

AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO E DA MICRODUREZA DE AÇO ROLAMENTO APÓS A RETIFICAÇÃO COM A TÉCNICA MQL E ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO

Bruno Souza Abrão

Mayara Fernanda Pereira

Márcio Peres de Souza

Sérgio Augusto Albino Vieira

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

Rodolfo Fischer Moreira Oliveira

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda, São Paulo – SP, Brasil.

Rosemar Batista da Silva

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

brunoabrao53@gmail.com

mayaraufu2011@gmail.com

marcioperes@ufu.br

sergioaugustoav@gmail.com

rodolfo.oliveira@saint-gobain.com

rosemar.silva@ufu.br

Resumo. Durante a retificação ocorre a geração de uma grande quantidade de calor que pode ocasionar danos térmicos ao componente usinado. Esse problema pode se agravar ao usinar materiais como o aço SAE 52100, por exemplo, que é bastante susceptível a danos térmicos. Por esta razão, a utilização de fluido de corte torna-se imprescindível, principalmente na forma convencional, que emprega elevadas vazões (abundância). Entretanto, novas linhas pesquisas vêm sendo desenvolvidas buscando a redução do consumo de fluido de corte, e uma das mais promissoras tem sido usar a técnica da Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) com a adição de partículas sólidas. Neste sentido, o presente trabalho visa avaliação do acabamento e da microdureza do aço SAE 52100 (principal material utilizado na fabricação de componentes de rolamento) após a retificação com a técnica MQL contendo fluido mais nanotubos de carbono. Para comparação foram realizados também ensaios com as condições convencional e MQL tradicional (óleo + ar comprimido). Como principais resultados, observou-se que a menor variação na microdureza abaixo da superfície retificada foi proporcionada ao empregar a técnica MQL+nanotubos de carbono, além da utilização desta técnica resultar em valor de rugosidade similar ao encontrado para a técnica convencional.

Palavras chave: Retificação. Aço SAE 52100. Mínima Quantidade de Lubrificação. Nanotubos de carbono. Integridade superficial e sub-superficial.

1. INTRODUÇÃO

A retificação é um processo de usinagem por abrasão amplamente empregado visando a obtenção de componentes com tolerâncias dimensionais estreitas e baixos valores de rugosidade (Malkin e Guo, 2008). Entretanto, durante a realização do processo ocorre a geração de uma grande quantidade de calor na zona de corte e em razão de algumas peculiaridades do processo (os abrasivos que compõem o rebolo apresentam baixa condutividade térmica e os cavacos gerados no processo possuem pequenas dimensões), a maior parte desse calor é direcionado à peça de trabalho, podendo resultar em danos térmicos que comprometam a integridade superficial e sub-superficial do componente usinado (Marinescu *et al.*, 2016). Essa questão merece maior atenção durante a usinagem de materiais que apresentem maior susceptibilidade a esses danos, como é o caso do aço SAE 52100, material que é de grande empregabilidade em diversos setores industriais, com destaque para o setor automobilístico na fabricação de rolamentos.

Desta forma, é indispensável a utilização de fluido de corte durante o processo de retificação com o intuito de reduzir os riscos de ocorrência de danos térmicos, já que suas principais funções são promover a refrigeração e a lubrificação na interface rebolo/peça. A refrigeração está associada à remoção de calor da zona de corte enquanto a

