

INFLUÊNCIA DO GRAFENO MULTICAMADAS NO FLUIDO DE CORTE SOBRE A QUALIDADE DA SUPERFÍCIE DO AÇO SAE 52100 APÓS A RETIFICAÇÃO

Bruno Souza Abrão

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brasil
brunoabrao53@gmail.com

Mayara Fernanda Pereira

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brasil
mayarafernanda.mec@gmail.com

Amanda Souza Abrão

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brasil
amandaabrao55@gmail.com

Mark James Jackson

Department of Aviation, Kansas State University, Aerospace and Technology Campus, Salina, KS 67401, Estados Unidos da América
mjjackson@ksu.edu

Rosemar Batista da Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brasil
rosemar.silva@ufu.br

Resumo: Uma das principais preocupações em retificação com rebolos convencionais (à base de óxido de alumínio e carvão de silício) refere-se com a quantidade de calor que é direcionada a peça durante o processo, e que, dependendo das condições de corte empregadas, podem levar a danos térmicos que podem comprometer a funcionalidade da peça e levar a prejuízos. Uma das formas de minimizar e/ou eliminar estes danos térmicos é empregar fluidos de corte pela técnica convencional, abundância. Contudo, por causa das elevadas vazões utilizadas nesta técnica e pelos problemas relacionados à saúde do operador e com as questões ambientais, os usuários de retificação têm utilizado a técnica da Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) em muitas situações como alternativa, que emprega vazões bem inferiores e que exige menos quantidade de fluido que a técnica convencional. Entretanto a técnica MQL tem apresentado limitações quanto à refrigeração do processo, além de induzir a um maior entupimento do rebolo, de forma que o aprimoramento dela pela adição de partículas sólidas, como o grafeno, ao fluido de corte aplicado por esta tem oferecido benefícios tais como o aumento da condutividade térmica do fluido e redução das forças de retificação pela redução do coeficiente de atrito na interface rebolo peça, que melhoram as condições tribológicas e o acabamento da peça. Neste sentido, foram realizados ensaios de retificação plana tangencial do aço endurecido SAE 52100 utilizando como condições de lubri-refrigeração a técnica MQL tradicional (óleo sem adição de partículas sólidas) e MQL+Grafeno (óleo com adição de grafeno multicamadas). Os parâmetros de entrada testados foram a velocidade da peça, a velocidade do rebolo, e penetração de trabalho iguais a 7 m/min, 38 m/s e 30 μ m, respectivamente. As variáveis de saída analisadas foram a rugosidade Ra e imagens das superfícies retificadas obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados mostraram que a adição de grafeno multicamadas ao fluido de corte resultou em menores valores de rugosidade Ra e superfícies com melhor textura, apresentando menor quantidade de regiões com deformação plástica e sulcos mais uniformes.

Palavras-chave: Retificação; Grafeno Multicamadas; Técnica MQL; Aço SAE 52100; Rugosidade; Textura superficial.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de a retificação ser um processo de usinagem amplamente empregado no fim da cadeia produtiva por proporcionar a obtenção de componentes com tolerâncias dimensionais estreitas (IT6-IT3) e ótimo acabamento ($Ra < 1,6 \mu$ m), a ela apresenta alguns desafios principalmente associados ao direcionamento do calor gerado durante a usinagem

(MALKIN e GUO, 2008). Há um intenso atrito durante a interação entre o rebolo e a peça, e assim a energia mecânica é transformada em calor. Devido ao fato dos rebolos abrasivos convencionais (óxido de alumínio e carbeto de silício) possuírem baixa condutividade térmica e os cavacos oriundos da usinagem apresentarem pequenas dimensões, a maior parte do calor é conduzida para a peça, podendo causar danos térmicos ao componente, como trincas, alterações microestruturais, dentre outros (MARINESCU et al., 2016).

