

INFLUