

Influência da técnica de lubri-refrigeração sobre a qualidade superficial de aço para rolamento

Influence of the cooling lubrication technique on the surface quality of rolling bearing steel

DOI:10.34117/bjdv7n6-464

Recebimento dos originais: 07/05/2021

Aceitação para publicação: 19/06/2021

Bruno Souza Abrão

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia
Instituição: Universidade Federal de Uberlândia
Endereço: Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, Brasil.
E-mail: brunoabrao53@gmail.com

Mayara Fernanda Pereira

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia
Instituição: Universidade Federal de Uberlândia
Endereço: Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, Brasil.
E-mail: mayaraufu2011@gmail.com

Rosemar Batista da Silva

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia com período sanduíche em London South Bank University
Instituição: Universidade Federal de Uberlândia
Endereço: Rodovia BR 050, km 78, Bloco 1DCG – 3º andar, sala 28, Uberlândia, MG, Brasil
E-mail: rosemar.silva@ufu.br

RESUMO

Um dos principais desafios encontrados nos processos de retificação diz respeito à grande geração de calor na zona de corte. Em razão dos rebolos abrasivos convencionais possuírem baixa condutividade térmica e os cavacos apresentarem pequenas dimensões, o material da peça é aquecido a altas temperaturas. E dependendo do gradiente térmico, a peça estará sujeita a vários danos térmicos e, conseqüentemente, poderá ter a sua integridade da superfície comprometida, especialmente em aços endurecidos para rolamentos. Neste contexto, a utilização de fluido de corte e a sua forma de aplicação são fatores de grande importância para minimizar os efeitos térmicos na peça sem deixar de lado as questões econômicas e ambientais. Nesse sentido, o presente trabalho visou avaliar a influência da técnica de lubri-refrigeração na qualidade superficial de aço para rolamento SAE 52100 durante a retificação. A qualidade da superfície foi avaliada em termos de rugosidade Rz e textura das superfícies usinadas. Os resultados mostraram que, em geral, menores valores de rugosidade Rz foram obtidos nos ensaios com a técnica MQL. Além disso, a técnica MQL proporcionou componentes com melhor acabamento e textura mais regular, já que houve presença de sulcos mais uniformes e um número menor de regiões com deformação plástica.

Palavras-chave: retificação, aço SAE 52100, técnica de lubri-refrigeração, rugosidade Rz, textura superficial.

ABSTRACT

One of the main challenges encountered in grinding processes is the high heat generation in the cutting zone. Because conventional abrasive wheels have low thermal conductivity and the chips are small, the workpiece material is heated to high temperatures. And depending on the thermal gradient, the workpiece will be subject to various thermal damages and consequently may have its surface integrity compromised, especially in hardened bearing steels. In this context, the use of cutting fluid and the way it is applied are factors of great importance to minimize the thermal effects on the part without leaving aside economical and environmental issues. In this sense, the present work aimed to evaluate the influence of the lubrication-cooling technique on the surface quality of SAE 52100 bearing steel during grinding. The surface quality was evaluated in terms of roughness Rz and texture of the machined surfaces. The results showed that, in general, lower Rz roughness values were obtained in the tests with the MQL technique. In addition, the MQL technique provided components with a better finish and a more regular texture, since there were more uniform grooves and fewer regions with plastic deformation.

Keywords: grinding, SAE 52100 steel, lubrication-cooling technique, roughness Rz, surface texture.

1 INTRODUÇÃO

A retificação é um processo de usinagem por abrasão de grande empregabilidade nos diversos setores industriais, não só por proporcionar aos componentes usinados baixos valores de rugosidade ($Ra < 1,6 \mu m$), mas também por permitir obter a combinação de ótimo acabamento com tolerâncias dimensionais estreitas (MALKIN e GUO, 2008). Desta forma, a retificação é normalmente realizada ao fim da cadeia produtiva onde o componente já apresenta grande valor agregado. E este é um fator que faz com que o controle da integridade superficial seja de extrema importância durante a etapa de retificação (MARINESCU et al., 2016).

