

APLICAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE EM TEMPERATURA ABAIXO DA AMBIENTE NA RETIFICAÇÃO PLANA TANGENCIAL DO AÇO SAE 52100

Raphael Lima de Paiva, raphaellimap@ufpi.edu.br¹
Marcus Vinicius de Oliveira, marcus1705.mv@gmail.com²
Alcione dos Reis, alcionedosreis@yahoo.com.br²
Rosemar Batista da Silva, rosemar.silva@ufu.br²

¹Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Ininga, CEP 64.049-550, Teresina – PI

²Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, CX 593 - Uberlândia - MG - CEP 38408-100 Brasil

Resumo: A utilização de fluidos de corte no processo de retificação é normalmente necessária devido à elevada energia específica de corte deste processo, o que acarreta o desenvolvimento de temperaturas elevadas na zona de contato, as quais podem prejudicar a integridade superficial da peça. Dessa forma, o controle da temperatura na zona de contato é um dos grandes desafios do processo de retificação e, conseqüentemente, muitos trabalhos possuem o foco na estratégia de lubri-refrigeração, avaliando, por exemplo, tipo de aplicação e/ou tipo de fluido de corte. No entanto, no que diz respeito à aplicação de fluidos de corte pela técnica convencional (abundância), a temperatura do fluido de corte no momento de sua aplicação normalmente não é discutida, embora este parâmetro exerça influência na capacidade de refrigeração do fluido. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar o efeito da aplicação de fluido de corte convencional em temperatura abaixo da ambiente na integridade superficial do aço SAE 52100 após retificação plana tangencial. Para isto, foram realizados ensaios de retificação com fluido de corte semissintético miscível em água (concentração de 5%) aplicado pela técnica convencional com duas diferentes temperaturas: 5 °C e temperatura ambiente (28 °C). Diferentes condições de penetração de trabalho também foram testadas ($a_e = 10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$ e $30 \mu\text{m}$). A integridade superficial da peça foi analisada em termos de rugosidade (parâmetros R_a e R_z) e microdureza a $20 \mu\text{m}$ abaixo da superfície retificada. Os resultados mostraram que a aplicação de fluido de corte a 5 °C contribuiu para um melhor acabamento (menores valores de R_a e R_z) em comparação a aplicação de fluido de corte a temperatura ambiente para condições de corte mais severas (maiores valores de a_e). Além disso, diferente do observado quando utilizado fluido de corte a temperatura ambiente, as amostras retificadas com fluido de corte a 5 °C não apresentaram redução significativa de microdureza abaixo da superfície retificada, indicando, portanto, que a aplicação de fluido de corte refrigerado é uma alternativa viável para redução de danos térmicos na retificação.

Palavras-chave: Retificação, Temperatura do fluido de corte, Penetração de trabalho, Rugosidade, Microdureza.

1. INTRODUÇÃO

Com o grande crescimento tecnológico e constante necessidade de melhoria, a precisão e o custo de fabricação são fundamentais para a qualidade do produto e competitividade. A vista disso, o processo de usinagem por abrasão vem sendo utilizado em grande escala na indústria de manufatura para obtenção de peças com alta precisão geométrica e dimensional, associada a uma superfície de alta qualidade e acabamento (Bianchi *et al.*, 2010; Sinha *et al.*, 2016).

Para Marinescu *et al.* (2007), o processo de retificação consiste na remoção de material da peça utilizando um rebolo formado por pequenos e irregulares grãos abrasivos rotacionando em uma altíssima velocidade em contato com a peça. Devido à pequena dimensão de tais grãos abrasivos, as partículas removidas (cavaco) possuem também pequenas dimensões, sendo formados de partículas de metal, lubrificantes e resíduos dos meios da retificação (Zhang *et al.*, 2016).

Zhang *et al.* (2016) relatam que, para haver a remoção de material da peça na retificação, é necessário um valor elevado de energia despendido durante o processo, a qual é transformada em calor na região de corte. O calor excessivo gerado durante o processo pode provocar danos térmicos na peça, interferindo, conseqüentemente, em sua qualidade final. Por ser um processo de acabamento, tais danos térmicos são inaceitáveis, pois levam ao descarte da peça e conseqüente perda de todo valor já agregado em processos que antecederam a retificação (Bianchi *et al.*, 2010).

No contexto de evitar prejuízos à qualidade final da peça retificada, a aplicação de fluidos de corte durante esse processo de fabricação desempenha um importante papel, uma vez que este possui a função de lubrificar e refrigerar a zona de corte, implicando diretamente em um menor desgaste do rebolo e contribuindo para uma melhor qualidade

superficial da peça retificada (Debnath *et al.*, 2014; Madanchi *et al.*, 2015). Portanto, a aplicação correta de fluidos de corte pode evitar a ocorrência de diversos danos térmicos como, por exemplo, a queima da superfície, tensões residuais, trincas, mudanças na microestrutura e redução de resistência à fadiga (Malkin e Guo, 2008).

Segundo Sarikaya *et al.* (2021), a técnica mais comum de aplicação de fluido de corte no processo de retificação é a chamada convencional, ou abundância, em que o fluido de corte é aplicado através de um bocal convencional, que normalmente vem acompanhado à máquina-ferramenta, com vazões de 0,5 a 10 L/min e baixas pressões (próximas do ambiente). Além do tipo de fluido de corte e sua técnica de aplicação, a temperatura do fluido no momento de sua aplicação merece destaque, uma vez que a capacidade de transferência de calor por convecção é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre a zona de contato e o fluido de corte. Quanto maior esta diferença de temperatura, maior a capacidade de refrigeração do fluido de corte e, conseqüentemente, melhor, a princípio, o controle de temperatura durante o processo.

Araújo *et al.* (2019) avaliaram a aplicação de fluido de corte refrigerado (10 - 12 °C) no torneamento do aço SAE 1045. Os autores observaram que, comparado à aplicação de fluido de corte a temperatura ambiente, a utilização de fluido de corte refrigerado melhorou o acabamento da superfície torneada e reduziu o desgaste da ferramenta. Em um trabalho mais recente, De Paiva *et al.* (2021) aplicaram fluido de corte em diferentes temperaturas na retificação do aço SAE 52100. Eles observaram melhores resultados de acabamento da peça (menores valores de rugosidade) em comparação ao fluido de corte aplicado à temperatura ambiente. Porém, os autores não avaliaram esta estratégia de lubri-refrigeração em diferentes condições de corte.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar, em diferentes condições de corte em termos de penetração de trabalho, o efeito da aplicação de fluido de corte convencional em temperatura abaixo da temperatura ambiente na integridade superficial do aço endurecido SAE 52100 após retificação plana tangencial.

2. METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios de retificação plana tangencial, foi utilizada a retificadora do modelo P36, Mello, que possui uma potência de 3 HP e uma rotação fixa de 2400 rpm. O rebolo utilizado foi do tipo reto produzido em óxido de alumínio branco (Al_2O_3), com a especificação AA46K6V e dimensões de 297 mm (diâmetro externo), 25 mm (largura) e 76 mm (diâmetro interno). O material retificado foi o aço endurecido SAE 52100 (60 ± 2 HRC) e geometria cilíndrica com 18 mm de diâmetro e 19 mm de altura.

O fluido de corte utilizado foi o óleo semissintético de base vegetal VASCO 7000, da fabricante Blaser Swisslube. Ele foi aplicado pela técnica convencional com concentração igual a 5%, a uma vazão de 540 L/h (9 L/min). Duas temperaturas de aplicação do fluido de corte foram avaliadas: 5 °C e temperatura ambiente (28 °C). O fluido de corte foi resfriado com auxílio de gelo e uma caixa térmica conforme mostrado na Fig. 1. A temperatura do fluido de corte foi monitorada com um termômetro de refrigeração e, uma vez atingida a temperatura desejada (5 °C), a bomba para aplicação do fluido de corte foi posicionada para então dar início ao ensaio de retificação.