lubrificação diz respeito à diminuição do coeficiente de atrito existente entre as partículas abrasivas do rebolo e a peça. Dentre as formas de aplicação de fluido de corte, a convencional é aquela de maior empregabilidade, na qual o fluido de corte é utilizado em elevadas vazões, normalmente superior a 3 L/min, e por isso requer um grande volume de fluido (Rowe, 2014; Neto, 2013). Contudo, uma grande quantidade de fluido de corte implica em impactos ambientais, sociais e econômicos, tornando necessário assim o estudo de novas condições de lubri-refrigeração que visem a redução do consumo de fluido de corte durante os processos de usinagem (Klocke, 2009). Nesse contexto, surgiu a técnica da Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL), na qual a vazão pode variar desde 20 mL/h a 250 mL/h, valor este bastante inferior àquela da condição convencional (180.000 mL/h a 6.000.000 mL/h), que corresponde a um percentual menor que 1% em média em relação à técnica convencional. Nesta condição de lubri-refrigeração, o baixo volume de fluido de corte é impulsionado até a região de corte por meio de ar comprimido com pressões que variam entre 0,1 MPa a 0,6 MPa (Guimarães *et al.*, 2019). Contudo, tem sido relatado na literatura limitações da condição MQL pelo fato de não ter função refrigeração eficiente, em comparação com a técnica convencional, o que leva a geração de danos térmicos nas peças (Hadaad e Sharbati, 2016; Huang *et al.*, 2016). Sendo assim, novas linhas de pesquisa têm sido desenvolvidas visando a melhoria da eficiência da técnica MQL, sendo uma das mais promissoras a adição de partículas sólidas ao fluido de corte. Algumas das principais partículas sólidas atualmente estudadas são óxido de alumínio (Al_2O_3), grafeno multicamadas, nanotubos de carbono, dentre outras (Borade e Kadam, 2016; Paiva *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2015). Prabhu *et al.* (2014) analisaram o efeito da adição de nanotubos de carbono ao fluido de corte aplicado via técnica MQL na retificação do aço ferramenta AISI D3 (62 HRC) com rebolo de óxido de alumínio e relataram redução dos valores de rugosidade ao utilizar os nanofluidos em relação àqueles obtidos na condição sem partículas sólidas. Segundo os autores, a adição dos nanotubos de carbono ao fluido de corte contribui para a melhoria das propriedades do fluido, principalmente aumentando a capacidade de lubrificação do sistema, o que resultou em melhores condições tribológicas e refletiu positivamente no acabamento. Em um trabalho recente de retificação do aço endurecido SAE 52100 com rebolo de óxido de alumínio e diferentes condições de lubri-refrigeração, Paiva *et al.* (2020) observaram que a utilização de fluido com a dispersão de grafeno multicamadas resultou, no geral, em menores valores de rugosidade e potência elétrica, como também na melhor textura superficial, em comparação com os ensaios realizados empregando fluido de corte sem adição dessas partículas sólidas. A justificativa apontada pelos autores está relacionada ao tribofilme formado na interface rebolo/peça, que reduz o coeficiente de atrito entre rebolo e peça, favorecendo o corte, exigido menores esforços e contribuindo para um melhor acabamento.

Com base na potencialidade do emprego destas partículas sólidas em fluidos de corte, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o acabamento e a microdureza de aço endurecido SAE 52100 (aço rolamento) após a retificação com a técnica MQL com adição de nanotubos de carbono.

2. METODOLOGIA

Os ensaios de experimentais foram realizados em uma retificadora cilíndrica externa de mergulho, modelo UA61, da empresa fabricante Ferdimat (Fig. 1). Esta máquina-ferramenta apresenta rotação do eixo do rebolo constante e igual a 1650 rpm, potência total instalada de 5,6 kW e avanço mínimo de 0,005 mm.

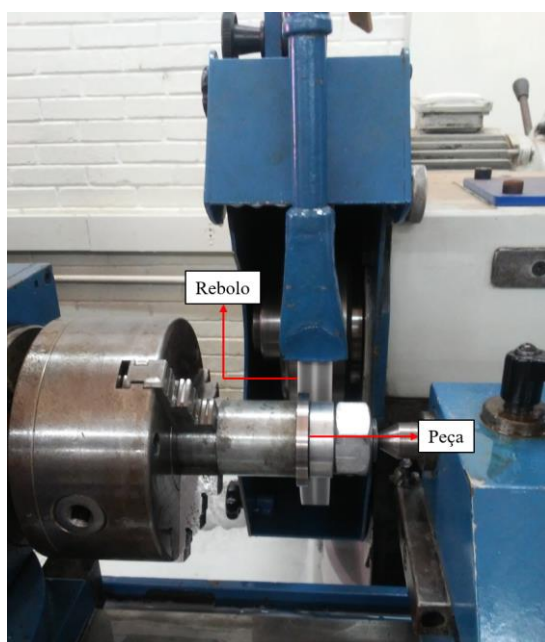


Figura 1. Sistema rebolo/peça para os ensaios de retificação cilíndrica externa de mergulho.

