

INVESTIGAÇÃO DA RUGOSIDADE E DA MICRODUREZA DE AÇO SAE 52100 NA RETIFICAÇÃO PLANA TANGENCIAL COM A TÉCNICA DE MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE

Bruno Souza Abrão

Mayara Fernanda Pereira

Antônio Vitor de Mello

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

mayarau2011@gmail.com

antoniovitor.82mecnica@gmail.com

rosemar.silva@ufu.br

Resumo. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho da técnica da mínima quantidade de lubrificante (MQL) na retificação plana tangencial do aço endurecido SAE 52100 sob diferentes condições de corte com respeito à integridade superficial do componente usinado. Variou-se a velocidade da peça (3 m/min e 7 m/min) enquanto a penetração de trabalho foi mantida constante (30 μm). Ensaios empregando a condição de lubri-refrigeração convencional (abundante) também foram realizados para comparação. As variáveis de saída avaliadas foram a rugosidade (R_a) e microdureza. Os resultados mostraram que o aumento da velocidade da peça resultou no aumento da rugosidade. Já em relação a microdureza, ela sofreu maior variação ao empregar a menor de velocidade da peça. A usinagem com a técnica MQL gerou resultados compatíveis com aqueles utilizando a técnica convencional de aplicação de fluido de corte, e em alguns casos até melhores, o que implica em vantagens em termos de sustentabilidade por empregar menor quantidade de óleo.

Palavras chave: Retificação. Aço SAE 52100. Mínima Quantidade de Lubrificante. Rugosidade. Microdureza.

1. INTRODUÇÃO

Nos processos de retificação, em decorrência da baixa condutividade térmica dos rebolos abrasivos convencionais e das pequenas seções dos cavacos gerados no processo (principalmente pelas pequenas penetrações de trabalho empregadas), grande parte do calor gerado na zona de corte é conduzida ao componente que está sendo usinado. Com isso, podem ser gerados na peça diversos danos de origem térmica, tais como alterações microestruturais, trincas, dentre outros, alterando as propriedades do material e, conseqüentemente, podendo levar ao descarte da mesma (MARINESCU et al., 2007; MALKIN e GUO, 2008). Assim, o emprego de fluido de corte nos processos de retificação é imprescindível visando essencialmente diminuir a quantidade de calor direcionada para a peça e evitar/reduzir a geração de danos térmicos (MARINESCU et al., 2004).

A condição de lubri-refrigeração de maior abrangência no setor industrial é a convencional (abundância), que consiste no emprego de grandes vazões de fluido de corte no processo (240000 mL/h a 1800000 mL/h). Entretanto, a preocupação com as questões ambientais, sociais e econômicas tem feito com que pesquisadores e funcionários das indústrias desenvolvam estudos para o desenvolvimento de novas técnicas de aplicação objetivando a redução do consumo de fluido nos processos, levando em consideração a manutenção da integridade superficial dos componentes retificados. E dentre estas técnicas, destaca-se a mínima quantidade de lubrificante (MQL) que emprega vazões inferiores a 500 mL/h (WALKER, 2013), o que é bem inferior àquelas da técnica convencional. Além disso, a elevada rotação do rebole resulta em uma barreira de ar, dificultando a eficiente penetração do fluido na região de contato rebole/peça, o que prejudica a lubrificação do sistema, sendo esse desafio encontrado para a técnica convencional devido às baixas velocidades do fluido de corte. A técnica MQL vem sendo estudada como uma alternativa pela utilização de uma pequena quantidade de fluido de corte que é pulverizada com auxílio de ar comprimido a elevadas velocidades, e as pesquisas desenvolvidas têm mostrado resultados animadores em termos de rugosidade das peças e menores forças de corte quando comparada a técnica convencional de aplicação de fluido de corte (TAWAKOLI et al., 2009).

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo estudar a técnica MQL na retificação de aço endurecido, material bastante susceptível a queima de retifica, visando a redução de danos térmicos, e os parâmetros de saída selecionados para esta avaliação foram rugosidade (R_a) e microdureza.

2. METODOLOGIA

Os ensaios de retificação foram realizados com o auxílio de uma retificadora plana semiautomática, modelo P36, do fabricante MELLO S.A., que possui potência de 3 Hp, rotação constante e igual a 2400 rpm e resolução de 5 µm no anel graduado do eixo que executa o movimento vertical do rebolo (eixo Z). O rebolo empregado é de óxido de alumínio branco, especificação AA46K6V e dimensões 303 mm x 25 mm x 76 mm (diâmetro externo x largura x diâmetro interno). Foram empregadas duas condições de lubri-refrigeração ou técnica de aplicação de fluido, convencional e MQL, sendo a regulação da vazão de fluido via técnica MQL feita através de um sistema bomba de seringa (Figura 1).