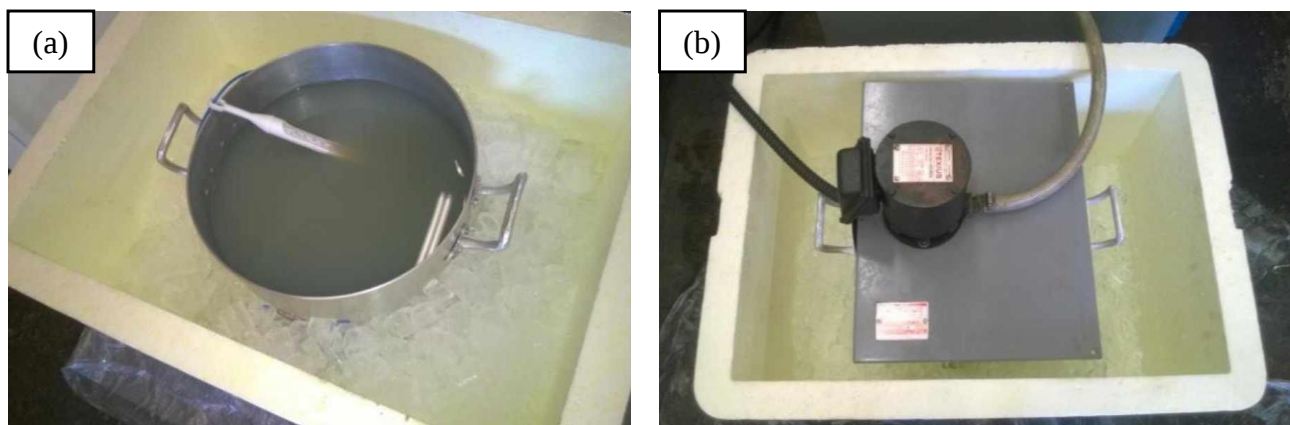


Figura 1. Esquema para resfriar e aplicar o fluido de corte resfriado: (a) detalhe da caixa térmica, gelo e termômetro de refrigeração; (b) posicionamento da bomba para sucção do fluido de corte resfriado.

Em relação aos parâmetros de corte utilizados nos ensaios de retificação, a velocidade do rebolo foi mantida constante e igual a 37 m/s. A velocidade da peça e profundidade de corte também foram mantidas constantes: $v_w = 2,9$ m/min e $a_p = 0,9$ mm. Diferentes condições de corte em termos de penetração de trabalho foram avaliadas: $a_e = 10$ μ m, 20 μ m e 30 μ m. O rebolo foi dressado antes de cada ensaio com dressador de diamante do tipo ponta única, com velocidade de dressagem (v_d) de 140 mm/min, penetração de dressagem (a_{ed}) e grau de recobrimento do rebolo (U_d) de 3. Na Tab. 1 são mostradas as condições de retificação utilizadas neste trabalho.

Tabela 1. **Condições de retificação.**

Máquina Ferramenta	P36, MELLO, 3HP, 2400 rpm
Rebolo	Al ₂ O ₃ - AA46K6V – 0,297 mm
Corpos de Prova	Roletes para rolamentos 18 mm x 19 mm (diâmetro x altura) Aço endurecido SAE 52100 - 60 ± 2 HRC
Velocidade do Rebolo (v_s)	37 m/s
Velocidade da peça (v_w)	2,9 m/min
Profundidade de corte (a_p)	0,9 mm
Penetração de trabalho (a_e)	10 μ m, 20 μ m e 30 μ m
Fluido de corte	Óleo semissintético de base vegetal, concentração de 5%, 9 L/min
Temperatura de aplicação do fluido de corte	5 °C e temperatura ambiente (28 °C)
Dressagem do rebolo	Dressador de diamante do tipo ponta única Raio de ponta do dressado 0,3 mm v_d = 140 mm/min a_{ed} = 15 μ m U_d = 3

