

Retificação do aço ABNT 4340 com a aplicação de MQL com água e limpeza da superfície do rebolo

Rafael Lemes Rodriguez, rodriguez.raaf@gmail.com¹
José Claudio Lopes, jclaudio.lopes@gmail.com¹
Ricardo Roza Vaz Perez, perezrca@schaeffler.com¹
Rodolfo Alexandre Hildebrandt, hildebrandt@hotmail.com.br¹
Hamilton José de Mello, hamilton@feb.unesp.br¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹ Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP, Bauru, SP, BR

Resumo: A Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) apresenta-se como uma técnica de lubrificação que está intrinsecamente ligada à constante busca pela diminuição de resíduos perigosos nos meios de produção, além da diminuição de riscos à saúde e ao meio ambiente. Os estudos acerca dessa proposta dessa alternativa não negligenciam o fato pelo qual o uso do fluido de corte, em muitos casos, é considerado indispensável nas operações de usinagem, uma vez que as suas propriedades lubrificantes e refrigerantes desempenham um papel de suma importância no respeito às tolerâncias de projeto e dimensões da peça. Assim, muitos pesquisadores têm realizado grandes esforços para propor melhorias à técnica de MQL, aumentando a eficiência do processo e tornando a alternativa mais próxima à convencional em termos de resultados obtidos, como é o caso da adição de um bocal auxiliar de ar comprimido para a limpeza da superfície do rebolo e também a adição de água ao óleo de corte usado na técnica de MQL. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é verificar a retificação cilíndrica externa de mergulho do aço ABNT 4340 sob a aplicação da técnica de MQL com a adição de água e sob a ação do bocal auxiliar de limpeza da superfície do rebolo. Dessa forma, a vazão de óleo adotada foi de 30, 60 e 120 ml/h para analisar o comportamento da técnica de MQL com adição de água na proporção de água/óleo (1:5). Nesse processo, o rebolo utilizado foi o convencional de óxido de alumínio branco que apresenta grande importância em sua utilização na indústria. O estudo foi feito através da análise e avaliação das variáveis de saída do processo: rugosidade e desvio de circularidade.

Palavras-chave: Retificação cilíndrica externa, mínima quantidade de lubrificante (MQL) com adição de água, preocupação ambiental, rebolo convencional, limpeza da superfície de corte do rebolo.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Malkin e Guo (2008), o processo de retificação merece destaque entre os processos abrasivos pela sua importância para a indústria metal-mecânica. Na prática, esse processo se enquadra como abrasão, por constituir como ferramenta principal o rebolo, em que os grãos abrasivos são responsáveis pela retirada de material da peça usinada, caracterizando como a etapa final do processo de fabricação, garantindo valores de rugosidade menores (0,1 a 1,6 μm), como também tolerâncias mais estreitas definidas pelas qualidades de trabalho (IT3 a IT6).

Embora muito empregada, a retificação é um dos processos de usinagem com maior grau de complexidade, devido à grande quantidade de variáveis presentes com um grande número de parâmetros, que em combinação, determinam o acabamento e integridade das peças desejadas.

Atualmente, diversas retificadoras utilizam o sistema convencional de aplicação de fluido de corte consideradas como técnicas de consumo de elevada vazão (250 a 700 l/h) que, consequentemente, influenciará no consumo de água e fluido. Sokovic e Mijanovic (2001) relatam que a importância da substituição de processos e métodos tradicionais de lubrificação se faz necessário para gerar condições de fabricação que estejam tecnologicamente e economicamente associadas às reduções do impacto ao meio ambiente. Os fluidos de corte requerem sérios cuidados no seu uso, armazenamento e descarte, uma vez que eles podem causar sérios danos à saúde humana e ao meio-ambiente. Assim, o alto grau de cuidado faz com que o custo agregado do processo aumente de forma que os fluidos de corte representam 16 % do total de custo de produção (Walker, 2013).