Desta forma, em processos de retificação é imprescindível a utilização de fluido de corte visando reduzir a parcela de calor que será direcionada para o componente usinado. Os fluidos de corte apresentam como principais funções a lubrificação e a refrigeração da região de contato entre o rebolo e a peça, sendo que a lubrificação está relacionada à redução do atrito entre as partículas abrasivas do rebolo e o material, enquanto que a refrigeração diz respeito à remoção do calor da zona de corte (ROWE, 2014). Dentre as condições de lubri-refrigeração, a convencional (abundância) ainda é a mais empregada e consiste na utilização de fluido de corte em elevadas vazões, normalmente variando entre 240 L/h a 1800 L/h (ASTAKHOV e JOKSCH, 2012). Entretanto, devido à crescente atenção para as questões ambientais, sociais e econômicas, pesquisas têm sido realizadas no intuito de reduzir o consumo de fluido nos processos de usinagem (KLOCKE, 2009). Os fluidos de corte, além de apresentarem componentes químicos que são nocivos à natureza e a saúde do operador, também representam um custo considerável durante a fabricação dos componentes (segundo Walker (2013) estes custos podem chegar a 16 % do custo total de usinagem). A condição de Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) surgiu com objetivo de diminuir o consumo de fluido de corte, empregando vazões normalmente inferiores a 250 mL/h sem afetar a qualidade da peça. Um dos trabalhos em que esta técnica foi bem sucedida refere-se ao de Abrão et al. (2017). Estes autores realizaram ensaios de retificação do aço AISI VP 100, um aço inoxidável e susceptível a queima de retífica, com rebolo de óxido de alumínio em diferentes condições de lubri-refrigeração. Eles observaram, no geral, que a a retificação na condição MQL gerou menores valores de rugosidade Ra e Rz das peças em relação à técnica convencional de aplicação de fluido de corte, resultados que eles atribuíram à combinação entre a eficiência de ar comprimido do sistema MQL de quebrar a barreira de ar formada em torno do rebolo abrasivo com o spray de óleo que é direcionado à zona de corte e reduz o coeficiente de atrito e melhora as condições tribológicas. Isso contribui para um melhor acabamento.

Apesar de reduzir o consumo de fluido, em razão da pequena quantidade de fluido empregada, a capacidade de refrigeração desta condição MQL é limitada, além de levar a um empastamento prematuro do rebolo. Hadad e Sharbati (2016) constataram que a usinagem com a condição MQL apresentou maiores valores de temperaturas desenvolvidas no processo em relação com a condição convencional durante testes de retificação do aço DIN st-37, o que pode ser explicado pela menor quantidade de fluido de corte utilizada pela condição MQL que tem menor efeito de refrigeração que a técnica convencional. Recentemente, alguns estudos têm indicado que a adição de partículas sólidas ao fluido de corte possibilita a melhoria da condição MQL devido ao fato destas partículas aumentarem a viscosidade (lubrificação) e condutividade térmica dos fluidos de corte (refrigeração). Durante ensaios de retificação do aço endurecido SAE 52100, Paiva et al. (2020) constataram que a adição de grafeno multicamadas ao fluido de corte proporcionou componentes com menores valores de rugosidade e melhor textura superficial, como também menor potência elétrica do processo, em relação com as peças usinadas com o fluido sem adição das partículas de grafeno. O fluido de corte contendo essas partículas sólidas induz a geração de um tribo-filme na interface rebolo/peça, atuando na melhoria das condições tribológicas do sistema e, consequentemente, resultando na geração de superfícies com melhor qualidade. Neste sentido esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência do grafeno multicamadas no fluido de corte sobre a qualidade da superfície do aço SAE 52100 após a retificação.

2. METODOLOGIA

Os testes experimentais foram realizados em uma retificadora plana tangencial, modelo P36, do fabricante Mello S.A., potência de 3 HP, rotação do rebolo constante e igual a 2 400 rpm, e resolução do eixo que regula a penetração do rebolo igual a 5 μ m. O material utilizado para a fabricação das amostras foi o aço endurecido SAE 52100 (60 ± 2 HRC) com geometria cilíndrica, sendo 16 mm de diâmetro por 17 mm de comprimento. Devido às dimensões das peças, foi necessária a utilização de uma morsa de precisão para a fixação das amostras antes do posicionamento sobre a mesa da retificadora, conforme demonstrado na Figura 1.

