

FRESAMENTO DO AÇO ABNT 1045 COM APLICAÇÃO POR MQL DE FLUIDOS DE CORTE COM ADIÇÃO DE GRAFENO

Vitor Baldin ¹
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva ²
Celso Ferraz Houck ³
Rogério Valentim Gelamo ⁴
Álison Rocha Machado ^{1, 2}

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUC-PR, R. Imaculada Conceição, 1155, Bairro Prado Velho, CEP 80215-901, Curitiba/PR, Brasil.

vitorbaldin@hotmail.com, alisson.rocha@pucpr.br

² Universidade Federal de Uberlândia, Escola de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1M, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

leonardo.rrs@gmail.com

³ Specialmix Industrial Ltda, R. Antônio Lacerda Braga, 341, Cidade Industrial de Curitiba, CEP 81170-240, Curitiba/PR, Brasil.

diretoria@specialmix.com.br

⁴ Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Exatas e Tecnologias, Av. Doutor Randolfo Borges Júnior, 1250 - Uberaba, MG, Brasil.

rogelamo@gmail.com

Resumo. Este trabalho avaliou a influência da adição de folhas de grafeno aos fluidos de corte de base vegetal e mineral aplicados por MQL e comparou ao corte a seco, considerando a vida e os desgastes das ferramentas de metal duro revestidas de TiAlN, no fresamento frontal do aço ABNT 1045. Os experimentos foram conduzidos sob condições de corte fixas ($v_c = 250$ m/min, $f_z = 0,14$ mm/dente, $a_p = 1$ mm e $a_e = 20$ mm), a seco e com aplicação de dois fluidos de base vegetal e um de base mineral pela técnica de MQL. Os fluidos foram usados sem e com a adição de 0,05 %wt e 0,1 %wt de grafeno. O critério de fim da vida útil da ferramenta seguiu as diretrizes da norma ISO 8688-1 (1989). Para análise dos resultados, foram aplicados ANOVA e Teste de Tukey. Os resultados revelaram que os fluidos de base vegetais tiveram desempenhos satisfatórios, similar ao fluido de base mineral, e a adição de grafeno nos fluidos de base vegetal aumentou a vida das ferramentas e no fluido de base mineral diminuiu.

Palavras-chave: Fresamento frontal, MQL, fluido de corte vegetal e mineral, grafeno adicionado ao fluido

1. INTRODUÇÃO

Nas indústrias metal mecânica, o processo de fresamento se destaca por apresentar grande versatilidade e possibilidade de produção de peças com formas geométricas complexas, com elevada capacidade de remoção de material. O processo se caracteriza por ser um corte interrompido, onde a ferramenta de corte, composta por vários dentes, remove material da peça de forma intermitente. Assim, cada cunha de corte da ferramenta sofre flutuações de cargas térmicas e mecânicas, as quais promovem o aparecimento de avarias e desgastes.

O desgaste é a remoção contínua de material ou o deslocamento de massa da ferramenta causado pelos fenômenos tribológicos. Segundo a norma ISO 8688-1 (1989), o desgaste da ferramenta pode ser definido como as mudanças geométricas que ocorrem gradativamente nas superfícies de corte, através da perda gradual de massa ou deformação plástica. O desgaste surge nas arestas principal e secundária de corte, na superfície principal e secundária de folga, superfície de saída do cavaco e no raio de canto da ferramenta, sendo classificados como desgaste de cratera, de flanco, de entalhe e raio de canto.

O desgaste de cratera surge na superfície de saída do cavaco e é característico dos elevados níveis de tensão das altas temperaturas da usinagem e afinidade química entre os materiais. O desgaste de flanco é ocasionado pela fricção da superfície principal e lateral de folga da ferramenta de corte na superfície usinada do material. Este atrito entre as superfícies gera um aumento da temperatura, a qual provoca o desgaste. O desgaste de entalhe é gerado nas superfícies de folga da ferramenta, mas pode evoluir para a superfície de saída, se posicionando principalmente na altura da profundidade de corte, onde finaliza-se o contato entre a aresta principal de corte e a peça (Trent, Wright, 2000). Estas formas de desgastes mencionadas, são ocasionadas por mecanismos de adesão, difusão, abrasão e oxidação, os quais dependem dos parâmetros de corte, material da peça, material da ferramenta, material do revestimento e das condições lubrificantes adotados na usinagem (Waydande *et al.*, 2016). Além dos desgastes, o lascamento, as trincas, as

quebras e a deformação plástica são considerados avarias mais comuns em ferramentas de corte. Essas avarias ocorrem com maior incidência em ferramentas de menor tenacidade e de natureza frágil, as quais apresentam menor resistência à variação dos esforços mecânicos e térmicos, condições presente nos processos de fresamento, onde o corte é intermitente (Machado *et al.*, 2015).