As variáveis de saída analisadas neste trabalho foram: rugosidade da superfície usinada (parâmetros Ra e Rz) e microdureza abaixo da superfície retificada. Para a medição dos parâmetros de rugosidade foi utilizado o rugosímetro portátil modelo SJ-201P, Mitutoyo. Os parâmetros para medição de rugosidade foram: comprimento de amostragem (cut-off) de 0,8 mm e comprimento de avaliação de 4,0 mm. Cinco medições de rugosidade foram realizadas para cada condição, em diferentes posições da superfície, sempre perpendicular à direção de avanço longitudinal do rebolo, conforme mostrado na Fig. 2. Os parâmetros de rugosidade Ra (desvio aritmético médio) e Rz (altura máxima do perfil) foram considerados para análise.



Figura 2. **Medição de rugosidade.**

Após as medições de rugosidade, as amostras foram embutidas e submetidas a um processo de preparação metalográfica para as medições de microdureza. Devido ao arredondamento nas bordas do rolete, foi necessário executar uma operação de lixamento de desbaste na lateral da amostra, com lixa granulometria *mesh* 80, para que a região abaixo da superfície usinada fosse atingida conforme ilustrado na Fig. 3. Este procedimento foi realizado após o embutimento dos corpos de prova.

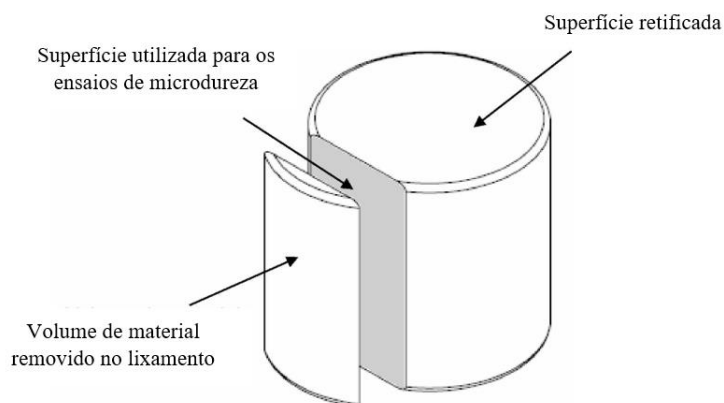


Figura 3. **Ilustração da seção do corpo de prova selecionada para a medição da microdureza.**

Após o procedimento de lixamento de desbaste, as amostras foram então lixadas com lixas de granulometria *mesh* 200, 400, 600 e 1200. Em seguida, as amostras foram polidas com pasta de alumina com tamanho de grão igual a 0,5 μm e, então, submetidas aos ensaios de microdureza. Para as medições de microdureza foi utilizado o microdurômetro HMV, Shimadzu. Os parâmetros utilizados nos ensaios de microdureza foram a dureza Vickers, carga aplicada de 490,3 mN (HV 0,05) e tempo de aplicação de 15 segundos. Os ensaios de microdureza foram realizados a 20 μm abaixo da superfície retificada. Três medições de microdureza foram realizadas para cada condição de retificação.

3. RESULTADOS

3.1. Rugosidade da superfície retificada (parâmetros Ra e Rz)

Na Figura 4 (a) e (b) são apresentados os gráficos de rugosidade Ra e Rz respectivamente, obtidos após os ensaios de retificação deste trabalho. Da Figura 4 pode-se observar que a aplicação de fluido de corte em baixa temperatura (5 °C) contribuiu para reduzir os valores de rugosidade da superfície retificada para condições com maiores penetrações de trabalho ($a_e = 20 \mu\text{m}$ e $30 \mu\text{m}$).