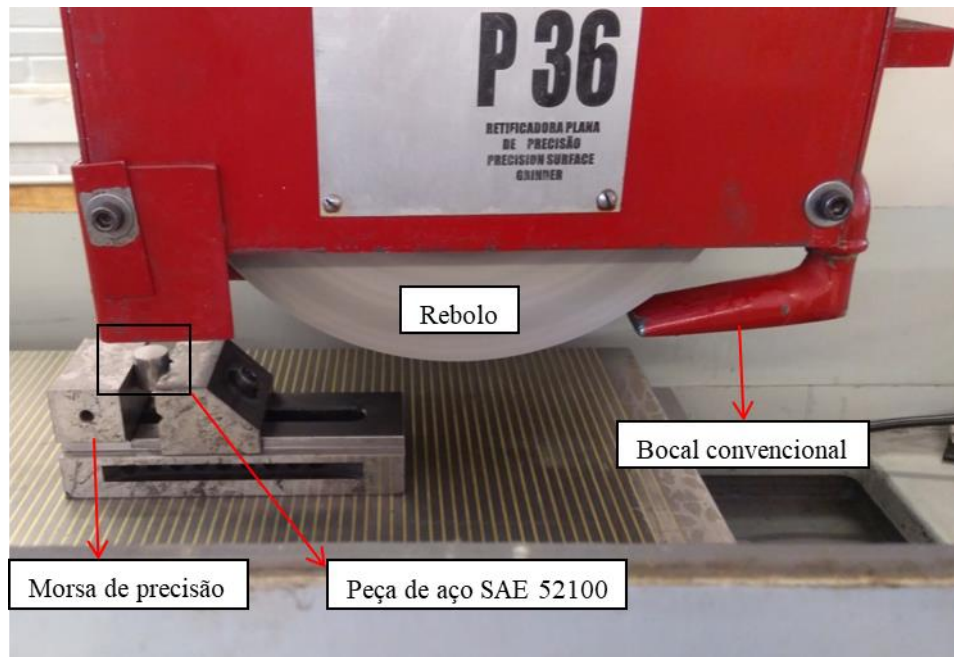


Figura 1. Retificadora plana tangencial Mello.

O rebolo empregado nos ensaios de retificação foi de óxido de alumínio convencional (Al_2O_3) do tipo reto com especificação AA46K6V, do fabricante NORTON – SAINT GOBAIN ABRASIVES, e possui como dimensões 303 mm (diâmetro externo) x 25 mm (largura) x 76 mm (diâmetro interno). É importante ressaltar que antes da realização de cada ensaio, o rebolo passou pela operação de dressagem visando a manutenção do mesmo condicionamento de corte do rebolo. Para isso foi utilizando um dressador de ponta única de diamante do fabricante Winter com raio de ponta de 0,3 mm, sendo os parâmetros de dressagem empregados: tempo de dressagem de 10 s, largura do dressador $b_d = 0,3175$ mm e grau de recobrimento do rebolo $U_d = 5$.

Em relação às condições de lubri-refrigeração, foram testadas a condição MQL (óleo sem adição de grafeno multicamadas) e MQL+Grafeno. O fluido de corte empregado para ambas as condições de aplicação de fluido de corte foi o Vasco 7000, semissintético à base de óleo éster vegetal e miscível em água, com densidade igual a $0,98 \text{ g/cm}^3$ e ponto de fulgor de 134°C , da fabricante Blaser Swisslube. Nas duas condições de lubri-refrigeração o fluido foi utilizado sem adição de água. A vazão de óleo de 150 mL/h e pressão de ar comprimido igual a 0,3 Mpa foram os parâmetros selecionados para a aplicação do fluido de corte para ambas as condições (MQL e MQL+Grafeno). Para a condição MQL+Grafeno, as partículas de grafeno multicamadas foram dispersas em fluido de corte na concentração de 0,05 % em peso e estas foram preparadas no Laboratório de Filmes Finos e Processos de Plasma do Departamento de Física Aplicada do ICTE, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, pelo Prof. Dr. Rogério Valentim Gelamo. Na Tabela 1 estão apresentadas as propriedades dos fluidos empregados nas duas condições de lubri-refrigeração.