Para minimizar os problemas, utilizam-se fluidos de corte com o intuito de reduzir os desgastes das ferramentas de corte, melhorar o acabamento superficial e o controle dimensional. Entretanto, os altos custos dos fluidos de corte, as questões ecológicas e legais relacionadas à preservação do meio ambiente e da saúde das pessoas envolvidas nos processos (Cyprowski *et al.*, 2007; Mannekote *et al.*, 2018), estão contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias e procedimentos para a usinagem com a aplicação reduzida de fluidos na usinagem (Gilbert *et al.*, 2010). Para reduzir o consumo, desenvolveu-se o método de aplicação do fluido de corte por atomização, uma aplicação de névoa na zona de corte com a quantidade necessária apenas para promover a lubrificação (Dhar *et al.*, 2007). Este método é denominado MQL (mínima quantidade de lubrificante) ou MQF (mínima quantidade de fluido), onde a névoa é transportada por ar comprimido em elevadas pressões e direcionada na zona de corte, normalmente em quantidades que variam de 50 a 500 ml/h (Dhar *et al.*, 2006). A função lubrificante é assegurada quando a quantidade de lubrificante é o suficiente para lubrificar as interfaces cavaco-ferramenta-peça, de forma a reduzir o atrito e diminuir a aderência do material na ferramenta (Machado, Wallbank, 1997).

Para aumentar a eficiência dos fluidos de corte, partículas lubrificantes de grafite, MoS_2 , SiO_2 e grafeno são adicionados aos fluidos aplicados por MQL (Gunda *et al.*, 2016; Lv *et al.*, 2018; Sharma *et al.*, 2017; Su *et al.*, 2016; Uysal, 2016). A adição dessas partículas tem como objetivo melhorar as propriedades lubrificantes dos fluidos e, consequentemente reduzir os componentes da força de usinagem, temperatura de corte, rugosidade superficial, desgastes e vida das ferramentas de corte (Li *et al.*, 2018). De acordo com Samuel *et al.* (2010), a adição de grafeno aumenta a capacidade lubrificante dos fluidos de corte através da alteração da sua molhabilidade. Esta alteração reduz a fricção entre as superfícies da ferramenta-peça, diminuindo a força de corte. Para Park *et al.* (2011), o aumento da quantidade de grafeno em fluido reduz a força de usinagem, os picos e flutuações de temperatura gradativamente a medida que aumenta-se o percentual de grafeno (Uysal, 2018). Por fim, o grafeno resulta na diminuição dos desgastes das ferramentas e está diretamente ligado ao sistema MQL, a adição e variação da proporção do grafeno, bem como a variação da vazão de fluido (López *et al.*, 2006; Uysal, 2016).

Este trabalho tem como objetivo investigar a vida das ferramentas de corte de metal duro revestidas de TiAlN , no fresamento frontal do aço ABNT 1045 com MQL de fluidos integrais de base vegetal e mineral, sendo adicionado nestes fluidos a proporção de 0,05 e 0,1%wt de grafeno.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Caracterização dos materiais

O processo de fresamento foi realizado em blocos do aço ABNT 1045 no Laboratório de Usinagem (LAUS) da PUCPR, o qual dispõe de um centro de usinagem Cincinnati Milacron Arrow 500 (Fig. 1ab). Utilizou-se ferramentas intercambiáveis de metal duro (código ISO AOMT123608 PEER M), fabricado pela *Mitsubishi Materials*, com revestimento de TiAlN (referência do fabricante: VP15TF) e quebra cavaco tipo M, recomendados para a usinagem de aços carbono em geral, as quais são ilustradas e mostram-se aspectos geométricos e dimensionais na Fig. 1c. Utilizou-se para a fixação dos inserts intercambiáveis uma haste, também fabricada pela *Mitsubishi Materials* com 25 mm de diâmetro e capacidade para três inserts (designação ISO 13399 e descrição APX3000R253SA25SA da fabricante).

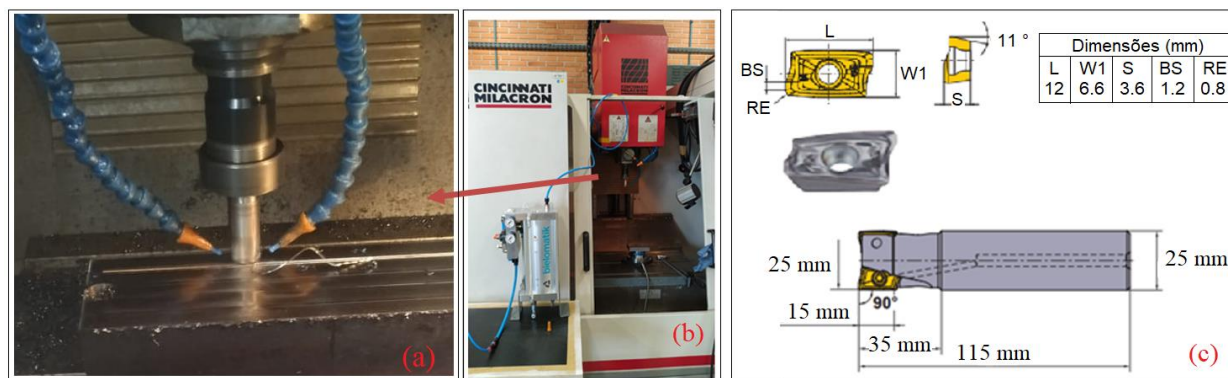


Figura 1: (a) Processo de fresamento para análise do tempo de vida da ferramenta. (b) Centro de usinagem Cincinnati Milacron Arrow 500. (c) Especificação geométrica da ferramenta de corte e haste de fixação.