Alternativamente ao método convencional de aplicação de fluido de corte, o sistema de Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) controla o consumo de fluido de corte, sendo este aplicado através da injeção de uma mistura de ar e óleo a altas pressões em direção à superfície de usinagem (Pusavec et al, 2014) e vazão (10 a 240 ml/h). O emprego

da técnica MQL resulta em redução drástica da vazão de seu volume, onde o consumo de água é reduzido, representando assim um dos pontos de grande contribuição para o desenvolvimento de pesquisa em usinagem.

Por sua vez, esse fluido é responsável pela transferência de calor com o resfriamento do material, sendo ele responsável também pela retirada do cavaco e das impurezas que se encontram na peça ou na ferramenta, reduzindo o atrito e minimizando o desgaste do rebolo por funcionar como lubrificante.

Assim como a consciência ambiental é exigida e solicitada por meio de ações eficazes, a fim de reduzir os impactos ao ambiente de trabalho e no meio ambiente global, associada às reduções de custos relacionados com fluidos de corte, surgiram alternativas de lubrificação, entre elas, a mínima aliada aos aspectos econômicos quantidade de lubrificante (MQL), já que a retificação a seco não tem sido apropriada para processos de retificação com rebolos convencionais, devido à geração excessiva de calor (Weinert et al, 2004).

Segundo Sadeghi et al. (2009), a preocupação ambiental se tornou incrivelmente importante para os processos produtivos, e tecnológicos. A crescente busca por técnicas que respeitem o meio ambiente e que reduzam os custos com descarte de fluido tem dado lugar às formas alternativas. Entre elas está o MQL.

Entretanto, a técnica do MQL pode estar intrínseca ao fato de que a aplicação da mínima quantidade de lubrificante não promove a retirada adequada dos cavacos da região de corte, assim há formação de uma “borra” que é composta pela mistura de cavaco e fluido que empasta na superfície de corte do rebolo. Assim, prejuízos são causados ao acabamento superficial, uma vez que causa o aumento da rugosidade superficial e erro de circularidade (Oliviera et al. 2012).

Nesse sentido, o objetivo principal desse trabalho é avaliar conjuntamente com a limpeza superficial do rebolo a mistura do fluido de MQL com água para que a técnica de MQL seja melhorada e fique ainda mais próxima da convencional ou até, em condições específicas, possa gerar uma lubrificação mais eficiente. Com base nos melhores resultados encontrados nos trabalhos anteriores, a vazão adotada foi de 120 ml/h. Assim foram realizados ensaios com o fluido de MQL com diluição de água 1:5.

1.1. A Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) com água

De acordo com Yoshimura et al. (2005), a máxima qualidade de corte pode ser atingida com a utilização da condição de lubrificação MQL/Água. Para tal, os equipamentos fornecedores de vazão de água e óleo ao bico aplicador devem exercer um controle preciso do volume liberado, uma vez que o bocal de aplicação tem de ser desenvolvido para gerar de forma eficiente gotas de água envoltas pelo óleo, ideais ao propósito da lubrificação e refrigeração do sistema. Dessa forma, os mesmos autores destacam que uma gota ideal é aquela que desempenha três papéis importantes, sendo eles: carregar eficientemente uma quantidade mínima de lubrificante em sua superfície; lubrificar as superfícies da ferramenta e da peça, espalhando o óleo ao atingi-las e refrigerar a peça e a ferramenta através da água que ao evaporar retira calor do sistema pela sua sensibilidade e latência ao calor gerado na operação.

Para Yoshimura et al. (2005), o sistema de MQL com a adição de água apresenta melhor performance na usinagem de ligas de alumínio e aços inoxidáveis que os sistemas de MQL convencionais, e também em relação à usinagem a seco e ao sistema convencional em relação à precisão e refrigeração. Mais além, o desgaste da ferramenta é reduzido consideravelmente em relação à usinagem a seco. Isso ocorre pois o sistema MQL com a adição de água apresenta uma alta habilidade de lubrificação em função da ação das gotículas de água envoltas por uma película de óleo. Devido à sua sensibilidade e latência ao calor, a água evapora facilmente das superfícies aquecidas da peça e da ferramenta, assim refrigerando a zona de corte. Com a evaporação da água, o óleo deixado na superfície realiza a função de lubrificação da zona de corte.

