. (b) Valores $S_p=7,05$ e $S_v=14,83$ (Dados dos autores)

4.4. Ensaios de usinagem

O fresamento da amostra seguiu o planejamento definido. Foram escolhidas como variáveis independentes a velocidade de corte (v_c), o avanço (f) e a profundidade de corte (a_p). Foram escolhidas como variáveis dependentes os parâmetros de rugosidade S_p e S_v . Os valores médios das variáveis dependentes de cada estratégia e o planejamento experimental podem ser visualizados na Tab. 2.

Tabela 2. Planejamento fatorial e resultados de rugosidade (Dados dos autores).

Óleo	v_c (m/min)	f (mm/rev)	a_p (mm)	S_p	S_v
1	80	0.06	0.5	7.05	14.83
2	100	0.06	0.5	3.20	9.26
3	80	0.10	0.5	2.87	5.21
4	100	0.10	0.5	3.39	5.50
5	80	0.06	1.0	5.20	6.83
6	100	0.06	1.0	5.02	8.98
7	80	0.10	1.0	3.53	6.48
8	100	0.10	1.0	4.11	9.06
9	90	0.08	0.75	4.22	8.61
10	90	0.08	0.75	3.49	5.93

Óleo e grafite	v_c (m/min)	f (mm/rev)	a_p (mm)	S_p	S_v
1	80	0.06	0.5	3.42	12.27
2	100	0.06	0.5	2.20	4.06
3	80	0.10	0.5	2.75	7.19
4	100	0.10	0.5	3.10	6.44
5	80	0.06	1.0	3.63	6.33
6	100	0.06	1.0	2.51	5.90
7	80	0.10	1.0	3.45	7.18
8	100	0.10	1.0	3.35	5.89
9	90	0.08	0.75	2.46	7.19
10	90	0.08	0.75	2.97	7.61

Com o planejamento experimental pôde-se verificar a influência das variáveis dependentes nos parâmetros de rugosidade S_p e S_v por meio de gráficos de Pareto e de superfícies de resposta. Em todas as abordagens o intervalo de confiança de 0.95 não foi atingido. Na estratégia utilizando apenas óleo, a variável que mais influenciou os parâmetro S_p e S_z foi o avanço. Na estratégia utilizando óleo com grafite, a variável que mais influenciou parâmetro S_p foi a interação de v_c e f e o parâmetro S_z foi influenciado por v_c . A Figura 9 mostra o gráfico de Pareto e a influência das variáveis.

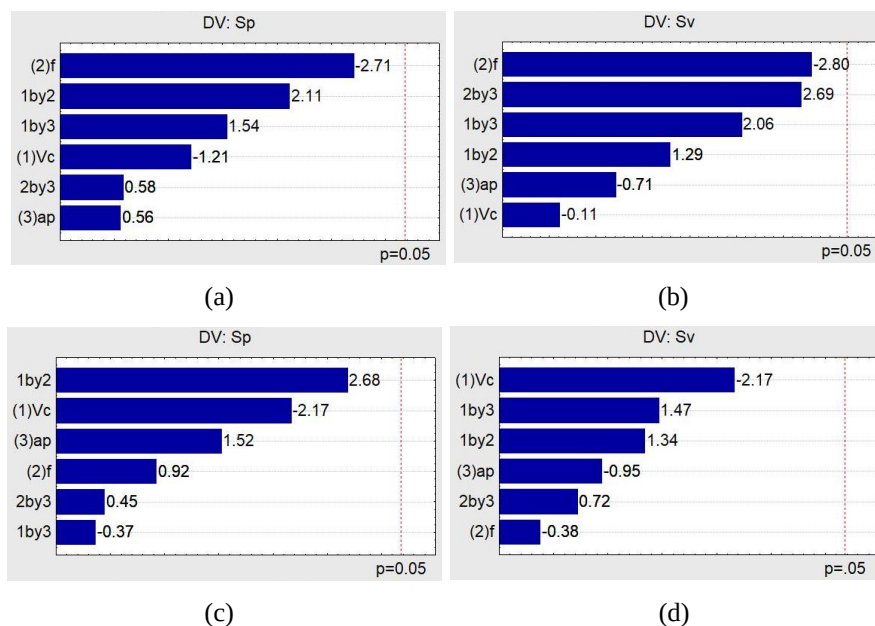


Figura 9. Gráficos de Pareto. (a) Óleo- S_p . (b) Óleo- S_v . (c) Óleo e grafite- S_p . (d) Óleo e Grafite- S_v

As superfícies de respostas geradas com os menores valores da estratégia utilizando óleo e adição de grafite podem ser visualizadas na Fig. 10. Nota-se que uma maior velocidade de corte minimiza os valores do parâmetro S_p e S_v .