Neste trabalho foi utilizado grafeno misturado aos fluidos de corte nas proporções de 0,05 e 0,1 %wt. As dimensões das folhas de grafeno foram determinadas com o auxílio do software IMAGE-J a partir das imagens geradas no MEV (Fig. 2), resultando em espessuras médias de aproximadamente 36,83 nm, considerando várias camadas de folhas de grafeno, condição semelhante às imagens apresentadas por Uysal (2016; 2018).

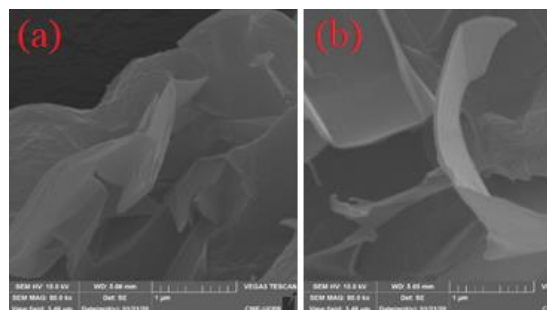


Figura 2: Fotos obtidas no MEV das folhas de grafeno.

Os fluidos de corte utilizados neste trabalho são óleos integrais MQL14 de base mineral e MQL15 de base vegetal, fornecidos pela SpecialMix Industrial Ltda., os quais foram comparados com outro óleo comercial integral de base vegetal ACCU-LUBE LB 1000 da ITW Chemical Products Ltda. O óleo MQL14 é recomendado para todas as operações severas de usinagem de materiais ferrosos e não ferrosos. A sua formulação é composta de básicos parafínicos, aditivo graxo sulfo-clorado inativo, antidesgaste, antioxidante, antiespumante e aditivos de extrema pressão. Do mesmo modo, o óleo de corte MQL15 é recomendado para operações de usinagem em geral de metais ferrosos e não ferrosos. É considerado um óleo do tipo inativo com formulação a base de ésteres vegetais e aditivos de extrema pressão (EP), antioxidantes, antidesgaste e antiespumante (SpecialMix, 2017). O óleo de corte Acc-Lube LB1000, segundo o fabricante, é recomendado para todas as operações de usinagem onde é desejável uma máxima vida da ferramenta na usinagem de materiais ferrosos. É composto de aditivos de extrema pressão clorados e elementos não tóxicos e renováveis (ITW, 2015). Na Tabela 1 apresentam-se as características físico químicas dos óleos utilizados.

Tabela 1: Características dos óleos de corte integrais

Características	MQL14	MQL15	LB1000
Viscosidade CST a 40 °C	9,5 / 10,5	60 a 70	39
Ponto de fulgor (ASTM D92) (°C)	>250	Mínimo 180	Acima de 204 °C
Ponto de congelamento (°C)	-10	-10	-15
Ponto de ebulição	Acima de 270°C a 760 mm/Hg	Acima de 270°C a 760 mm/Hg	Acima de 279 °C
Densidade (20/4 °C) (kg/l)	0,902	0,920	0,93

Definiu-se para os experimentos de fresamento as seguintes condições de corte: v_c de 250 m/min, f_z de 0,14 mm/rot, a_p de 1 mm e a_e de 20 mm, combinados com o corte a seco, com aplicação externa MQL a 45 ml/h em dois pontos defasados em 180 ° (Fig. 1a) dos óleos puros e com folhas de grafeno nas proporções de 0,05 e 0,1 %wt. Os ensaios foram realizados com corte predominantemente discordante e apenas um inserto fixado na haste de 25 mm, uma prática comum e que pode ser utilizada na comparação em módulo experimental entre condições de fresamento (Richetti et al., 2004). Para maior confiabilidade dos resultados foram realizados três experimentos para cada condição de fresamento, onde aplicou-se uma análise de variância com índice de confiabilidade de 95% (ANOVA) e Teste de Tukey para identificar as condições de corte que apresentaram variações significativas.