O rebolo abrasivo utilizado na realização do processo de retificação foi de óxido de alumínio branco convencional (ART FE 38A46K) com dimensões 355,6 mm (diâmetro externo) x 127 mm (diâmetro interno) x 25,4 mm (largura), do fabricante NORTON – Saint Gobain Abrasives. Antes da realização de cada ensaio de retificação o rebolo foi submetido à operação de dressagem visando garantir o mesmo condicionamento da superfície de corte do rebolo em todos os ensaios e assim eliminar a influência desta variável nos resultados. Para isso, empregou-se um dressador do tipo fliesen e as condições de dressagem selecionadas foram: largura do dressador (b_d) igual a 0,8 mm, profundidade de dressagem $a_d = 40 \mu\text{m}$ por passada, grau de recobrimento $U_d = 3$ e tempo de dressagem igual a 3,3 s.

O material da peça estudado foi aço endurecido SAE 52100 (com dureza $60 \pm 2 \text{ HRC}$), o qual é amplamente empregado na fabricação de componentes de rolamento. Foram preparadas amostras no formato de anel e com as seguintes dimensões: 62 mm (diâmetro externo) x 30 mm (diâmetro interno) x 8 mm (largura). Os parâmetros de entrada utilizados durante o desenvolvimento dos ensaios experimentais estão apresentados na Tab. 1. Antes da realização dos ensaios definitivos de retificação, todos os corpos de prova (3) foram preparados nas mesmas condições de retificação (condição de lubri-refrigeração convencional, $V_w = 0,57 \text{ m/s}$ e $V_f = 0,25 \text{ mm/min}$).

Tabela 1. Parâmetros de entrada dos ensaios de retificação cilíndrica externa de mergulho.

Parâmetro de entrada	Condição adotada
Rotação do rebolo (rpm)	1650
Velocidade de corte (V_s) (m/s)	32
Rotação da peça (rpm)	175
Velocidade da peça (V_w) (m/s)	0,57
Velocidade de avanço (V_f) (mm/min)	0,25
Penetração de trabalho (a_e) (μm)	100
Rebolo abrasivo	Al_2O_3 branco
Material	Aço SAE 52100 endurecido – (60 ± 2) HRC
Condição de lubri-refrigeração	Convencional MQL (MQL tradicional) MQL+Nanotubos de carbono (óleo + nanotubos de carbono 0,05% em massa)

As condições de lubri-refrigeração selecionadas foram a convencional, MQL (óleo) e MQL (óleo+nanotubos de carbono). O fluido de corte utilizado para todas as condições de lubri-refrigeração foi do tipo semi-sintético, à base de óleo éster vegetal e miscível em água, com o nome comercial Vasco 7000, do fabricante Blaser Swisslube. Para a condição convencional, o fluido foi empregado diluído em água na proporção 1:19 e à vazão de 11 L/min.

Para a técnica de mínima quantidade de lubrificação (MQL) tradicional e com nanotubos de carbono, o fluido foi empregado sem adição de água e à vazão de 150 mL/h, que foi direcionado até a zona de corte com ar comprimido à pressão de 0,3 MPa. Como recipiente do fluido é utilizada uma seringa e a vazão é controlada por meio de uma placa de arduino programada. Os nanotubos de carbono possuem as seguintes características: diâmetro externo variando de 50 nm-100 nm, diâmetro interno na faixa de 5 nm-10 nm e comprimento entre 5 nm-10 nm (Multi-walled nanotubes comercializados pela empresa Nanostructured & Amorphous Materials Inc). Eles foram adicionados ao fluido de corte a uma concentração de 0,05% em massa (valor este que foi considerado o mais adequado com base em estudos realizados na retificação de superligas de titânio e de níquel realizados por Mello (2015) e Oliveira *et al.* (2019), respectivamente).