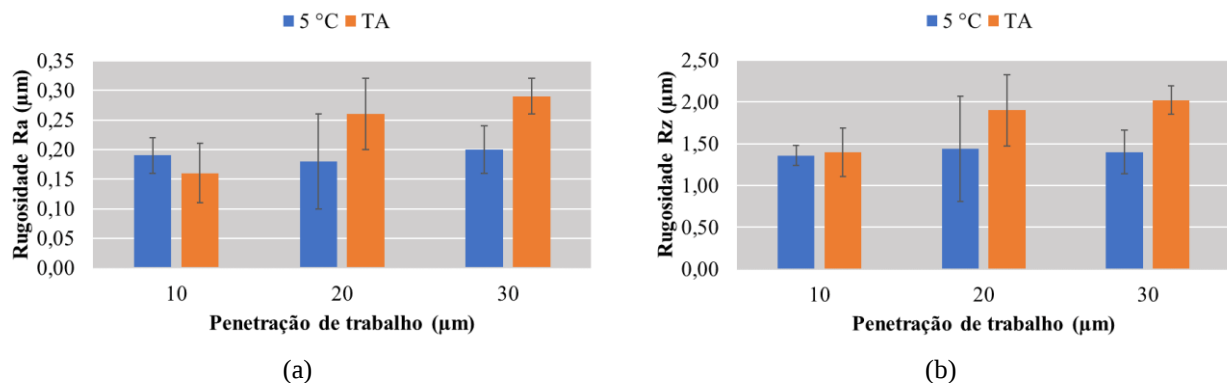


Figura 4. Rugosidade em função da penetração de trabalho para as temperaturas de fluido de corte avaliadas neste trabalho. (a) Ra; (b) Rz.

O melhor acabamento após retificação com o fluido de corte aplicado a 5 °C em comparação ao aplicado a temperatura ambiente é devido à maior capacidade de refrigeração do primeiro, que contribui para diminuir distorções térmicas da peça, além de favorecer o corte do material (De Paiva *et al.*, 2021). Além disso, sabe-se que a viscosidade dos óleos aumenta com a diminuição de temperatura. Esta maior viscosidade melhora, a priori, a capacidade de lubrificação do fluido de corte e, conseqüentemente, as condições tribológicas na zona de contato, contribuindo também para um melhor acabamento da superfície retificada. Resultado semelhante de melhor acabamento com aplicação de fluido de corte refrigerado também foi observado por Araújo *et al.* (2019) no torneamento do aço SAE 1045.

Ainda da Figura 4, pode-se observar um aumento geral nos valores de rugosidade com a penetração de trabalho, comportamento este geralmente descrito na literatura, em que o aumento da rugosidade está diretamente relacionado ao aumento da penetração de trabalho (Machado *et al.*, 2011).

3.2. Microdureza (HV)

Na Figura 5 é apresentado os valores de microdureza (HV) a 20 μm abaixo da superfície usinada em função da penetração de trabalho (a_e), para as duas temperaturas de aplicação de fluido de corte testadas neste trabalho. A linha pontilhada no gráfico corresponde à dureza do material antes do processo de retificação (845 Vickers).

Da Figura 5 pode-se observar que, para os ensaios realizados com fluido de corte aplicado a 5 °C, não houve alteração na microdureza em comparação à dureza do material antes do processo. Em contrapartida, quando o fluido de corte foi aplicado em temperatura ambiente (28 °C), é possível observar uma redução na microdureza do material de, em média, 7%, 15% e 18% para as penetrações de trabalho de 10 μm , 20 μm e 30 μm , respectivamente.

A redução de microdureza abaixo da superfície retificada é um tipo de dano térmico que pode ocorrer no processo de retificação como consequência do calor gerado na região de corte (Zhang *et al.*, 2016). Tal redução está associada a um revenimento indesejado em regiões próximas à zona de contato entre os grãos abrasivos e a peça (região de maior temperatura).

Portanto, os resultados da Figura 5 indicam que a aplicação de fluido de corte a 5 °C contribuiu para uma maior dissipação de calor na zona de corte em comparação ao fluido de corte a temperatura ambiente, evitando a redução de microdureza abaixo da superfície retificada até mesmo para condições de corte mais severas. A maior dissipação de calor é possível graças à maior diferença de temperatura entre o fluido e a zona de corte, que aumenta a taxa de transferência de calor por convecção (Kreith and Bohn, 2003). Além disso, é importante salientar que a maior viscosidade do fluido de corte por conta da baixa temperatura melhora a capacidade de lubrificação do fluido de corte conforme comentado

anteriormente, o que pode levar à redução do atrito entre os grãos abrasivos e a peça e, consequentemente, reduzir a geração de calor na zona de contato.