O desgaste das ferramentas foi monitorado periodicamente em intervalos que possibilitaram gerar a curva de desgaste vs tempo. Periodicamente o processo era interrompido, a ferramenta retirada do suporte e submetida à análise no Estéreo Microscópio Discovery V12 da Zeiss para medição e verificação da evolução do desgaste, onde, conforme observa-se na Fig. 3d, foi necessário delinear a aresta principal (Fig. 3c), aresta alisadora (Fig. 3a) e raio de canto (Fig. 3b) como sendo as regiões a serem monitoradas. Esta separação seguiu a distância aproximada e padronizada de 601 μ m em ambos os lados da ferramenta, como sendo o ponto de junção entre as arestas e o raio de canto. O critério de fim de vida útil da ferramenta utilizado seguiu as diretrizes da ISO 8688-1 (1989), a qual recomenda o desgaste de flanco médio VB_B de 0,3 mm e o desgaste de flanco máximo VB_{Bmax} de 0,6 mm, o que ocorrer primeiro. Neste trabalho interrompeu-se os ensaios quando o raio de canto atingiu o desgaste VB_B e VB_{Bmax} recomendado na norma. Para a avaliação do desgaste de cratera foi medido apenas a largura da cratera (KB).

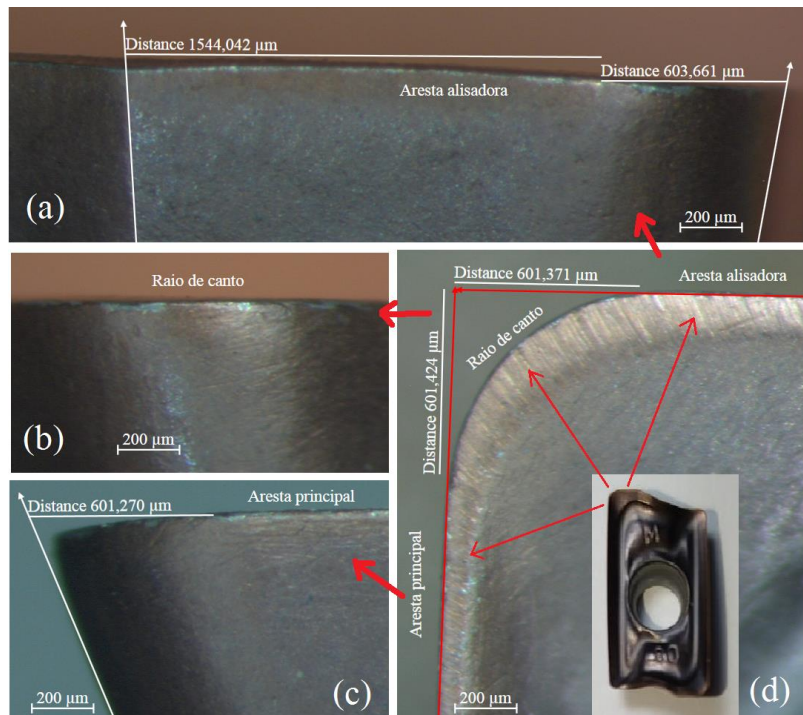


Figura 3: Imagens das arestas monitoradas nos testes de vida da ferramenta. (a) aresta alisadora, (b) raio de canto, (c) aresta principal e (d) dimensões para o raio de canto.

3. RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os resultados relacionados aos desgastes das ferramentas de corte e evolução da rugosidade superficial ao longo da vida da ferramenta. Para simplificar a representação gráfica utilizou-se como nomenclatura o nome do fluido de corte mais 0,05G para a proporção de grafeno de 0,05 %wt de grafeno e 0,1G para a proporção de 0,1 %wt.

Na Figura 4 apresentam-se os resultados (média de três ensaios) da evolução do desgaste das ferramentas de corte para as condições experimentais, a seco e com MQL dos fluidos LB1000, MQL15 e MQL14, todos aplicados na condição original e com a adição de grafeno. Nota-se que os desgastes na aresta principal, secundária alisadora e no raio de canto evoluem com pouca variação entre si, ou seja, há uma similaridade entre a progressão dos desgastes. O desgaste de cratera apresenta um comportamento evolutivo em alguns casos diferente dos desgastes de flanco. É possível identificar que o desgaste de raio se destaca e alcança o valor de 300 μm como critério de fim de vida estabelecido antes dos demais desgastes, motivando o seu uso na comparação de vida entre as condições de corte apresentado na Fig. 5.

Conforme observa-se na Figura 5a, as vidas das ferramentas de corte no fresamento com MQL apresentaram significativo aumento em relação ao corte a seco, onde, na condição que apresentou o menor ganho, a vida da ferramenta aumentou de 3,72 min no corte a seco para 9,6 min no corte com fluido LB1000 puro, um aumento de aproximadamente 158 %. Na utilização do fluido MQL14 puro, o aumento na vida da ferramenta foi ainda maior, neste caso, atingiu os 15,9 min, aproximadamente 327 % de aumento. Na Figura 5b é ilustrado o aumento percentual de vida das ferramentas para todas as condições lubrificantes em relação ao corte a seco, e na Fig. 6, ilustra-se o volume total de material removido ao final da vida para todas as condições. Com o auxílio da ANOVA e teste de Tukey foi possível identificar diferenças entre o corte a seco com todas as demais condições experimentais, bem como também o volume de material removido, foi diferente entre o corte com o fluido MQL14 puro em relação ao corte com o fluido LB1000 puro e os fluidos MQL15 puro e com grafeno. Estes resultados são importantes, pois mostram que o MQL pode ser recomendado para o fresamento de aço carbono.