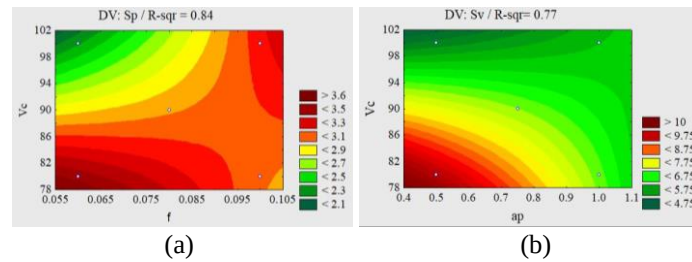


Figura 10. Superfície de resposta – óleo com grafite. (a) S_p . (b) S_v

As funções matemáticas das superfícies de resposta para as variáveis dependentes podem ser visualizadas na Tab. 3.

Tabela 3. Funções matemáticas (Fonte: Dados dos autores)

Óleo		Função Matemática
S_p (μm)		$= 48.07 - 0.43 * v_c - 356.06 * f + 3.21 * f * v_c + 0.19 * a_p * v_c + 35.25 * a_p * f - 14.20$
S_v (μm)		$= 98.56 - 0.70 * v_c - 684.94 * f + 3.93 * f * v_c + 0.50 * a_p * v_c + 327.75 * a_p * f - 54.74$
Óleo + Grafite		Função Matemática
S_p (μm)		$= 15.46 - 0.14 * v_c - 148.19 * f + 1.62 * f * v_c - 0.02 * a_p * v_c + 10.75 * a_p * f + 1.09$
S_v (μm)		$= 81.14 - 0.73 * v_c - 449.25 * f + 4.12 * f * v_c + 0.36 * a_p * v_c + 88.50 * a_p * f - 31.49$

3. CONCLUSÕES

A construção e aplicação da válvula de mistura propiciou um projeto de baixo custo e propiciou um ótimo custo-benefício. Os menores valores de rugosidade foram encontrados na abordagem utilizando a mistura de óleo com adição de grafite. Os parâmetros que mais influenciaram as superfícies de rugosidade foi o avanço para a abordagem de lubrificação utilizando óleo. Possivelmente devido aos fatores reguladores de geometria de cavaco ($a_p \times f$). Para a lubrificação com óleo e grafite os parâmetros que mais influenciaram a superfície de rugosidade foram a interação entre avanço e velocidade de corte, seguida pela profundidade de corte. A alta velocidade de corte propicia redução de rugosidade, devido às menores deformações plásticas na zona de corte. A análise CFD do jato de ar corrobora a aplicação real. Observou-se para a análise monofásica alta similaridade entre o jato simulado e o jato real.

4. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Mauá de Tecnologia e ao Instituto Senai de Inovação (ISI) em Manufatura Avançada e Microfabricação pela disponibilização dos laboratórios.

5. REFERÊNCIAS

- BOX, G. E. P., HUNTER, W. G., & HUNTER, S. J. Statistics for experimenters: An introduction to design, data analysis, and model building. New York: Wiley, 1978.
- CALZADO, Mariano Jiménez 2012. Fabricación sostenible. Lubricación por cantidades mínimas (MQL). *Canales Sectoriales- Metalmecánica*. <[http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/98474-Fabricacion-sostenible-Lubricacion-por-cantidades-minimas-\(MQL\).html](http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/98474-Fabricacion-sostenible-Lubricacion-por-cantidades-minimas-(MQL).html)>
- COUTO, D. A. *Caracterização da superfície usinada do aço ANBT 4340 endurecido por meio dos processos de torneamento e retificação*, Dissertação de Mestrado. Centro Federal de educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- DAVIS, Brian; SCHUELLER, John K.; HUANG, Yong. Study of ionic liquid as effective additive for minimum quantity lubrication during titanium machining. *Manufacturing Letters*, v. 5, p. 1-6, 2015.
- FFG, 2020. *MAG. SPECHT® MACHINE SERIES*. <https://ffgea.com/fileadmin/user_upload/PDF/Broschueren/EN/180903_FFG_MAG_SPECHT_Baureihe_en_200d_pi_RGB.pdf>.
- LAWAL, Sunday Albert; CHOUDHURY, Imtiaz Ahmed; NUKMAN, Yusoff. A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant. *Journal of Cleaner Production*, v. 41, p. 210-221, 2013
- O MUNDO DA USINAGEM. Usinagem com ou sem refrigeração?.2018. <<https://omundodausinagem.com.br/usinagem-com-ou-sem-refrigeracao/>>.
- ROBOCORE, 2021. Micro servo 9g SG90. <<https://www.roboconet.net/servo-motor/micro-servo-9g-sg90-towerpro>>.