Tabela 1. Propriedades dos fluidos de corte a 25°C empregados nos ensaios experimentais.

Condição de lubri-refrigeração	Condutividade térmica (W/mk)	Viscosidade cinemática ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	Viscosidade dinâmica (mPa. s)	Massa específica (g/cm^3)
MQL (óleo sem adição de água e sem partículas sólidas)	$0,314 \pm 0,000$	$151,367 \pm 0,148$	$148,542 \pm 0,144$	$0,981 \pm 0,000$
MQL+Grafeno	$0,321 \pm 0,001$	$166,692 \pm 2,472$	$163,407 \pm 2,392$	$0,980 \pm 0,001$

Os valores do parâmetro de rugosidade R_a das amostras retificadas foram obtidos empregando um rugosímetro portátil do fabricante Taylor Hobson, modelo Surtronic S-100, com resolução de $0,01 \mu\text{m}$. Foram realizadas cinco (5) medições sobre a superfície das peças usinadas (média e desvio padrão) em regiões distintas, sendo realizadas no Laboratório de Metrologia Dimensional (LMD – UFU) sobre um desempenho visando garantir o paralelismo com a superfície de medição. Foi empregado comprimento de amostragem (cut-off) de 0,8 mm.

A análise das superfícies usinadas ocorreu por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo TM3000, que se encontra no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da FEMEC-UFU. Antes das amostras serem avaliadas no MEV, estas passaram por um processo de limpeza utilizando uma cuba ultrassônica e acetona pura visando a remoção de cavacos, impurezas e até mesmo fluido de corte que estivessem aderidos sobre elas. Além disso, elas foram fixadas em uma morsa de precisão miniaturizada em razão de suas pequenas dimensões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 estão apresentados os valores de rugosidade Ra dos componentes de aço endurecido SAE 52100 submetidos ao processo de retificação plana tangencial sob diferentes condições de lubri-refrigeração. Os resultados indicaram que a utilização da condição MQL+Grafeno proporcionou uma redução de 28,2 % no valor de rugosidade Ra em comparação com o ensaio realizado empregando a condição MQL. Conforme apresentado na Tabela 1, a adição das partículas de grafeno multicamadas ao fluido de corte resulta em um aumento da viscosidade e condutividade térmica do fluido de corte. Sendo assim, a condição MQL+Grafeno apresenta uma superior capacidade de lubrificação e refrigeração do sistema em relação ao fluido sem a adição destas partículas.

Oliveira et al. (2019) desenvolveram testes de retificação plana tangencial do Inconel 718 empregando diferentes condições de lubri-refrigeração e os resultados obtidos indicaram que a dispersão de grafeno multicamadas ao fluido de corte proporcionou redução dos valores de rugosidade Ra em relação ao fluido de corte sem adição de grafeno. Os autores atribuem esse comportamento ao aumento da viscosidade do fluido de corte com a adição destas partículas, que resulta no aumento da capacidade de lubrificação e proporcionando a melhoria das condições tribológicas entre rebolo e peça, consequentemente, reduzindo os valores de rugosidade. Em ensaios de retificação com rebolo de óxido de alumínio do aço endurecido SAE 52100, Paiva et al. (2020) testaram diferentes condições de lubri-refrigeração, sendo elas a MQL (óleo sem adição de partículas sólidas) e a MQL com diferentes concentrações de grafeno multicamadas ao fluido de corte (0,025 % em peso, 0,050 % em peso e 0,075 % em peso). Os autores observaram que a adição de grafeno multicamadas ao fluido de corte resultou na redução dos valores de rugosidade Ra quando comparada ao fluido de corte sem adição destas partículas. A justificativa apresentada diz respeito ao aumento da viscosidade e refrigeração com a adição do grafeno, aumentando a capacidade do fluido de corte em lubrificar e refrigerar a zona de corte e, consequentemente, diminuindo os valores de rugosidade.