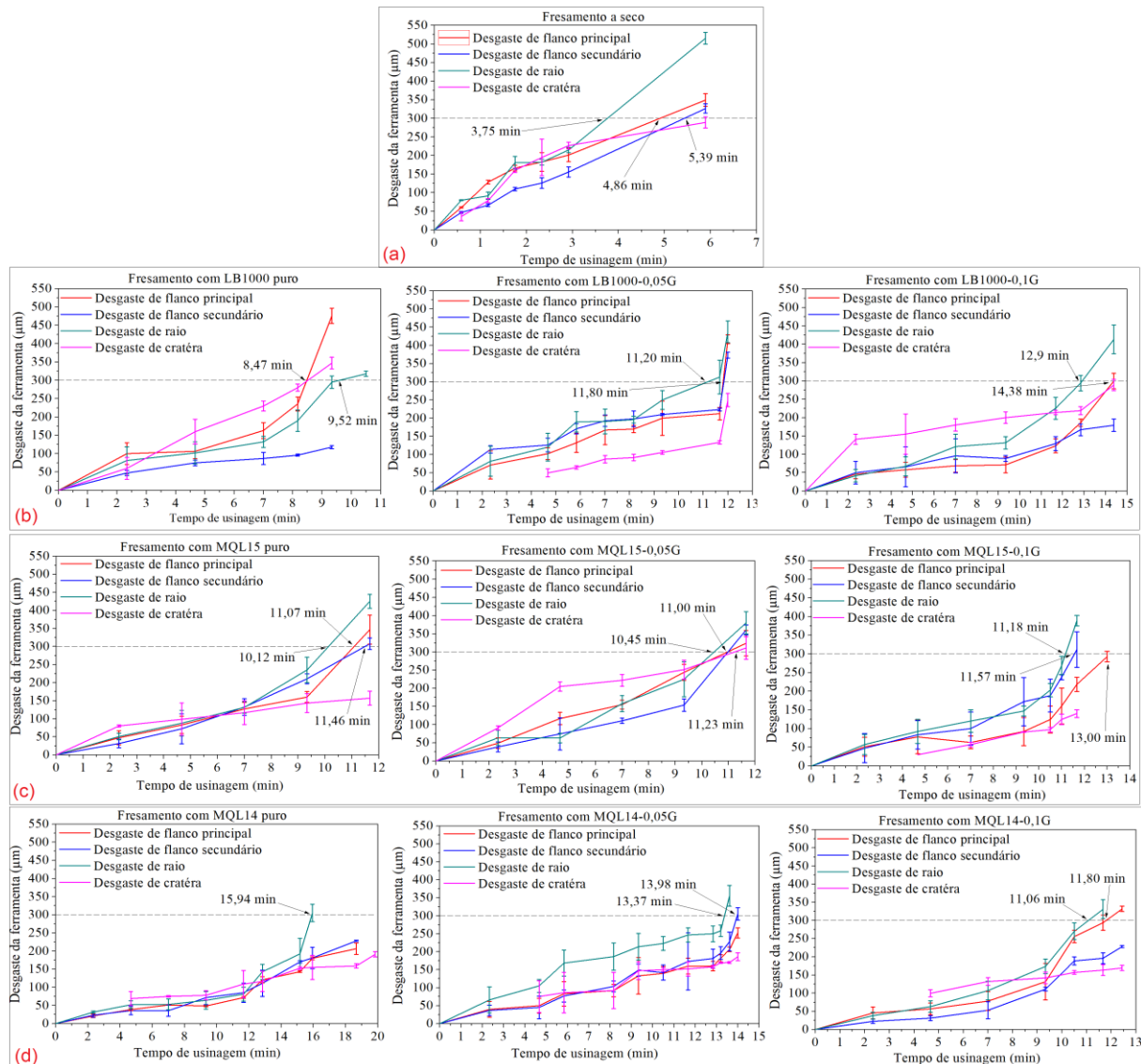


Figura 4: Curva de vida das ferramentas de corte para o desgaste da aresta principal, alisadora, raio de canto e desgaste de cratera: (a) corte a seco, (b) com o fluido LB1000, (c) MQL15 e (d) MQL14.