De acordo com Yoshimura et al. (2005), para os valores de rugosidade superficial os menores estão relacionados com a utilização do método de mínima quantidade de lubrificante misturado com água em detrimento da utilização de emulsão ou do método tradicional apenas com óleo. Nessa tocante, Yoshimura et al. (2005) também concluiu através dos experimentos realizados que na linha de produção de bronzinas a temperatura no final do processo de usinagem foi baixada substancialmente com a aplicação do método com adição de água em relação à usinagem a seco. Dessa forma, os valores registrados foram de 63,9 °C para usinagem a seco e 37,2 °C para o método com água, atestando-se resfriamento significativo da região de corte. Os manuscritos devem ser escritos em português, inglês ou espanhol, para impressão em páginas de tamanho A4, usando fonte Times New Roman, tamanho 10, exceto para o título, identificação de autores, resumo e palavras chave, que deverão seguir as formatações acima indicadas.

Ruzzi et al. (2016) aplicaram a técnica de limpeza da superfície do rebolo com o ângulo de incidência de 30° (como apresentada por Oliveira et al., 2012) em adição à técnica MQL, utilizando emulsões de água e óleo em várias proporções durante a retificação externa do aço AISI 4340 com rebolo de CBN. Os autores obtiveram resultados para a rugosidade, desvio de circularidade e desgaste diametral do rebolo como estão mostrados na Figura 1. É possível observar que, como era esperado, o uso do sistema de limpeza promoveu a melhora significativa dos resultados. Mais além, foi possível observar que a proporção de água de 1:5 proporcionou resultados superiores às demais proporções ou até mesmo ao MQL puro, alcançando resultados próximos aos da técnica convencional.

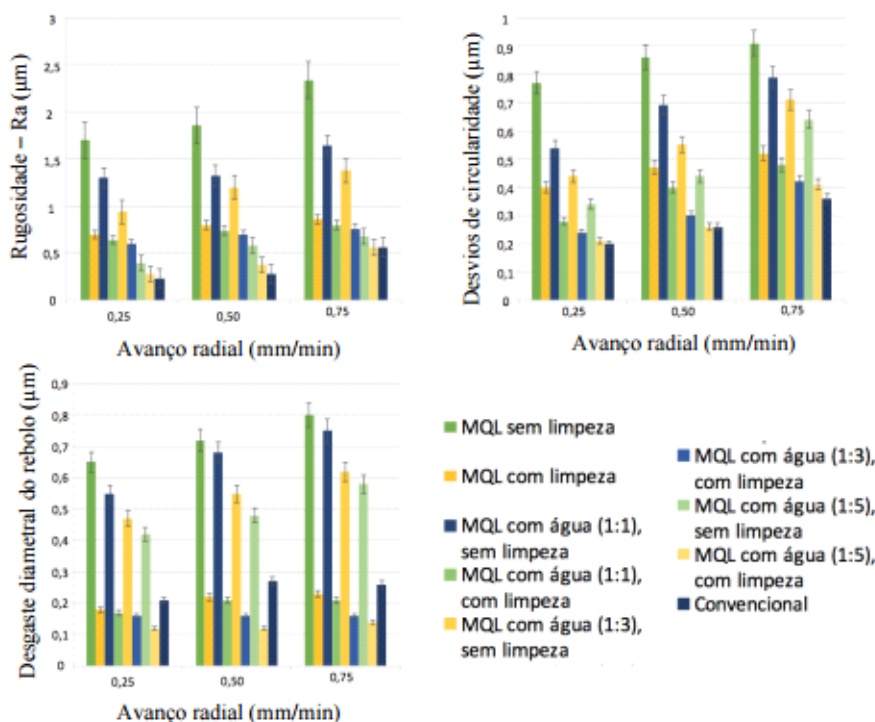


Figura 1. Valores de rugosidade, desvios de circularidade e desgaste diametral do rebolo [8].