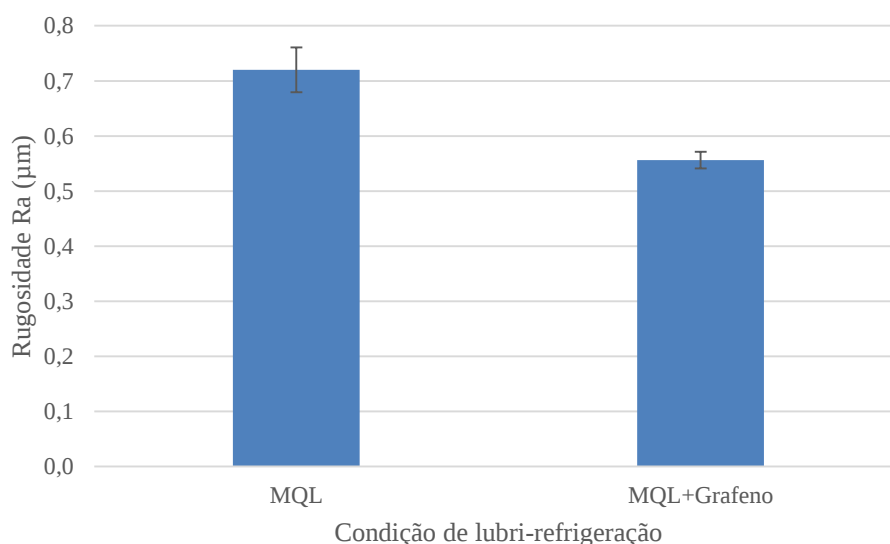


Figura 2. Valores de rugosidade Ra do aço endurecido SAE 52100 após os ensaios de retificação em função das condições de lubri-refrigeração.

Na Figura 3 são apresentadas as imagens das superfícies retificadas de aço SAE 52100 submetidas à diferentes condições de lubri-refrigeração. Como pode ser observado, a utilização da condição MQL+Grafeno proporcionou a obtenção de uma superfície com melhor acabamento, representada por sulcos mais uniformes e rasos e menor quantidade de regiões com deformação plástica (Figura 3b), em comparação com a superfície gerada através da utilização da condição MQL (Figura 3a). Esse comportamento comprova a eficiência da adição de partículas de grafeno ao fluido de corte no que diz respeito à melhoria da qualidade dos componentes retificados e está de acordo com os resultados de rugosidade representados na Figura 2. O grafeno multicamadas ao ser disperso no fluido de corte induz ao aumento da viscosidade do fluido, resultando assim em uma melhor lubrificação da interface rebolo/peça e, consequentemente, proporcionando uma melhoria da textura superficial. Em trabalho na retificação de aço para molde JIS NAK80 com rebolo de óxido de alumínio e empregando partículas sólidas (nanotubos de carbono de paredes múltiplas) dispersas em fluido de corte aplicada via a técnica MQL em retificação Huang; Liu; Wu (2016) relataram que a presença dos nanotubos de carbono resultou em superfícies das peças com sulcos mais uniformes, além delas possuírem menor quantidade de material aderido sobre a superfície da peça, em comparação com aquelas que foram usinadas pela condição convencional e via a técnica MQL (sem partículas de nanotubos de carbono). A justificativa apontada está no fato do fluido com nanotubos de carbono formar um tribofilme sobre a superfície usinada e, assim, reduzir o atrito gerado. Pavan et al. (2017) também observaram

a influência positiva de partículas de grafeno com relação a qualidade das superfícies de Inconel 718 retificadas, onde a adição destas partículas atuou no aumento da propriedade lubrificante do fluido de corte, melhorando as condições tribológicas e favorecendo o cisalhamento.