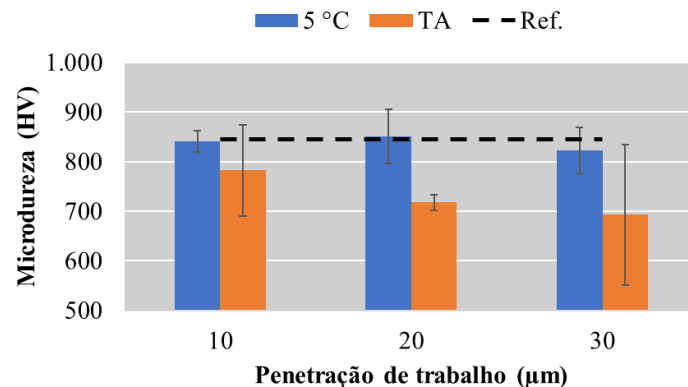


Figura 5. Microdureza (HV) a 20 µm abaixo da superfície retificada função da penetração de trabalho.

4. CONCLUSÕES

Após os ensaios de retificação sob diferentes condições de corte e com fluido de corte convencional aplicado a 5 °C e temperatura ambiente, pode-se concluir que:

- Em comparação com o fluido de corte aplicado a temperatura ambiente (28 °C), a aplicação de fluido de corte a 5 °C possibilitou menores valores de rugosidade da superfície retificada para condições mais severas de corte (maiores penetrações de trabalho).
- Não houve alterações de microdureza abaixo da superfície retificada quando aplicado o fluido de corte a 5 °C. Em contrapartida, quando aplicado o fluido de corte a temperatura ambiente foi observado redução de microdureza de até 18%, em média.
- A aplicação de fluido de corte em temperaturas abaixo da temperatura ambiente é uma alternativa viável para melhorar o acabamento de superfície retificadas, bem como atenuar/evitar possíveis danos de origem térmica, principalmente considerando condições mais severas de corte (maiores valores de penetração de trabalho).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro. Agradecem também à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e aos Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) e Laboratório de Usinagem Convencional (LUC), ambos da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC). Agradecem ainda ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU. Rosemar Batista da Silva agradece à FAPEMIG pelo apoio financeiro via processos N° 01/2016 APQ-01119-16, 002/2018-PPM XII e PPM-00492-18, à Fundação de Apoio Universitário (FAU) via processo 02/2018. Raphael Lima de Paiva agradece à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

6. REFERÊNCIAS

- Araújo, R. P., Rolim, T. L., Oliveira, C. A., Moura, A. E., Silva, J. C. A., 2019. Analysis of the surface roughness and cutting tool wear using a vapor compression assisted cooling system to cool the cutting fluid in turning operation. *Journal of Manufacturing Processes*, 44, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.05.040>
- Bianchi, E. C¹., Aguiar, P. R²., Santana, D.R³., Oikawa, M. H⁴., 2010. *O Impacto do Problema Ambiental do Fluido de Corte nas Indústrias e Novas Alternativas para sua Utilização mais Racional nos Processos de Retificação* – FORUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA – VOLUME IV – ANAP – ISSN – 1980-0827.
- Debnath, S., Reddy, M. M., Yi, Q. S., 2014. *Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review*. *Journal of Cleaner Production*, v. 83, p. 33-47.
- de Paiva, R.L., Ruzzi, R. De S., da Silva, R.B., 2021. An Approach to Reduce Thermal Damages on Grinding of Bearing Steel by Controlling Cutting Fluid Temperature. *Metals*, 11, 1660. <https://doi.org/10.3390/met11101660>.
- Kreith, F., Bohn, M. S., 2003. *“Princípios de Transferência de Calor”*, Ed. Pioneira Thomson Learning.
- Machado, A.R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Da Silva, M. B., 2011. *Teoria da usinagem dos materiais*. 2.ed. São Paulo: Blucher. 371p.
- Madanchi, N., Winter, M., Herrmann, C., 2015. Cutting Fluid Drag-out and Exhaust Air in Grinding Processes: Influence on the Eco-efficiency. *Procedia CIRP*, v. 29, p. 329–334.
- Malkin, S., Guo. C., 2008. *Grinding technology: theory and applications of machining with abrasives*. New York: Industrial Press. 372p.