É de grande valia destacar que não há trabalhos publicados acerca da utilização de MQL com água na retificação externa de mergulho com rebolo convencional de óxido de alumínio. Dessa forma, trabalhos publicados estão relacionados à sua aplicação com rebolo de CBN como o trabalho realizado por Ruzzi et al. (2016). Mais além, o destaque desse trabalho está no fato da proposta de diminuição da vazão de fluido de corte aplicada que é convencionalmente utilizada de 120 a 140 ml/h na aplicação da técnica de MQL com diluição em água.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados em uma retificadora cilíndrica SULMECÂNICA, modelo RUAP 515H, equipada por um comando numérico. Os corpos de prova foram formados por anéis de aço ABNT 4340, temperado e revenido (60 HRC de dureza média), com diâmetro externo de $58 \pm 0,1 \text{ mm}$, diâmetro interno de $29,30 \pm 0,1 \text{ mm}$ e espessura de $4,50 \pm 0,1 \text{ mm}$, como pode ser visto na Fig. (2). O rebolo utilizado foi de óxido de alumínio branco com ligante vitrificado e dimensões 355,6 mm de diâmetro externo, 127 mm de diâmetro interno e 25,4 mm de largura, da empresa NORTON.

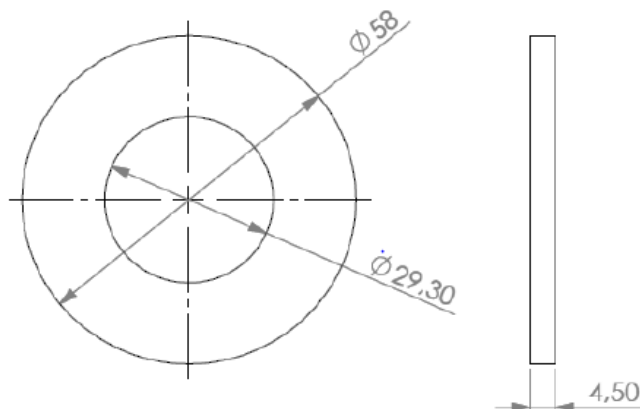


Figura 2. Desenho técnico, fora de escala, do corpo de prova de Aço ABNT 4340 utilizado na pesquisa.

Os ensaios foram realizados para quatro diferentes técnicas de lubrificação: a refrigeração convencional (fluido em abundância), MQL com limpeza e adição de água para as vazões de 30, 60 e 120 ml/h. Para cada diferente

condição de lubrificação foram realizados 3 ensaios. A Figura 3 mostra a montagem experimental para a realização dos ensaios.

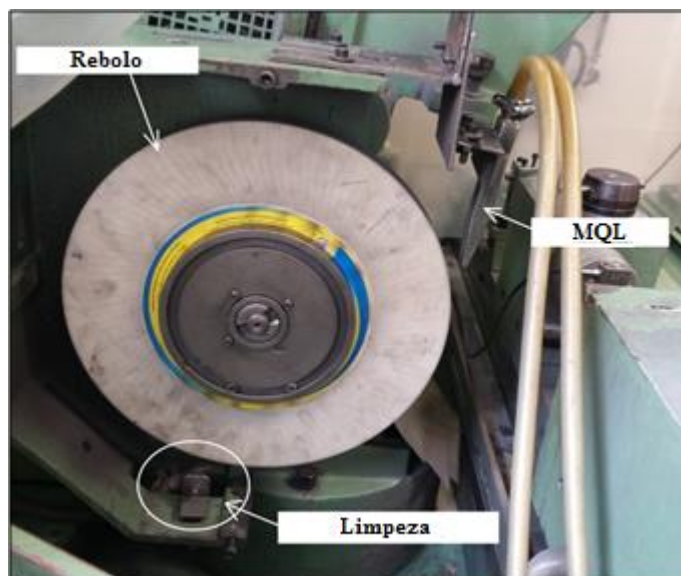


Figura 3. Montagem experimental.