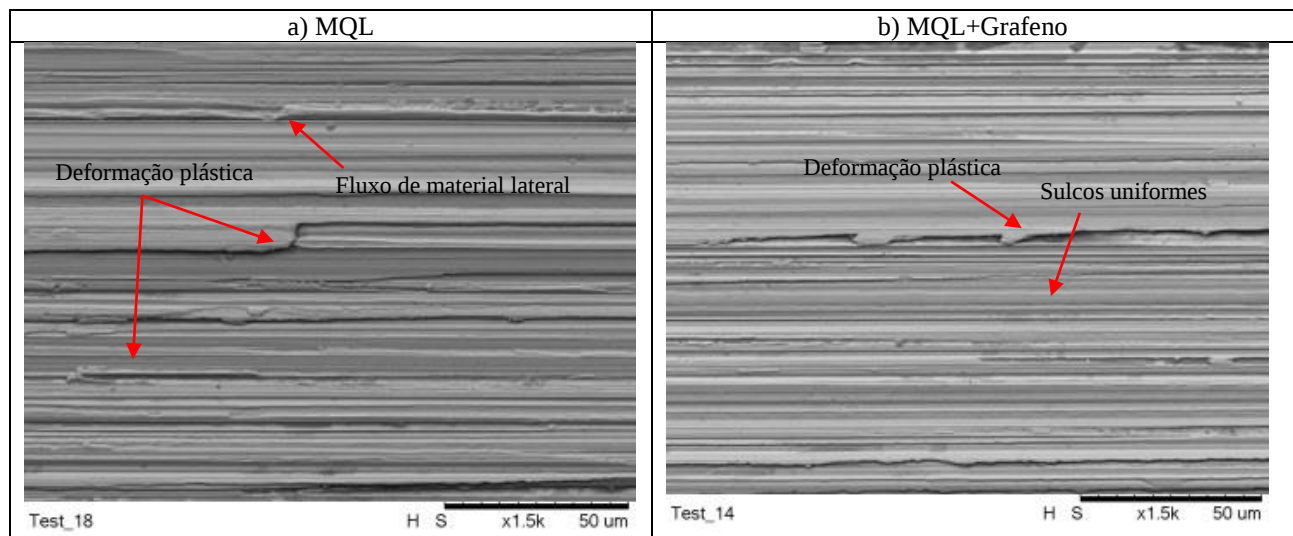


Figura 3. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) referentes aos ensaios de retificação do aço endurecido SAE 52100 submetido à diferentes condições de lubri-refrigeração.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados experimentais obtidos com a retificação plana da tangencial do aço SAE 52100 sob diferentes condições de lubri-refrigeração, as seguintes conclusões foram obtidas:

- A condição MQL+Grafeno proporcionou a geração de componente com menor valor de rugosidade Ra em comparação com a condição MQL (óleo sem adição de grafeno multicamadas), sendo este valor 22,8 % inferior. Esse resultado é justificado pela superior capacidade de lubrificação e refrigeração da condição MQL+Grafeno proporcionada pelo grafeno;
- Com relação à análise das superfícies retificadas, foi possível constatar que a superfície obtida por meio da utilização da condição empregando fluido de corte com adição de grafeno multicamadas apresentou sulcos mais uniformes e mais rasos e menor quantidade de áreas com deformação plástica.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também gostariam de agradecer a todos os integrantes do LEPU e LUC da FEMEC-UFU pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho, como também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU. Rosemar Batista da Silva agradece à FAPEMIG via EDITAL 01/2016 - DEMANDA UNIVERSAL - PROCESSO N.: TEC - APQ-01119-16, à FAU pelo Processo de Chamada Pública Nº 02/2018 e ao CNPq, via projeto n. 426018/2018-4 Chamada MCTIC/CNPq Nº 28/2018 - Universal pelo apoio financeiro e que permitiram o desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Abrão, B.S., Pereira, M.F., Guimarães, C., Silva, L.S.V., Ruzzi, R.S. e Silva, R. B., 2017. Surface finish evaluation of AISI VP 100 steel after grinding with MQL technique with different flow rates. 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering. Curitiba, Brazil.
- Astakhov, V.P. e Joks, S., 2012. Metalworking fluids (mwfs) for cutting and grinding. Woodhead Publishing Limited.
- Hadad, M. e Sharbati, A., 2016. Analysis of the effects of dressing and wheel topography on grinding process under different coolant-lubricant conditions. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 20, p. 3727-3738.
- Huang, W.T., Liu, W.S. e Wu, D.H., 2016. Investigations into lubrication in grinding processes using MWCNTS nanofluids with ultrasonic-assisted dispersion. Journal of Cleaner Production, Vol. 137, p. 1553-1559.
- Klocke, F., 2009. Manufacturing Process 2: Grinding, honing, lapping. Ed springer.
- Malkin, S. e Guo, C., 2008. Grinding Technology: Theory and applications of machining with abrasives. 2ª ed. New york: Industrial Press.