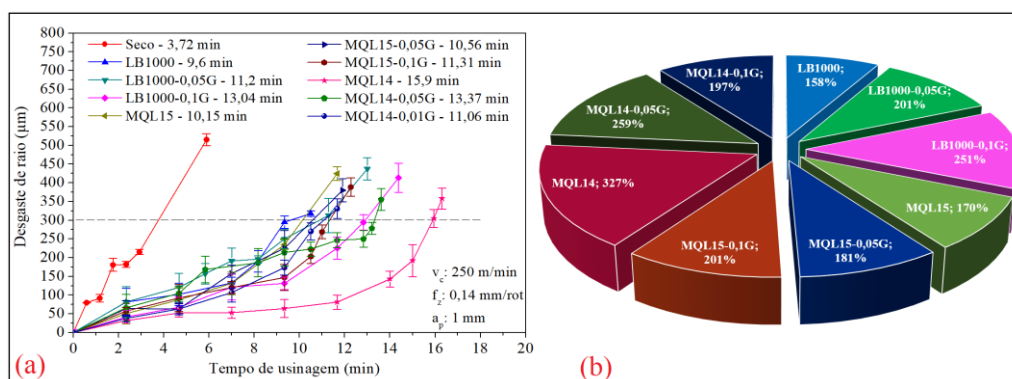


Figura 5: (a) Curva de vida das ferramentas de corte considerando o desgaste de raio de canto. (b) Ganho na vida das ferramentas com o uso de fluido de corte em comparação ao corte a seco.

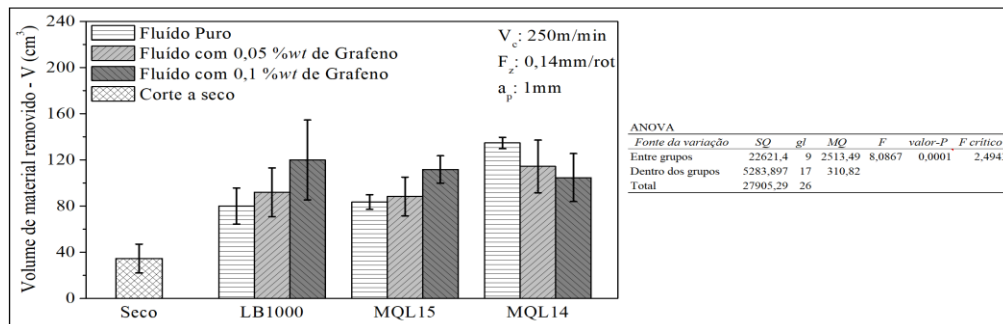


Figura 6: Volume de material removido ao final da vida da ferramenta e tabela de ANOVA.

Observa-se que a adição de grafeno aumentou o volume de material removido (VMR) para os fluidos de base vegetal (LB2000 e MQL15), sendo mais efetivo na maior concentração (0,1 %wt) e diminuiu o VMR no fluido de base mineral (MQL14), sendo mais danoso também na maior concentração. Para explicar melhor estes resultados, é necessária uma análise mais profunda do comportamento tribológico e físico dessas adições.

As Figuras 7, 8 e 9 mostram fotos da evolução dos desgastes de canto nas ferramentas nos testes de vida a seco e com o MQL, com e sem adição de grafeno. Conforme observa-se nestas figuras, o desgaste de canto evoluiu de forma diferente para as condições com fluido aplicados na forma de MQL em comparação ao corte a seco. No corte a seco, apareceram microlascamentos desde os primeiros minutos de usinagem, enquanto que com a aplicação dos fluidos de corte por MQL, estes defeitos ocorreram de maneira menos severa. Estes microlascamentos podem ser responsáveis pela redução de vida da ferramenta na condição a seco. Nota-se sulcos paralelos presentes em todas as condições testadas e são indicativos da predominância do mecanismo de desgaste por abrasão, mesmo quando houve lascamentos.



Figura 7: Evolução do desgaste de raio de canto em uma das ferramentas usadas no fresamento a seco.

Ainda, é possível comprovar nestas figuras que o uso das folhas de grafeno adicionadas aos fluidos de corte, não modificou o mecanismo de desgaste, apenas desacelerou sua evolução para os fluidos de base vegetal (LB1000 e MQL15) e acelerou para o fluido de base mineral (MQL14).