Na realização dos experimentos com o sistema de limpeza, o direcionamento do ar contra a superfície do rebolo foi de 30° em relação à normal e com pressão constante de 7,0 kgf/cm² em todo momento desta etapa.

A análise deverá ocorrer a partir da avaliação dos resultados das variáveis de saída do processo de retificação, que foram: rugosidade e circularidade.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

O processo de retificação envolve grande quantidade de calor entre a ferramenta abrasiva e a peça, assim a aplicação de fluidos de corte são de fundamental importância para que parte do calor gerado seja removida com a refrigeração e lubrificação da área de contato entre a peça e a ferramenta, garantindo-se uma melhor qualidade e acabamento às peças produzidas.

Nesse sentido, existe também a preocupação do ponto de vista ocupacional e ambiental com o uso dos fluidos de corte, uma vez que estes são tóxicos aos operadores das máquinas e perigosos ao meio ambiente. Ademais, o uso dos fluidos de corte de forma abundante/convencional também eleva o custo de manufatura à medida que a sua grande quantidade necessária para a usinagem, além de complicados e custosos processos de armazenagem e descarte ecológico.

Com essa preocupação, espera-se que este trabalho aprimorar o desenvolvimento tecnológico da Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) na retificação cilíndrica externa de mergulho do aço ABNT 4340 com rebolo convencional, por meio da adição de água à MQL com limpeza superficial do rebolo. Assim foram tomados como parâmetros de saída a rugosidade e a circularidade, respectivamente mostradas nas figuras 4 e 5.

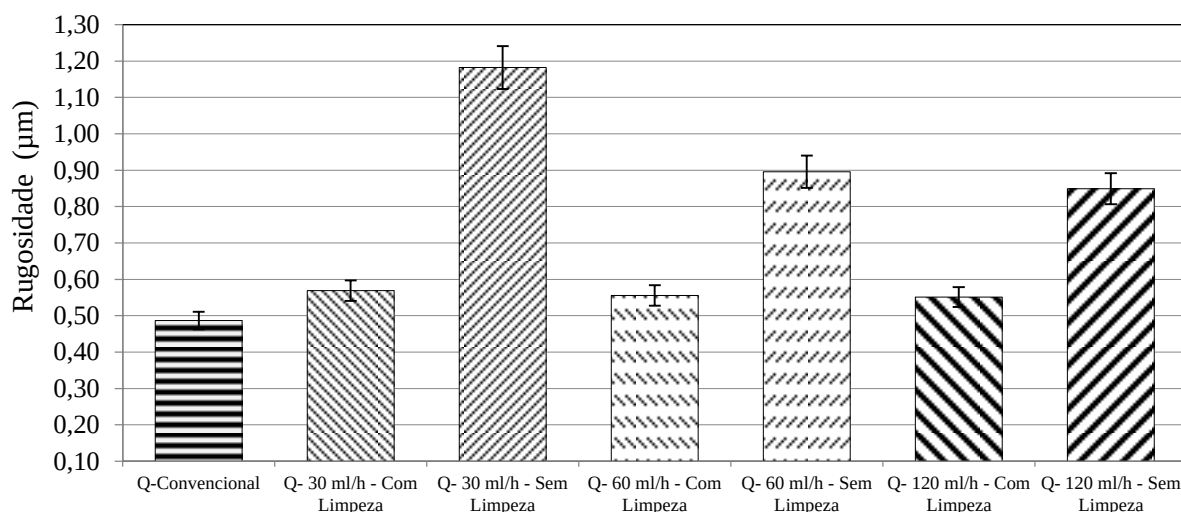
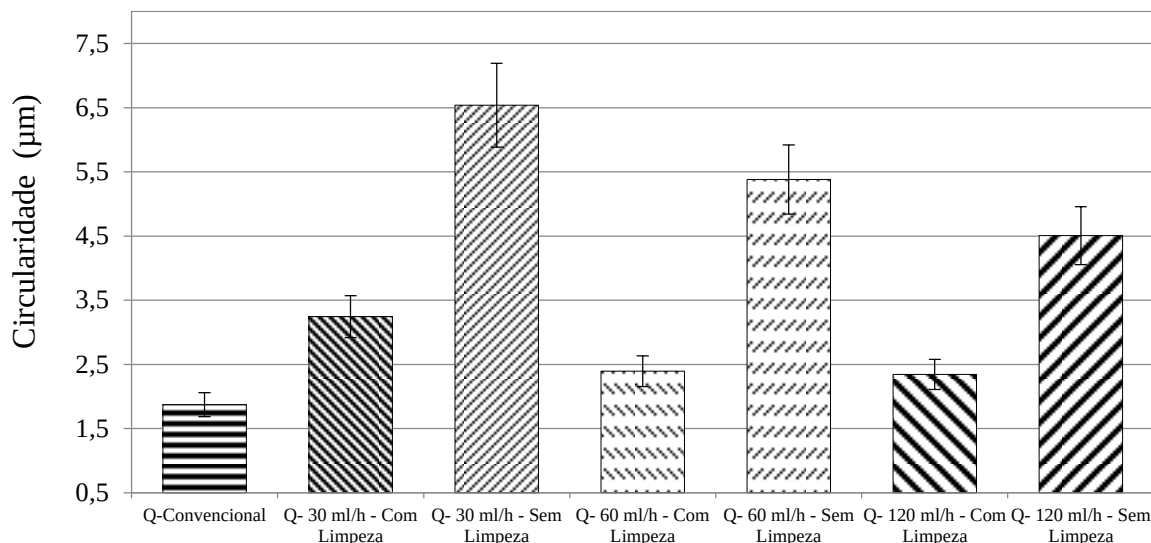