Com relação às variáveis de saída, foram mensurados os valores de rugosidade R_a (desvio aritmético médio do perfil avaliado) e microdureza abaixo da superfície retificada. A medição dos valores de rugosidade ocorreu através de um rugosímetro portátil modelo Surtronic S-100, do fabricante Taylor Robson, com resolução de 0,01 μm , sendo utilizado um comprimento de amostragem (cut-off) de 0,8 mm. Antes da medição dos valores de rugosidade, todas as peças passaram por um procedimento de limpeza com acetona pura visando a remoção de impurezas que se encontrassem aderidas sobre as superfícies usinadas. Ressalta-se que devido às dimensões das peças, para a medição de rugosidade foi necessária a utilização de uma base magnética de forma a permitir que a superfície a ser medida ficasse paralela ao apalpador. As medições ocorreram sempre perpendiculares à direção de corte do rebolo e ao todo foram realizadas cinco medições em regiões distintas da peça.

A medição dos valores de microdureza ocorreu por meio de um microdurômetro da marca SHIMADZU HMV-2 series com penetrador Vickers, sendo empregada uma carga de 490,3 mN ($\text{HV}_{0,05}$) e tempo de aplicação de 15 segundos. A distribuição das indentações está apresentada na Fig. 2, sendo que o início das medições ocorreu a partir de 30 μm abaixo da superfície retificada com intervalos de 30 μm . Em cada peça foram realizadas três medições (uma medição e duas réplicas), com a mesma profundidade a partir da superfície usinada, visando a obtenção da média e desvio padrão. Uma medição foi realizada em uma região distante da superfície retificada (3000 μm abaixo da superfície) visando a obtenção de um valor de referência (região livre de danos térmicos).

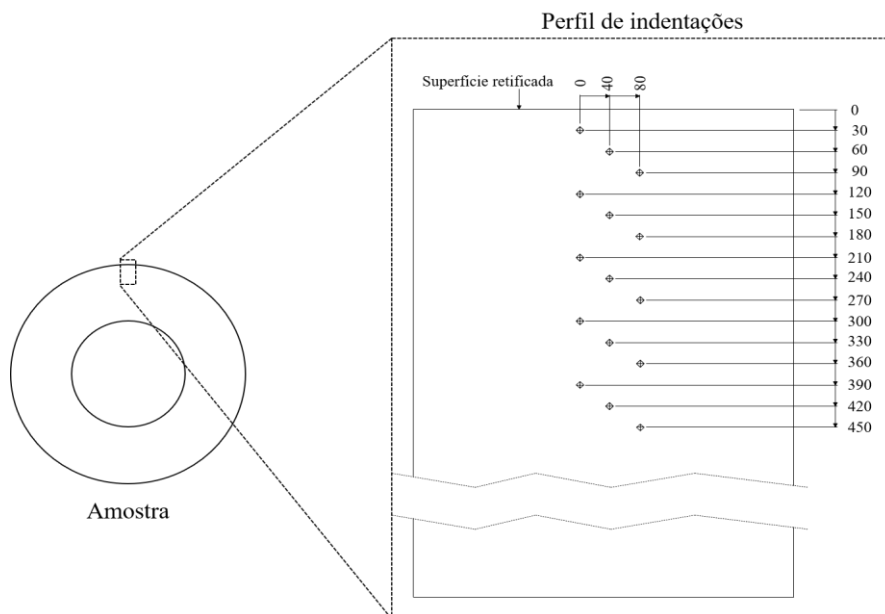


Figura 2. Esquema com regiões das indentações realizadas para determinação dos valores de microdureza.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são apresentados os resultados de rugosidade R_a das peças após os ensaios de retificação sob diferentes condições de lubri-refrigeração (convencional, MQL e MQL+Nanotubos de carbono).