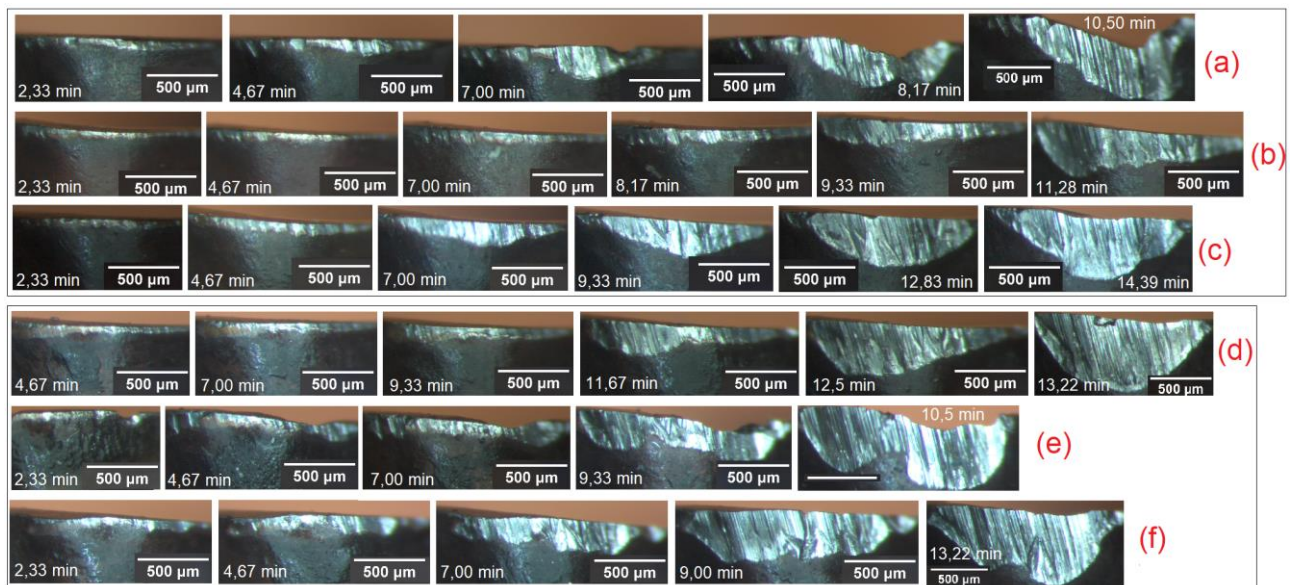


Figura 8: Evolução do desgaste de raio de canto em uma das ferramentas usadas no fresamento com MQL dos fluidos (a) LB1000, (b) LB1000-0,05G, (c) LB1000-0,1G, (d) MQL15, (e) MQL15-0,05G e (f) MQL15-0,1G.

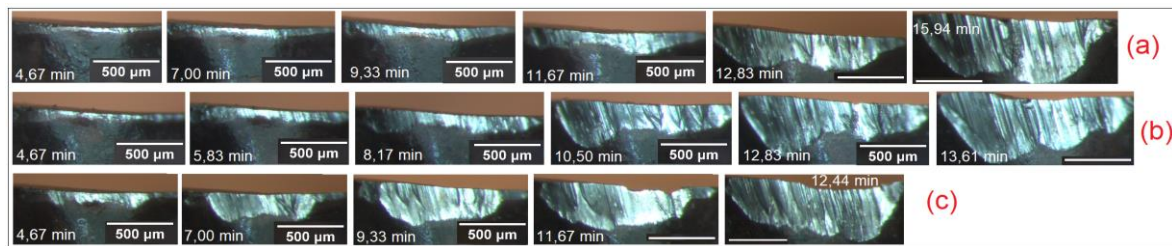


Figura 9: Evolução do desgaste de raio de canto em uma das ferramentas usadas no fresamento com MQL dos fluidos (a) MQL14, (b) MQL14-0,05G e (c) MQL14-0,1G.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos experimentos permitem concluir que:

- A usinagem a seco se mostrou em geral a condição mais crítica de usinagem;
- Os fluidos de corte aplicados por MQL na vazão de 45 ml/h apresentaram desempenho lubrificantes superior ao corte a seco, aumentando a vida das ferramentas de corte e o volume de material removido;
- Sem a adição de lubrificantes sólidos (folhas de grafeno) o fluido que apresentou maior performance foi o de base mineral MQL14. Com adição de grafeno, o fluido que apresentou a maior média de VMR foi o LB1000 com 0,1 %wt;
- De um modo geral, os fluidos de base vegetal LB1000 e MQL15 apresentaram equivalência em desempenho lubrificantes em comparação ao fluido de corte de base mineral MQL14 em relação ao volume de material removido ao longo da vida da ferramenta;
- A adição de folhas de grafeno nos fluidos de corte de base vegetal aumentou efetivamente as propriedades lubrificantes.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de pesquisa CNPq e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro. Os autores também agradecem à Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR do Brasil e à Universidade Federal de Uberlândia pelo apoio técnico.

6. REFERÊNCIAS

- CYPROWSKI, M. *et al.*, 2007. "Microbial and endotoxin contamination of water-soluble metalworking fluids". *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, v. 20, n. 4, p. 365-371.
- DHAR, N. R.; AHMED, M. T.; ISLAM, S., 2007. "An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 47, n. 5, p. 748-753.
- DHAR, N. R.; KAMRUZZAMAN, M.; AHMED, M., 2006. "Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel". *Journal of Materials Processing Technology*, v. 172, n. 2, p. 299-304.
- GILBERT, Y.; VEILLETTE, M.; DUCHAINE, C., 2010. "Metalworking fluids biodiversity characterization". *Journal of Applied Microbiology*, v. 108, n. 2, p. 437-449.
- GUNDA, R. K.; REDDY, N. S. K.; KISHAWY, H. A., 2016. "A Novel Technique to Achieve Sustainable Machining System". *Procedia CIRP*, v. 40, p. 30-34.
- ISO 8688-1, 1989. *Tool Life Test in Milling - Part 1: Face Milling*. p. 32.
- ITW Chemical Products Ltda, 2015, acesso em <https://www.itwchem.com.br/produtos/>.
- LI, M. *et al.*, 2018. "MQL milling of TC4 alloy by dispersing graphene into vegetable oil-based cutting fluid". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 99, n. 5-8, p. 1735-1753.
- LÓPEZ DE LACALLE, L. N. *et al.*, 2006. "Experimental and numerical investigation of the effect of spray cutting fluids in high speed milling". *Journal of Materials Processing Technology*, v. 172, n. 1, p. 11-15.
- LV, T. *et al.*, 2018. "Tribological and machining characteristics of a minimum quantity lubrication (MQL) technology using GO/SiO₂ hybrid nanoparticle water-based lubricants as cutting fluids". *Journal of Manufacturing Processes*, v. 34, p. 225-237.
- MACHADO, Á. R.; WALLBANK, J., 1997. "The effect of extremely low lubricant volumes in machining". *Wear*, v. 210, n. 1-2, p. 76-82.
- MANNEKOTE, J. K. *et al.*, 2018. "Environmentally friendly functional fluids from renewable and sustainable sources-