- SARHAN, Ahmed AD; SAYUTI, Mohd; HAMDI, Mohd. Reduction of power and lubricant oil consumption in milling process using a new SiO₂ nanolubrication system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 63, n. 5-8, p. 505-512, 2012.
- SHARMA, Anuj Kumar; TIWARI, Arun Kumar; DIXIT, Amit Rai. Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, v. 127, p. 1-18, 2016.
- SOUZA, Thales Sardinha Garcia. Efeito da rugosidade no desgaste de punções de conformação a frio. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.
- UNDA, Andrés GR; LIN, Vanessa FC; DE GODOY, Geralda Cristina Durães. Metodologia para a aplicação da análise topográfica ao estudo de processos de superfície. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 12, n. 4, p. 589-596, 2007.
- USINAGEM BRASIL, 2012. *Vantagens e benefícios do uso do MQL*.
<<http://www.usinagem-brasil.com.br/6791-vantagens-e-beneficios-do-uso-do-mql/>>.
- XSCIENCEY, 2016. Jet Flow using Large eddy simulation. < <https://www.youtube.com/watch?v=iELFWDuSoe4>>.
- ZEILMANN, Rodrigo P. et al. Processos de usinagem e responsabilidade ambiental através da redução da utilização de fluidos de corte. XVII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, p. 16-17, 2009.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Application of an MQL valve and S_p and S_v surface roughness in milling Ti-6Al-4V alloy

Nelson Wilson Paschoalinoto

Department of Mechatronics and Mechanical Systems Engineering, Polytechnic School of Engineering of the University of Sao Paulo (USP), São Paulo, SP 05508-900, Brazil

University Center of the Mauá Institute of Technology (IMT), São Caetano do Sul, SP 09580-900, Brazil.

nelson.paschoalinoto@maua.br

Jorge Antonio Giles Ferrer

Faculty of Mechatronic Technology, National Service for Industrial Training (SENAI-SP), São Caetano do Sul, SP 09572-300

jorge.ferrer@sp.senai.br

Ed Claudio Bordinassi

University Center of the Mauá Institute of Technology (IMT), São Caetano do Sul, SP 09580-900, Brazil.

ecb@maua.br

Gleicy De L. X. Ribeiro

Institute for Innovation in Advanced Manufacturing and Microfabrication, National Service for Industrial Training (SENAI-SP), São Paulo, SP 04757-000, Brazil.

gleicy.ribeiro@sp.senai.br

Gilmar Ferreira Batalha

Department of Mechatronics and Mechanical Systems Engineering, Polytechnic School of Engineering of the University of Sao Paulo (USP), São Paulo, SP 05508-900, Brazil.

gfbatalh@usp.br

Abstract. *The use of MQL lubrication has been used as a means of saving cutting fluids and also as a sustainable alternative for minimizing damage caused by improper disposal of oils used in machining. In this context, this work addresses the development and application of a low-cost MQL valve. Two strategies were used for machining: oil and mixing oil with graphite. To evaluate its performance, the valve used in milling the Ti-6Al-4V alloy due to the importance of this material in industrial, biomedical and aerospace applications, using an experimental design 2³ with two central points. For the control of opening and closing the valve, the Arduino platform was used due to the ease of access, customization and application. After machining, the surface roughness S_v and S_p were measured in a white light interferometer. It was observed that the use of the strategy with addition of graphite provided lower values of surface roughness S_p and S_v .*

Keywords: MQL. MQL valve. Milling. Ti-6Al-4V

RESPONSIBILITY NOTICE

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