Figura 4. Rugosidade (Ra) do aço ABNT 4340 após retificação cilíndrica em várias condições de vazão (Q).**Figura 5. Circularidade do aço ABNT 4340 após retificação cilíndrica em várias condições de vazão (Q).**

Dessa forma, assim como apresentado Ruzzi et al. (2016), a adição de MQL e a limpeza superficial do rebolo elevam consideravelmente o desempenho da técnica de MQL. Segundo Oliveira et al. (2012) quando o sistema de MQL é utilizado, pode ocorrer de os cavacos se aglutinarem com o óleo do MQL e formar uma pasta, que se alojará nos poros do rebolo e portanto irá atritar com a peça durante a usinagem. Durante o processo de retificação, a quantidade de cavacos gerada continua aumentando (assim como o atrito) até que ocorra o contato entre a peça de trabalho e o cavaco alojado nos poros do rebolo, causando tanto a deformação de origem plástica como a elástica na peça de trabalho. Isso pode elevar as forças de corte, causa vibrações que irão afetar os desvios dimensionais e a geometria da peça. Desse modo, é possível ressaltar ao empregar a técnica MQL com a vazão de 120 ml/h, a remoção de cavaco ocorreu de forma mais eficiente que as demais. Com benefício, diminuiu ou eliminou a tendência de empastamento do cavaco nos poros do rebolo e, por conseguinte, a elevação de erros de circularidade. A adição de água melhorou significativamente a refrigeração da técnica de MQL e juntamente com a aplicação de limpeza da superfície de corte do rebolo.

4. CONCLUSÃO

As condições testadas utilizando o método MQL com a limpeza do rebolo e as três vazões estabelecidas para este trabalho, mostraram-se mais eficientes que o sistema de lubrificação sem a limpeza do rebolo, ou seja, apresentaram em geral melhores condições de retificação, qualidade das peças superior em relação ao seu dimensional e apresentou menor consumo da ferramenta de corte. A técnica MQL com limpeza e adição de água se destacou como uma alternativa muito interessante a ser implantada e significativa para o processo de retificação, pois demonstrou que os resultados dos parâmetros de rugosidade e circularidade foram muito similares à técnica convencional para as vazões de 60 e 120 mL/h.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP de Bauru, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo apoio na concessão da bolsa de Iniciação Científica (processo 2015/09197-7),