- A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 1787-1801.
- PARK, K.-H.; EWALD, B.; KWON, P. Y., 2011. "Effect of Nano-Enhanced Lubricant in Minimum Quantity Lubrication Balling Milling". *Journal of Tribology*, v. 133, n. 3, p. 031803.
- RICHETTI, A. et al., 2004. "Influence of the number of inserts for tool life evaluation in face milling of steels". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 44, n. 7-8, p. 695-700.
- SAMUEL, J. et al., 2010. "Graphene Colloidal Suspensions as High Performance Semi-Synthetic". *The Journal of Physical Chemistry*, p. 3410-3415.
- SHARMA, A. K. et al., 2017. "Investigation into Performance of SiO₂ Nanoparticle Based Cutting Fluid in Machining Process". *Materials Today: Proceedings*, v. 4, n. 2, p. 133-141.
- SU, Y. et al., 2016. "Performance evaluation of nanofluid MQL with vegetable-based oil and ester oil as base fluids in turning". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 83, p. 9-12.
- SpecialMix Industrial Ltda, 2017, acesso em <http://specialmix.com.br/guia-de-produtos/>.
- TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K., 2000. *Metal cutting*. 4. ed. London: Butterworth-Heinemann.
- UYVAL, A., 2018. "An experimental study on cutting temperature and burr in milling of ferritic stainless steel under MQL using nano graphene reinforced cutting fluid". *Advanced Materials Proceedings*, v. 2, n. 09, p. 560-563.
- UYVAL, A., 2016. "Investigation of flank wear in mql milling of ferritic stainless steel by using nano graphene reinforced vegetable cutting fluid". *Industrial Lubrication and Tribology*, v. 68, n. 4, p. 446-451.
- WAYDANDE, P.; AMBHORE, N.; CHINCHANIKAR, S., 2016. "A Review on Tool Wear Monitoring System". *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, v. 6, n. 5A, p. 49-53.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

FACE MILLING OF ABNT 1045 STEEL WITH THE APPLICATION OF CUTTING FLUIDS BY MQL WITH THE ADDITION OF GRAPHENE.

Vitor Baldin ¹
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva ²
Celso Ferraz Houck ³
Rogério Valentim Gelamo ⁴
Álisson Rocha Machado ^{1,2}

¹ Graduate Program in Mechanical Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUC-PR, R. Imaculada Conceição, 1155, Bairro Prado Velho, CEP 80215-901, Curitiba/PR, Brazil.

vitorbaldin@hotmail.com, alisson.rocha@pucpr.br

² Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1M, 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

leonardo.rrs@gmail.com

³ Specialmix Industrial Ltda, R. Antônio Lacerda Braga, 341, Cidade Industrial de Curitiba, CEP 81170-240, Curitiba/PR, Brazil.

diretoria@specialmix.com.br

⁴ Federal University of Triângulo Mineiro, Institute of Technological and Exact Sciences, Av. Doutor Randolpho Borges Júnior, 1250 - Uberaba, MG, Brazil.

rogelamo@gmail.com

Abstract. This work evaluated the influence of the use of graphene sheets to vegetable and mineral based cutting fluid applied by MQL, and compared to dry cutting, considering the life and wear of TiAlN coated carbide tools in face milling of AISI 1045 steel. The trials were performed under fixed cutting conditions ($v_c = 250$ m/min, $f_z = 0,14$ mm/dente, $a_p = 1$ mm e $a_e = 20$ mm) in dry cutting and with the application of two vegetal based cutting fluids and one mineral based cutting fluid by MQL. The cutting fluids were used without and with the addition of graphene particles in the proportions of 0.05 %wt and 0.1 %wt. The end of tool life criterion followed the recommendations of ISO 8688-1 (1989) standard. To analyze the results, ANOVA and Tukey's test was applied. The results revealed that the vegetable-based fluids presented satisfactory performances, similar to the mineral-based fluid, and the addition of graphene to the vegetal based cutting fluids augmented the tool lives and in the mineral based cutting fluid reduced the tool life.

Keywords: Face milling, MQL, vegetable and mineral based cutting fluids, graphene added to the fluid.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors of the work are solely responsible for the information included in this work.