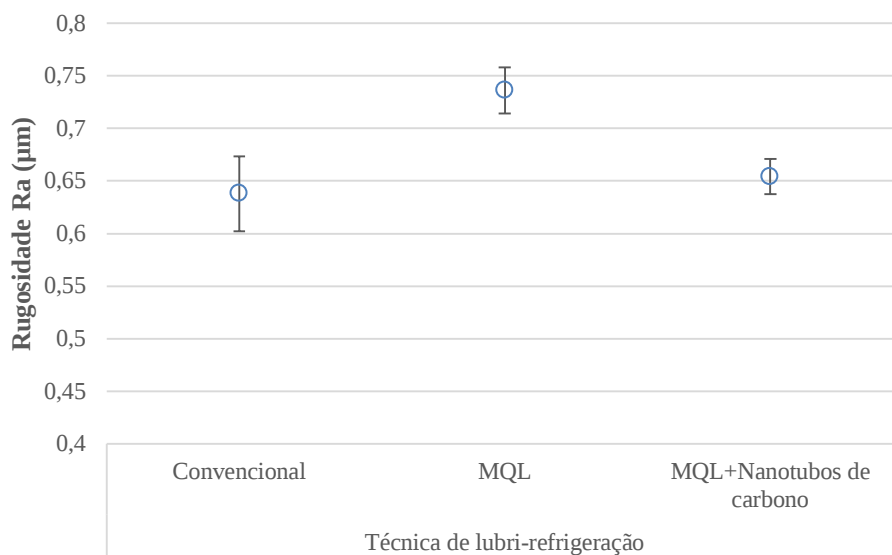


Figura 3. Valores de rugosidade R_a do aço endurecido SAE 52100 após a retificação com diferentes condições de lubri-refrigeração.

Conforme pode ser observado na Fig.3, dentre todas as condições de lubri-refrigeração avaliadas, apesar da condição convencional ter resultado em menor valor de rugosidade R_a , a condição MQL+Nanotubos de carbono proporcionou valor similar. Este resultado preliminar já aponta para a melhoria proporcionada na técnica MQL tradicional pela adição de nanotubos de carbono ao fluido de corte, como também a posiciona como uma alternativa mais sustentável em relação a técnica convencional de aplicação de fluido de corte. Este comportamento pode ser justificado pela superior viscosidade do fluido MQL+Nanotubos de carbono em comparação com o fluido sem adição de partículas de nanotubos de carbono (MQL). Além de contribuírem para a melhoria das propriedades do fluido de corte, como condutividade térmica e viscosidade, as partículas sólidas atuam durante a retificação como lubrificantes na

interface rebolo/peça, levando à redução do coeficiente de atrito, o que favorece as condições tribológicas e proporciona superfícies com melhor acabamento (menores valores de rugosidade). O menor valor médio encontrado foi para a condição convencional (0,638 μm), sendo que a condição MQL+Nanotubos de carbono apresentou um valor 4,89% superior (0,643 μm) e a condição MQL tradicional 5,06% superior (0,644 μm).

Em pesquisa desenvolvida por Seyedzavvar *et al.* (2019) foram realizados ensaios de retificação do aço endurecido AISI 1045 (48 HRC) sob diferentes condições de lubri-refrigeração e os autores verificaram que os ensaios com o fluido de corte com grafeno aplicado via mínima quantidade de lubrificação (MQL) proporcionaram valores de rugosidade inferiores aos encontrados para a condição convencional (abundância). Eles relataram que as partículas de grafeno propiciam a formação de um tribo-filme na interface rebolo/peça e, portanto, contribui para melhoria da lubrificação do sistema e redução da rugosidade. Em estudo realizado por Tusar (2019), ao realizar testes de retificação do aço AISI 1060 com fluido de corte contendo nanotubos de carbono e aplicados via condição MQL, o autor observou que a utilização das partículas sólidas contribuiu para a redução dos valores de rugosidade, em comparação com a condição MQL tradicional (óleo + ar comprimido). Ainda segundo o autor, a presença das partículas sólidas no fluido aumenta a sua capacidade lubrificante e, conseqüentemente, promove melhoria no acabamento do componente usinado.