- Marinescu, I.D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B. e Inasaki, I., 2016. Handbook of machining with grinding wheels. CRC Press.
- Oliveira, D., Silva, R.B. e Gelamo, R.V., 2019. Influence of multilayer graphene platelet concentration dispersed in semisynthetic oil on the grinding performance of Inconel 718 alloy under various machining conditions. Wear, Vol. 426-427, p. 1371- 1383.
- Paiva, R.L., Ruzzi, R.S., Oliveira, L.R., Filho, E.P.B., Neto, L.M.G., Gelamo, R.V.E e Silva, R.B., 2020. Experimental study of the influence of graphene platelets on the performance of grinding of SAE 52100 steel. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 110, p. 1-12.
- Pavan, R.B., Gopal, A.V., Amrita, M. e Goriparthi, B.K., 2017. Experimental investigation of graphene nanoplatelets-based minimum quantity lubrication in grinding Inconel 718. Journal of Engineering Manufacture, Vol. 233.
- Rowe, W.B., 2014. Principles of modern grinding technology. 2ª ed. Elsevier Inc.
- Walker, T., 2013. The mql handbook – a guide to machining with minimum quantity lubrication. [s.l.] Unist Inc,

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF MULTI-LAYER GRAPHENE PLATELETS IN THE CUTTING FLUID ON THE SURFACE QUALITY OF SAE 52100 STEEL AFTER GRINDING

Bruno Souza Abrão

Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brazil
brunoabrao53@gmail.com

Mayara Fernanda Pereira

Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brazil
mayarafernanda.mec@gmail.com

Amanda Souza Abrão

Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brazil
amandaabrao55@gmail.com

Mark James Jackson

Department of Aviation, Kansas State University, Aerospace and Technology Campus, Salina, KS 67401, United States of America
mjjackson@ksu.edu

Rosemar Batista da Silva

Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP: 38408-100, Uberlândia, MG, Brazil
rosemar.silva@ufu.br

Abstract. *One of the main concerns in grinding with conventional grinding wheels (aluminum oxide and silicon carbide) refers to the amount of heat that is directed to the workpiece during the process, which is dependent on the cutting conditions used, can lead to surface damages that can compromise the functionality of the part and lead to economic losses. One of the ways to minimize and/or eliminate these thermal damages is to use cutting fluids delivered by the conventional technique, flood. However, because of the high flow rates used in this technique and the problems related to the operator's health and environmental issues, grinding users have opted by the Minimum Quantity Lubrication (MQL) technique in many situations as an alternative, which employs much lower flow rates than conventional coolant supply, i.e., it requires less amount of fluid than the conventional technique. However, the MQL technique has presented limitations regarding the cooling of cutting zone, in addition to leading to premature clogging of the grinding wheel, so that its improvement by adding solid particles, as graphene platelets, to the cutting fluid applied by MQL technique has offered benefits such as increased thermal conductivity of cutting fluid and reduction of grinding forces by reducing the friction coefficient at the grinding wheel-workpiece interface, which improve the tribological conditions and generates better finish of the workpiece. In this sense, peripheral surface grinding tests of the hardened steel SAE 52100 were carried out using as lubrication-cooling conditions the traditional MQL technique (oil without addition of solid particles) and MQL+Graphene (oil with the addition of multilayer graphene platelets). The input parameters tested were workpiece speed, grinding wheel speed, and work penetration equal to 7 m/min, 38 m/s and 30 μ m, respectively. The output variables analyzed were the roughness Ra and images of the ground surfaces obtained by Scanning Electron Microscopy (SEM). The results showed that the addition of multilayer graphene to the cutting fluid resulted in lower Ra roughness values and better surface quality, with fewer regions with plastic deformation and more uniform grooves.*

Keywords: Grinding; Multilayer Graphene; MQL technique; SAE 52100 steel; Roughness; Surface texture.

RESPONSIBILITY NOTICE

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