E dentre os principais problemas que podem ser observados em peças retificadas, aqueles de origem térmica são os de maior interesse. Durante a retificação com abrasivos convencionais, que possuem baixa condutividade térmica, e por causa dos pequenos valores de penetração de trabalho que faz com que os cavacos gerados sejam de pequenas dimensões, grande parcela de calor gerado na zona de corte é conduzida à peça. Portanto, por esta razão é imprescindível a utilização de fluido de corte nos processos de retificação e normalmente se usa a técnica convencional de aplicação de fluido conhecida como abundante. Contudo, a tendência tem sido a opção por técnicas mais amigáveis ao meio ambiente e ao operador, como é o caso da técnica da mínima quantidade de lubrificante

(MQL). Quando comparada com a técnica convencional, diversos estudos em retificação utilizando a técnica MQL têm apresentado menores valores de forças de corte, rugosidade e taxa de desgaste do rebolo, como também menores alterações microestruturais (TAWAKOLI, HADAD e SADEGHI, 2010; SILVA et al., 2013). E estes resultados tem motivado a exploração desta técnica em vários processos de retificação. Além das técnicas de aplicação do fluido de corte, as condições de corte também desempenham papel fundamental para o processo por influenciarem diretamente na interação das partículas abrasivas do rebolo com o material usinado (MARINESCU et al., 2016).

Neste sentido, é essencial o estudo para obter os parâmetros de corte mais favoráveis na usinagem de cada tipo de material, além da correta seleção da técnica de lubri-refrigeração. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade superficial do aço endurecido SAE 52100 (por meio do parâmetro Rz e textura superficial) após processo de retificação sob diferentes condições de corte e de lubri-refrigeração.

2 DESENVOLVIMENTO

Os ensaios de retificação foram realizados em uma retificadora plana tangencial, modelo P36, do fabricante MELLO S.A, com rotação constante e igual a 2400 rpm, potência de 3 HP. O material da peça é o aço endurecido SAE 52100, bastante empregado na fabricação de componentes de rolamento, com dimensões 16 mm de diâmetro por 17 mm de comprimento. O rebolo abrasivo utilizado foi de óxido de alumínio branco AA46K6V de dimensões: 303 mm x 25 mm x 76 mm. Duas técnicas de aplicação de fluido foram empregadas: convencional e a mínima quantidade de lubrificante (MQL). Na Tabela 1 são apresentadas todas as informações referentes à realização dos testes de retificação.

Tabela 1. Variáveis de entrada e saída avaliadas durante a realização dos ensaios de retificação.

Velocidade de corte (V_s) [m/s]	38
Velocidade da peça (V_w) [m/min]	3 e 7
Penetração de trabalho (a_e) [μ m]	30
Fluido de corte	Semi-sintético de base vegetal (VASCO 7000)
Técnica de lubri-refrigeração	Convencional: diluição em água na proporção 1:19 e vazão de 9 L/min MQL: vazão de 150 mL/h e pressão do ar comprimido de 0,3 MPa
Variáveis de saída	Rugosidade (R_z) Imagens das superfícies retificadas

Antes da realização dos ensaios de retificação, o rebolo foi submetido à operação de dressagem com um dressador de ponta única de diamante com raio de ponta de 0,3 mm. Os parâmetros de dressagem empregados foram: $U_d = 5$, $b_d = 0,3175$ mm e tempo de dressagem de 10 segundos.

Neste trabalho foi selecionado o parâmetro R_z , que representa a altura máxima do perfil, ou seja, avalia a distância média entre os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos dentro do comprimento de avaliação. Apesar do parâmetro de rugosidade R_a ser o mais empregado na avaliação de superfícies usinadas, este representa o desvio aritmético médio, impedindo uma completa compreensão das características da superfície estudada. O parâmetro de rugosidade R_z proporciona maior facilidade na identificação de possíveis picos muito altos e vales muito profundos presentes em uma superfície em comparação com o parâmetro R_a (GADELMAWLA et al., 2002).