Na Figura 4 estão apresentados os perfis de microdureza abaixo da superfície retificada para todas as amostras de aço SAE 52100 após a retificação sob diferentes condições de lubri-refrigeração. A linha tracejada presente no gráfico diz respeito ao valor médio de microdureza do aço endurecido SAE 52100, obtido em área considerada livre de danos térmicos.

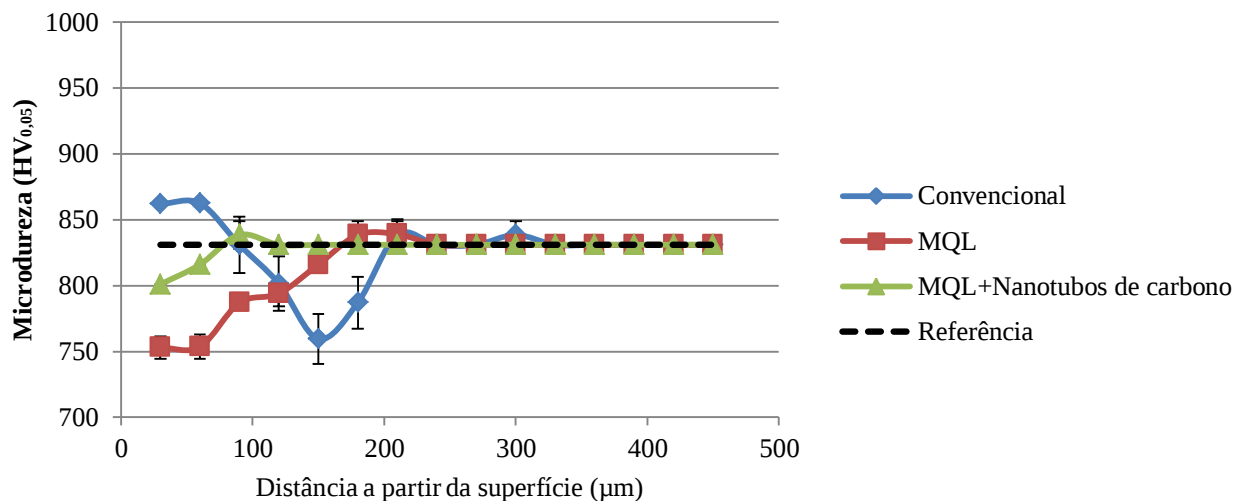


Figura 4. Perfis de microdureza do aço SAE 52100 após a retificação com diferentes condições de lubri-refrigeração.

A partir da Fig.4 é possível observar que dentre todas as condições de lubri-refrigeração avaliadas, a condição convencional resultou em elevação de dureza próximo à superfície (30 μm abaixo da superfície retificada), sendo os valores superiores de microdureza em relação à referência de microdureza média do material, sugerindo que houve a formação da “camada branca” nesta região, ou seja, uma camada de martensita não revenida, caracterizada por apresentar elevada dureza (Malkin e Guo, 2008). Ainda para a condição convencional, percebe-se que, após esse aumento de microdureza, à medida que se adentrou na peça (até uma distância 150 μm abaixo da superfície), houve uma queda dos valores de microdureza (71,5 HV) em comparação à média, o que sugere a ocorrência de revenimento excessivo nesta região. Em seguida a dureza retornou ao seu valor de referência. Em relação ao valor de referência média de microdureza do material (831 HV), na região mais próxima à superfície usinada (30 μm abaixo da superfície retificada), constatou-se um aumento de 3,73% para a condição convencional, e quedas de 9,39% e 1,8% para as condições MQL tradicional e MQL+Nanotubos de carbono, respectivamente.