6. REFERÊNCIAS

- Malkin S.; Guo C. 2008 “Grinding Technology: Theory and applications of machining with abrasives.” Industrial Press, New York, p 372.
- Oliveira, D. J, Guermandi, L. G., Bianchi, E.C., Diniz, A.E, DeAguiar, P.R, Canarim, R.C. 2012. “Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning”, Journal of Materials Processing Technology, v.212, p.2559-2568.
- Pusavec, F.; Deshpande, A.; Yang, S.; M’Saoubi, R.; Kopac, J.; Dillon, O. W. (Jr.); Jawahir, I. S. (2014). “Sustainable machining of high temperature Nickel alloy e Inconel 718: part 1 e predictive performance models”. Journal of Cleaner Production 81, p.257.
- Ruzzi, R. de S., Belentani, R. de M., DE Mello, H. J., Canarim, R. C., D’Addona, D. M., Diniz, A. E., De Aguiar, P. R., Bianchi, E. C. 2016, “MQL with water in cylindrical plunge grinding of hardened steels using CBN wheels, with

and without wheel cleaning by compressed air”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, p. 1–10.

Sadeghi, M.H., Haddad M.J., Tawakoli T., Emami M., 2009, “Minimal quantity lubrication-MQL in grinding of Ti–6Al–4V titanium alloy”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v.44, p. 487–500.

Sokovic, M.; Mijanovic, K. (2001), “Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes”, Journal of Materials Processing Technology, v. 109, nº 1-2, p. 181-189.

Walker, T., 2013, “The MQL handbook – a guide to machining with minimum quantity lubrication”, [s.l.] Unist Inc.

Weinert, K.; Inasaki, I.; Sutherland, J.W.; Wacabayashi, T., 2004, “Dry machining and minimum quantity lubrication” CIRP Annals - Manufacturing Technology, v. 53, p. 511-537.

Yoshimura, H.; Itoigawa, F.; Nakamura, T.; Niwa, K., 2005, “Development of Nozzle System for Oil-on-Water Droplet Metalworking Fluid and Its Application on Practical Production Line”, JSME International Journal Series C, v.48, pp. 723-729.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

MQL grinding of AISI 4340 with water and wheel cleaning jet

Rafael Lemes Rodriguez, rodriguez.raaf@gmail.com¹

José Claudio Lopes, jclaudio.lopes@gmail.com¹

Ricardo Roza Vaz Perez, perezrca@schaeffler.com¹

Rodolfo Alexandre Hildebrandt, hildebrandt@hotmail.com.br¹

Hamilton José de Mello, hamilton@feb.unesp.br¹

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹ Bauru Faculty of Engineering – UNESP, Bauru, SP, BR

Abstract. Minimum Quantity Lubrication (MQL) is a cooling lubrication technique that is intrinsically linked to the constant search for the reduction of hazardous waste in production, as well as the reduction of risks to health and the environment. The studies about this alternative do not neglect the fact that the use of the cutting fluid in many cases is considered indispensable in the machining operations, since its lubricating properties and refrigerants play an important role in respect to the accuracy of component part. Thus, many researchers have made great efforts to propose improvements to the MQL technique, increasing the efficiency of the process and making the alternative closer to the conventional one in terms of results obtained, as it is the case of the addition of an auxiliary compressed air jet in order to clean the surface of the grinding wheel and also the addition of water to the cutting oil used in the MQL technique. In this sense, the objective of this work is to verify the cylindrical external grinding of AISI 4340 steel under the application of the MQL technique with the addition of water and the auxiliary cleaning jet. In this way, the oil flow rates were 30, 60 and 120 mL/h to analyze the behavior of MQL with addition of water in the ratio of water/oil (1: 5). In this process, the grinding wheel used was the conventional white aluminum oxide that has great application in the industry. The study analyzed the following output parameters: roughness and component roundness.

Keywords: Cylindrical External Grinding, Minimum Quantity Lubrication, (MQL) with water addition, Environmental Awareness, Conventional Grinding Wheel, Cleaning of Wheel Surface