A medição do parâmetro de rugosidade R_z foi realizada 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. Todas as medições ocorreram sobre um desempenho com o intuito de garantir o menor desvio de paralelismo com a superfície de medição; e em cada superfície usinada foram realizadas cinco medições (perpendiculares à direção de corte do rebolo abrasivo).

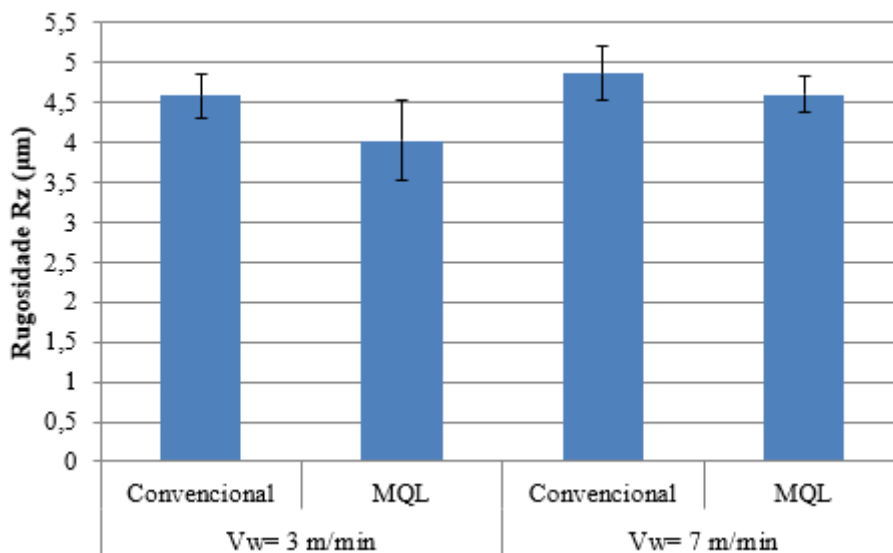
Para a avaliação das superfícies retificadas foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo TM3000, equipado com um Sistema de Energia Dispersiva (EDS). Antes da análise no MEV, as amostras passaram por um procedimento de limpeza utilizando acetona pura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores de rugosidade R_z das superfícies do aço SAE 52100 retificadas sob diferentes condições de corte e de lubri-refrigeração. Conforme pode ser observado, o valor médio do parâmetro R_z aumentou com a velocidade da peça (V_w), independente da técnica de lubri-refrigeração empregada. Esse comportamento é explicado por Rowe (2014) por meio da espessura equivalente de corte (parâmetro h_{eq}). Com o aumento de h_{eq} maior é a espessura de material removido sob a forma de cavaco e, assim, a tensão entre as partículas abrasivas do rebolo, prejudicando o acabamento dos componentes usinados. Em relação à técnica de lubri-refrigeração, a técnica MQL proporcionou os menores valores médios de rugosidade R_z em comparação com a técnica de aplicação de fluido convencional. Esse resultado pode ser explicado pelo

fato da técnica MQL ser mais eficiente em romper a barreira de ar formada em torno do rebolo abrasivo (devido às elevadas rotações empregadas no processo). A presença do ar comprimido favorece a penetração do óleo de corte na zona de corte e reduz o atrito entre o rebolo e a peça, promovendo assim melhores condições tribológicas. Tawakoli et al. (2009) também relataram a melhor eficiência da técnica MQL em relação à convencional, no que diz respeito ao acabamento. Barczak, Batako e Morgan (2010), em ensaios de retificação plana com rebolo de óxido de alumínio dos aços EN8, M2 e EN31, constataram menores valores de rugosidade R_a ao empregar a técnica MQL em comparação com a técnica convencional, justificado pelos autores pela superior capacidade de lubrificação da técnica MQL.

Figura 1. Valores de rugosidade R_z em função da técnica de lubri-refrigeração e velocidade da peça (V_w).