O emprego da técnica MQL com fluido contendo nanotubos de carbono foi responsável pela menor variação dos valores de microdureza, o que representa um ótimo ganho, já que promoveu redução na ocorrência dos danos térmicos em relação às outras técnicas empregadas. A adição dos nanotubos de carbono auxilia no aperfeiçoamento das propriedades do fluido de corte, como a condutividade e viscosidade, reduzindo assim a parcela de calor que é direcionada para a peça e, desta forma, contribuindo para a manutenção das integridades superficial e sub-superficial da peça. Outro benefício das partículas sólidas é sua atuação na região de contato rebolo/peça como lubrificantes sólidos que reduz o coeficiente de atrito existente entre os abrasivos e o material usinado. Com isso, há menor geração de calor durante a usinagem e, conseqüentemente, uma peça com melhor qualidade (acabamento e textura) como também menos propensa a ocorrência de danos de origem térmica. Em ensaios de retificação do aço AISI 1060, Tusar (2019) encontrou redução da temperatura do processo ao empregar fluido de corte contendo nanotubos de carbono que foi aplicado via

mínima quantidade de lubrificação (MQL) em comparação com a condição MQL tradicional. A justificativa desta redução apontada pelo autor foi o fato destas partículas aumentarem a condutividade térmica do fluido, que favorece a remoção de maior quantidade de calor da zona de corte. Este efeito positivo reduz os riscos de danos térmicos nas peças usinadas, contribuindo para menores variações de microdureza.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados durante ensaios de retificação cilíndrica externa de mergulho do aço endurecido SAE 52100 sob diferentes condições de lubri-refrigeração, as seguintes conclusões podem ser obtidas:

- Apesar do menor valor médio de rugosidade R_a ter sido encontrado após o ensaio com a técnica convencional, observa-se que a técnica MQL+Nanotubos de carbono apresentou resultado similar, e em comparação com a técnica MQL tradicional, a adição das partículas sólidas ao fluido de corte contribuiu para a redução do valor de rugosidade;
- Com relação aos valores de microdureza, a presença de nanotubos de carbono no fluido de corte contribuiu para menores quedas dos valores de microdureza das peças em comparação com aquelas que foram retificadas com a técnica convencional e MQL tradicional. Ela permitiu redução da ocorrência de danos térmicos;
- A adição de nanotubos ao fluido de corte permitiu aprimorar a técnica MQL tradicional e mostrou-se como uma alternativa mais sustentável em relação a técnica convencional de aplicação de fluido de corte nas condições investigadas.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Eles agradecem ainda às empresas Blaser Swissslube e Saint Gobain Abrasives por apoiarem esta pesquisa com a doação do fluido de corte e rebolo abrasivo, respectivamente. Rosemar Batista da Silva agradece em especial à FAPEMIG, via Edital 01/2016 - Demanda Universal - Processo Nº: TEC - APQ-01119-16, e ao CNPq pelos Projetos Nº. 426018/2018-4- Chamada Universal – e Nº 310264/2019-7 Bolsa de Produtividade em Pesquisa, pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Borade, S. e Kadam, M. S., 2016. “Comparison of main effect of vegetable oil and Al_2O_3 nanofluids used with MQL on surface roughness and temperature”. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, Vol.7, p. 203-213.
- Guimarães, C., Silva, R. B., Ruzzi, R. S., Mello, A. V., Hübner, H. B., Fiocchi, A. A. e Fonseca, M. C., 2019. “Evaluation of surface and sub-surface integrities of a mold steel under different grinding conditions”. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol.41. doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1930-5>
- Hadad, M. e Sharbati, A., 2016. “Analysis of the effects of dressing and wheel topography on grinding process under different coolant-lubrificant conditions”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.90, p. 3727-3738. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9703-0>
- Huang, X., Ren, Y., Jiang, W., He, Z. e Deng, Z., 2016. “Investigation on grind-hardening annealed AISI5140 steel with minimal quantity lubrication”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.89, p. 1069-1077. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9142-y>
- 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*. New York: Industrial Press, 2ª ed.
- Marinescu, I. D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W. B. e Inasaki, I., 2016. *Handbook of machining with grinding wheels*. CRC Press.
- Mello, A. V., 2015. *Retificação da liga Ti-6Al-4V, com fluido de corte contendo partículas de grafeno*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.
- Neto, L. M. G., 2013. *Aplicação de Fluido de Corte em Quantidades Reduzidas para Usinagem do Aço SAE 52100 no Processo de Retificação Centerless de Passagem*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru – SP.
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.114>
- Paiva, R. L., Ruzzi, R. S., Oliveira, L. R., Filho, E. P. B., Neto, L. M. G., Gelamo, R. V. e Silva, R. S., 2020. “Experimental study of the influence of graphene platelets on the performance of grinding of SAE 52100 steel”. *The*