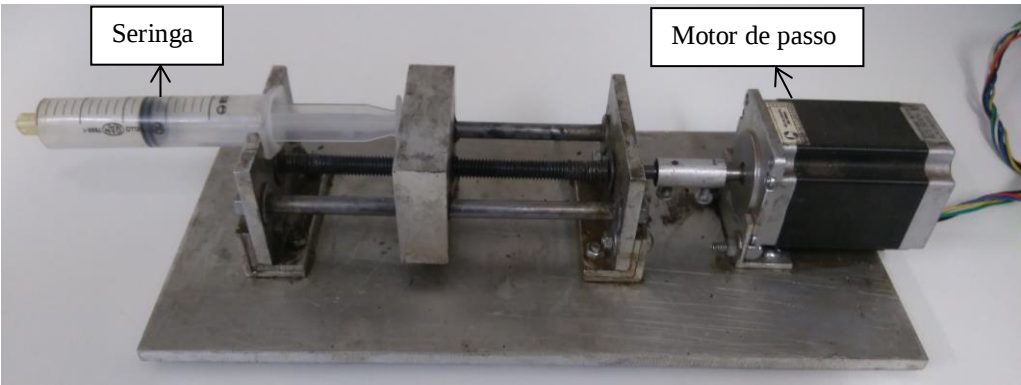


Figura 1. Sistema bomba de seringa para a técnica MQL.

O material retificado foi o aço SAE 52100 (equivalente ao aço DIN 100Cr6) temperado e revenido (60 ± 2 HRC) sob a forma de amostras cilíndricas com 16 mm de diâmetro e 17 mm de comprimento. Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros de corte selecionados para a realização dos ensaios experimentais bem como as informações referentes às condições de lubri-refrigeração empregadas.

Tabela 1. Condições de corte e de lubri-refrigeração empregadas na realização dos ensaios.

Velocidade de corte (V_s)	38 m/s
Velocidade da peça (V_w)	3 m/min e 7 m/min
Penetração de trabalho (a_e)	30 µm
Profundidade de corte (a_p)	16 mm
Fluido de corte	Semi-sintético de base vegetal (VASCO 7000)
Técnica de lubri-refrigeração	Convencional: fluido diluído em água na proporção 1:19 e vazão de 9 L/min (540000 mL/h)
	MQL: vazão de 150 mL/h e pressão do ar comprimido de 0,3 MPa
Variáveis de saída	Rugosidade (R_a) Microdureza

Para a operação de dressagem, realizada anteriormente a cada ensaio, foi utilizado um dressador de ponta única de diamante (raio de ponta de 0,3 mm) do fabricante Winter. Os parâmetros de dressagem empregados foram grau de recobrimento (U_d) igual a 5, largura do dressador (b_d) de 0,3175 mm e tempo de dressagem de 10 segundos. A manutenção de U_d constante em todas as operações de dressagem ocorreu através do ajuste da profundidade de dressagem (a_d), onde para esta análise o dressador foi levado ao estéreo microscópio Olympus SZ61 para a medição do raio de ponta do dressador.

A medição do parâmetro de rugosidade R_a foi feita com um rugosímetro portátil, do fabricante Taylor Hobson, modelo Surtronic S-100, com resolução de 0,01 µm. Foi adotado o comprimento de amostragem (cut-off) de 0,8 mm. Em cada superfície retificada foram realizadas cinco medições perpendicularmente à direção de avanço do rebolo, e o valor utilizado para comparação foi a média aritmética dessas medições.

Devido às dimensões e formato das amostras, antes da realização da medição de microdureza todos os corpos de prova foram embutidos em baquelite, seguido das etapas de lixamento (lixas de carbetto de silício com granas 220, 320, 600, 800, 1000 e 1200) e polimento com pasta de alumina com granulometria de 0,1 µm. As medições de microdureza

foram feitas com auxílio de um microdurômetro SHIMADZU HMV-2 series com penetrador Vickers, empregando uma carga de 490,3 mN por 15 segundos, e elas iniciaram-se a 30 μm abaixo da superfície usinada. Repetiu-se esse procedimento em três regiões distintas da peça, todas as medições com início a mesma distância da superfície retificada, e com isso foi possível obter a média aritmética das medições e do desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentados os valores de rugosidade R_a das superfícies retificadas em função da velocidade da peça e da técnica de lubri-refrigeração. Da Figura 2, observa-se que os valores de R_a aumentaram com a velocidade da peça, sendo este comportamento esperado, de acordo com a literatura. À medida que ocorre o aumento da velocidade da peça, há a elevação da espessura equivalente de corte (h_{eq}) e, conseqüentemente, elevação da tensão entre os grãos abrasivos, o que contribui para o aumento dos parâmetros de rugosidade (ROWE, 2014). Em relação à influência da técnica de lubri-refrigeração sobre o parâmetro R_a , percebe-se que o emprego da técnica da mínima quantidade de lubrificante (MQL) resultou em valores compatíveis com aqueles gerados pela técnica convencional. Contudo, vale ressaltar que para a técnica MQL a quantidade de fluido ou vazão é drasticamente inferior aquela da técnica convencional (equivale a 0,03%) (Tabela 1).