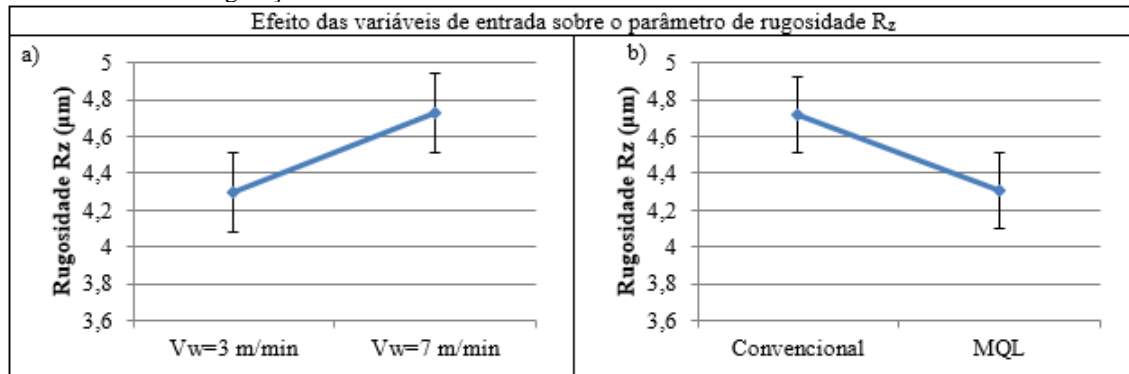


Na Tabela 2 são apresentados os p-valores das variáveis de entrada obtidos através de uma análise de variância (ANOVA) enquanto que na Figura 2 estão indicados os comportamentos médios dos valores de rugosidade R_z com a variação das variáveis de entrada. Conforme pode ser observado da Tabela 2, através da análise do p-valor, nenhum parâmetro de entrada mostrou-se significativo. Entretanto, por meio da avaliação do efeito das variáveis de entrada (Figura 2) é possível observar que os ensaios realizados empregando a menor velocidade da peça proporcionaram o menor valor médio de rugosidade R_z e a técnica de lubri-refrigeração MQL foi a responsável pela obtenção do menor valor médio.

Tabela 2. Análise de variância ANOVA para o parâmetro de rugosidade R_z .

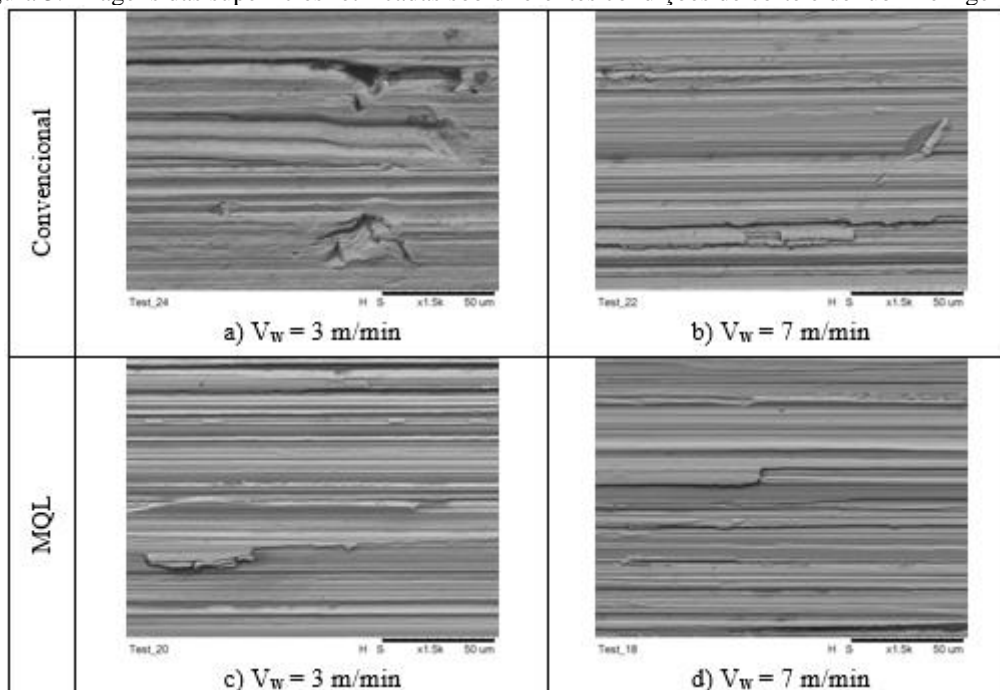
Fator	p-valor
Velocidade da peça (V_w)	0,2983
Técnica de lubri-refrigeração	0,3310