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.110, p. 1-12. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05866-x>
- Prabhu, S., Uma, M. e Vinayagam, B. K., 2014. "Surface roughness prediction using Taguchi-fuzzy logic-neural network analysis for CNT nanofluids based grinding process". Neural Computing and Applications, Vol. 26, p. 41-55. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-014-1696-8>
- Rowe, W. B. Principles of Modern Grinding Technology. Elsevier Inc., 2ª ed.
- Seyedzavvar, M., Shabgard, M. e Mohammadpourfard, M., 2019. "Investigation into the performance of eco-friendly graphite nanofluid as lubricant in MQL grinding". Journal of Machining Science and Technology, p. 569-594. doi: <https://doi.org/10.1080/10910344.2019.1575403>
- Tusar, I. H., 2019. Investigations on surface grinding of hardened steels with pulse jet mql nanofluid under compressed air wheel cleaning. Dissertação de Mestrado, Bangladesh University of Engineering & Technology, Bangladesh.
- Zhang, D., Li, C., Jia, D., Zhang Y. e Zhang, X., 2015. "Specific grinding energy and surface roughness of nanoparticle jet minimum quantity lubrication in grinding". Chinese Journal of Aeronautics, Vol.28, p. 570-581. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2014.12.035>

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

EVALUATION OF FINISHING AND MICROHARDNESS OF BEARING STEEL AFTER GRINDING WITH THE MQL TECHNIQUE AND ADDITION OF CARBON NANOTUBES

Bruno Souza Abrão

Mayara Fernanda Pereira

Márcio Peres de Souza

Sérgio Augusto Albino Vieira

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

Rodolfo Fischer Moreira Oliveira

Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda, São Paulo – SP, Brasil.

Rosemar Batista da Silva

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

brunoabrao53@gmail.com

mayaraufu2011@gmail.com

marcioperes@ufu.br

sergioaugustoav@gmail.com

rodolfo.oliveira@saint-gobain.com

rosemar.silva@ufu.br

Abstract. During grinding, a large amount of heat is generated, which can cause thermal damage to the machined component. This problem can become aggravated when machining materials such as hardened SAE 52100 steel, for example, which is highly susceptible to thermal damage. For this reason, the use of cutting fluid becomes indispensable, especially in the conventional application delivery, which uses high flow rates (flood coolant). However, new research lines have been developed seeking to reduce the consumption of cutting fluid, and one of the most promising one has been the use of the Minimum Quantity Lubrication (MQL) technique with solid particles dispersed in oil. In this sense, the present work aims to evaluate the finishing and microhardness of SAE 52100 steel (main material used in the manufacture of bearing components) after grinding with the MQL technique with the carbon nanotubes dispersed in oil. Tests were also carried out with conventional and traditional MQL (oil + compressed air) technique for comparisons. As major results, it was observed that less variation in microhardness below the ground surface was generated after grinding with the MQL + carbon nanotubes technique, in addition to using this technique to result in a roughness value similar to that recorded for the conventional technique.

Keywords: Grinding, SAE 52100 steel, Minimum Quantity Lubrication (MQL), Carbon nanotubes, Superficial and sub-superficial integrity.

Bruno Souza Abrão, Mayara Fernanda Pereira, Márcio Peres de Souza, Sérgio Augusto Albino Vieira, Rodolfo Fischer Moreira Oliveira e Rosemar Batista da Silva

AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO E DA MICRODUREZA DE AÇO ROLAMENTO APÓS A RETIFICAÇÃO COM A TÉCNICA MQL E ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO

RESPONSIBILITY NOTICE

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