Ainda da Figura 2, observa-se que a velocidade da peça mostrou-se mais influente que a técnica de lubri-refrigeração no parâmetro R_a . O aumento de V_w ocasionou em um aumento médio percentual de 44,4%, enquanto a técnica convencional em comparação à MQL resultou em um aumento médio de 3,0%. Tawakoli et al. (2009) estudaram a retificação de aço endurecido com rebolo de óxido de alumínio em diferentes condições de corte e de lubri-refrigeração e observaram o aumento de rugosidade tanto com a velocidade da peça quanto com a penetração de trabalho. Eles observaram ainda que, dentre as condições de lubri-refrigeração empregadas (convencional, MQL e a seco), a técnica MQL resultou nos menores valores de rugosidade, o que os autores atribuíram a melhor eficiência desta técnica em fazer com que o jato de óleo + ar penetre na região de contato rebolo-peça. Com isso, há melhor lubrificação e redução do atrito na interface entre rebolo-peça, além de garantir remoção mais eficiente dos cavacos gerados. Mao et al. (2011) também verificaram que o emprego da técnica MQL na retificação do aço SAE 52100 gerou valores de rugosidade semelhantes aos obtidos por meio da técnica convencional.

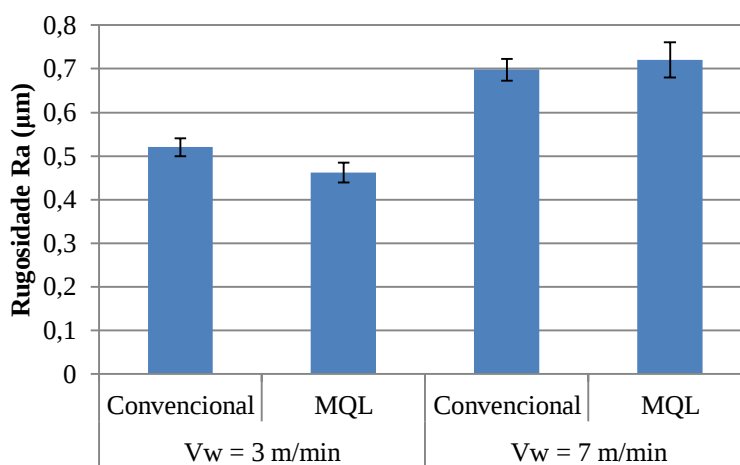


Figura 2. Rugosidade R_a do aço SAE 52100 em função da velocidade da peça (V_w) e técnica de lubri-refrigeração.

Na Figura 3 são apresentados os valores de microdureza medidos abaixo das superfícies retificadas, onde a linha pontilhada representa a dureza de referência, ou seja, a microdureza média do material anteriormente aos ensaios experimentais (região considerada livre de danos térmicos). Para todas as condições de corte e de lubri-refrigeração foram observadas quedas da microdureza do material logo abaixo a superfície retificada, sendo este comportamento causado por revenimento excessivo da peça (MALKIN e GUO, 2008). Ainda da Figura 3 percebe-se que o menor valor de V_w (3 m/min) resultou nas maiores variações de microdureza em relação à microdureza média. De acordo com Rowe (2014), ao utilizar menores velocidades da peça, a energia fica concentrada na região de corte por mais tempo, favorecendo a geração de danos de origem térmica. Ao avaliar a influência da técnica de lubri-refrigeração, observa-se que para os ensaios com a técnica MQL, as variações de microdureza e profundidade abaixo da superfície foram menores em comparação com a técnica convencional. Ao empregar o menor valor de $V_w=3$ m/min, a queda de microdureza do componente obtido através do emprego da técnica MQL foi de 21,4% em relação à referência média (737 HV), enquanto que ao empregar a técnica convencional esta variação dos valores foi de 37,9%. Desta forma, a técnica MQL mostrou-se mais eficiente em penetrar na região de contato rebolo-peça, removendo calor gerado no

Bruno Souza Abrão, Mayara Fernanda Pereira, Antônio Vitor de Mello e Rosemar Batista da Silva.
Investigação da rugosidade e da microdureza de aço sae 52100 na retificação plana tangencial com a técnica de mínima quantidade de lubrificante.

processo e reduzindo o atrito entre os abrasivos e o componente usinado, como também resultou em peças com menores danos térmicos em relação à técnica convencional em termos de microdureza.