Figura 2. Efeito das variáveis de entrada sobre o parâmetro de rugosidade R_z do aço SAE 52100: a) V_w ; b) técnica de lubri-refrigeração.



As imagens obtidas das superfícies retificadas empregando diferentes condições de corte e de lubri-refrigeração são apresentadas na Figura 3. A retificação com o menor valor da velocidade da peça (V_w) (Figura 3a) resultou em superfícies com pior textura, ou seja, com maiores quantidades de regiões com deformação plástica e sulcos não tão uniformes quando comparadas com os ensaios empregando $V_w = 7$ m/min (Figura 3b), principalmente ao empregar a técnica convencional de aplicação de fluido de corte. Além disso, analisando a influência da técnica de lubri-refrigeração, percebe-se que a usinagem com a técnica MQL (Figura 3c e 3d) resultou em superfícies com melhor textura, independente da velocidade da peça testada. E este resultado pode ser explicado pela presença do ar comprimido que faz com as partículas de óleo adentrem na região de corte, promovendo melhor lubrificação e facilitando o corte do material. Em estudo desenvolvido por Sadeghi et al. (2010) foram realizados ensaios de retificação do aço endurecido AISI 4140 onde os resultados de análise das superfícies usinadas indicaram melhor textura superficial nos componentes retificados com o emprego da técnica MQL. Os autores justificam esse comportamento em razão da melhor capacidade de lubrificação da técnica MQL quando comparada com a convencional.

Figura 3. Imagens das superfícies retificadas sob diferentes condições de corte e de lubri-refrigeração.



4 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser retiradas deste trabalho:

- Os valores de rugosidade R_z aumentaram com a velocidade da peça, sendo o valor máximo obtido de $4,86 \mu\text{m}$;
- A utilização da técnica MQL favoreceu melhores condições tribológicas e resultaram em melhor acabamento e textura das peças retificadas, independente da velocidade da peça testada.

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 agradecem 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.

RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

REFERÊNCIAS

Barczak, L.M., Batoko, A.D.L. e Morgan, M.N., 2010, “A study of plane surface grinding under minimum quantity lubrication (MQL) conditions”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 50, pp. 977-985.

Gadelmawla, E.S., Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M. e Soliman, H.H., 2002, “Roughness parameters”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, pp. 133-145.

Malkin, S. e Guo, C., 2008, “Grinding Technology: Theory and Applications of Machining With Abrasives”, 2ª ed., New York: Industrial Press, 372 p.

Marinescu, I.D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B. e Inasaki, I., 2016, “Handbook of machining with grinding wheels”, Nova Iorque : CRC Press, 723 p.
Rowe, W.B., 2014, “Principles of Modern Grinding Technology”, 2ª ed., Elsevier Inc., 444 p.

Sadeghi, M.H., Hadad, M.J., Tawakoli, T., Vesali, A. e Emami, M., 2010, “An investigation on surface grinding of AISI 4140 hardened steel using minimum quantity lubrication-MQL technique”, *International Journal of Material Forming*, Vol. 3, pp. 241-251.

Silva, L.R., Corrêa, E.C.S., Brandão, J.R. e Ávila, R.F., 2013, “Environmentally friendly manufacturing: Behavior analysis of minimum quantity of lubricant – MQL in grinding processes”, *Journal of Cleaner Production*.

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, pp. 924-932.

Tawakoli, T., Hadad, M.J. e Sadeghi, M.H., 2010, “Investigation on minimum quantity lubricant-MQL grinding of 100Cr6 hardened steel using different abrasive and coolant-lubricant types”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 50, pp. 698-708.