- Manojkumar, K., Ghosh, A., 2016. Assessment of cooling-lubrication and wettability characteristics of nano-engineered sunflower oil as cutting fluid and its impact on SQCL grinding performance. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 237, p. 55–64, nov.
- Marinescu, I. D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B., Inasaki, I., 2007. *Handbook of machining with grinding wheels*, Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Sarikaya, M., Gupta, M. K., Tomaz, I., Danish, M., Mia, M., Rubaiee, S., Jamili, M., Pimenov, D. Y., Khanna, N., 2021. Cooling techniques to improve the machinability and sustainability of light-weight alloys: A state of the art review. *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 179-201. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.12.013>
- Sinha, M., Setti, D., Ghosh, S., Rao, V., 2016. An investigation on surface burn during grinding of Inconel 718. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 21, p. 124-133.
- Zhang, Y., Li, C., Yang, M., Jia, D., Wang, Y., Li, B., Hou, Y., Zhang, N., Wu, Q., 2016. Experimental evaluation of cooling performance by friction coefficient and specific friction energy in nanofluid minimum quantity lubrication grinding with different types of vegetable oil. *Journal of Cleaner Production*, p.685-705. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.073>

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

APPLICATION OF LOW TEMPERATURE CUTTING FLUID ON SURFACE GRINDING OF SAE 52100 STEEL

Raphael Lima de Paiva, raphaellimap@ufpi.edu.br¹

Marcus Vinicius de Oliveira, marcus1705.mv@gmail.com²

Alcione dos Reis, alcionedosreis@yahoo.com.br²

Rosemar Batista da Silva, rosemar.silva@ufu.br²

¹Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Ininga, CEP 64.049-550, Teresina – PI

²Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, CX 593 - Uberlândia - MG - CEP 38408-100 Brasil

Abstract. *The use of cutting fluids in grinding process is generally necessary due to the high specific energy of grinding, which leads to the development of high temperatures at the contact zone that could be harmful to the workpiece surface integrity. Thus, controlling the contact zone temperature is a challenge in grinding and many works focus on evaluating cooling-lubrication strategy such as type of cutting fluid and application technique. However, the cutting fluid temperature on the instant of its application is not usually discussed for conventional application (flood technique), although this parameter influences on the cooling capacity of the cutting fluid. In this sense, this work aims to analyze the effect of applying conventional cutting fluid at low temperature (below room temperature) on surface integrity of SAE 52100 steel after grinding. Surface grinding trials were performed with a water miscible semisynthetic cutting fluid (5% concentration) applied via conventional technique at two different temperatures: 5 °C and room temperature (28 °C). Different cutting conditions in terms of radial depth of cut were also tested ($a_e = 10 \mu\text{m}$, $20 \mu\text{m}$ and $30 \mu\text{m}$). The workpiece surface integrity was assessed in terms of surface roughness (R_a and R_z parameters) and microhardness at $20 \mu\text{m}$ beneath ground surface. The results showed that the application of cutting fluid at 5 °C contributed to a better finishing (low values of R_a and R_z) in comparison to the cutting fluid at room temperature for more severe grinding conditions (higher values of a_e). Furthermore, no significant reduction in microhardness was observed on the samples ground with cutting fluid at 5 °C, only for the ones ground with cutting fluid at room temperature, thus indicating that the use of refrigerated cutting fluid is a viable alternative to reduce thermal damages in grinding.*

Keywords: Grinding, Cutting fluid temperature, Radial depth of cut, Surface roughness, Microhardness.