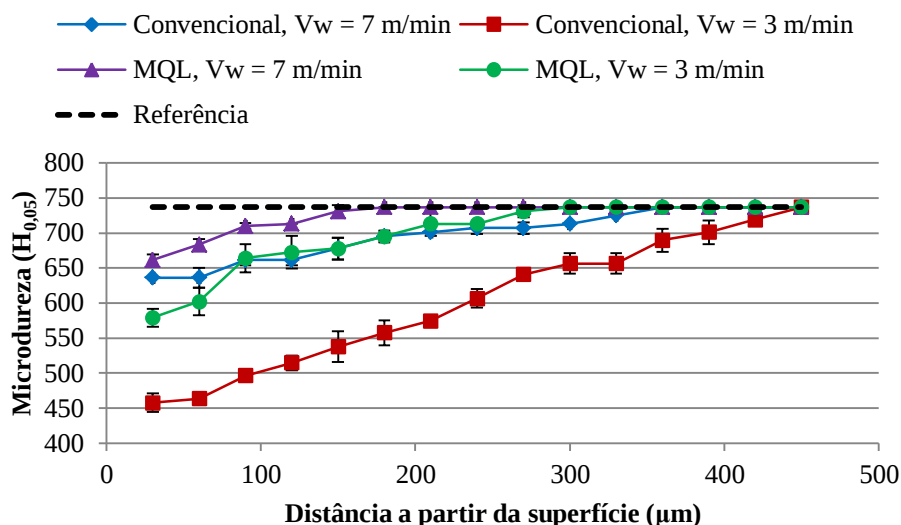


Figura 3. Perfil de microdureza do aço SAE 52100 em função da velocidade da peça (V_w) e técnica de lubri-refrigeração.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos após a retificação do aço SAE 52100 sob diferentes condições de corte e de lubri-refrigeração, as seguintes conclusões podem ser obtidas:

- O parâmetro de rugosidade R_a aumentou com a velocidade da peça. Além disso, dentre as condições de lubri-refrigeração testadas, as superfícies usinadas com a técnica MQL apresentaram valores de R_a comparáveis aos obtidos com a utilização da técnica convencional;
- Em relação à microdureza, o menor valor da velocidade da peça resultou na maior variação dos valores, enquanto que com relação às condições de lubri-refrigeração, a técnica MQL foi a responsável pelas menores quedas de microdureza, mostrando-se assim, mais eficiente em atingir a zona de corte e atuar refrigerando/lubrificando a região.

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

- Malkin, S. e Guo, C., 2008. Grinding Technology: Theory and Applications of Machining With Abrasives. 2ª ed. New York: Industrial Press.
- Mao, C., Zhou, Z., Zhang, J., Huang, X. e Gu, D., 2011. An experimental investigation of affected layers formed in grinding of AISI 52100 steel. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.54, p. 515-523.
- Marinescu, I.D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B. e Inasaki, I., 2007. Handbook of machining with grinding wheels. Nova Iorque : CRC Press.
- Marinescu, I.D., Rowe, W.B., Dimitrov, B. e Inasaki, I., 2004. Tribology of abrasive machining processes. 1.ed. Norwich, William Andrew Inc..
- Rowe, W.B., 2014. Principles of Modern Grinding Technology. 2ª ed. Elsevier Inc..

Tawakoli, T., Hadad, M.J., Sadeghi, M.H., Daneshi, A., Stöckert, S. e Rasifard, A., 2009. An experimental investigation of the effects of workpiece and grinding parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.49, p. 924-932.

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.

INVESTIGATION OF ROUGHNESS AND MICROHARDNESS OF SAE 52100 STEEL IN PERIPHERAL SURFACE GRINDING WITH THE TECHNIQUE OF MINIMUM QUANTITY OF LUBRICANT

Bruno Souza Abrão

Mayara Fernanda Pereira

Antônio Vitor de Mello

Rosemar Batista da Silva

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

brunoabrao53@gmail.com

mayaraufu2011@gmail.com

antoniovitor.82mecnica@gmail.com

rosemar.silva@ufu.br

Abstract. *This work aims to evaluate the performance of the minimum quantity of lubricant (MQL) technique in the peripheral surface grinding of the SAE 52100 hardened steel under different cutting conditions with respect to the surface integrity of the machined component. The worktable speed was varied (3 m/min and 7 m/min) while the radial depth of cut was kept constant (30 μm). Tests using the conventional cooling-lubrication (flood) technique were also performed for comparison. The output variables evaluated were the surface roughness (R_a) and microhardness. The results showed that parameter R_a increased with the workpiece speed, whereas machining under the lowest worktable speed value caused the highest drop in microhardness. Results generated after machining with the MQL cooling-lubrication technique were compatible with those generated with conventional coolant technique and in some situations even better, what represents benefits in terms of sustainability because of the lower volume of oil.*

Keywords: *Grinding. SAE 52100 steel. Minimum Quantity Lubricant. Surface roughness. Microhardness.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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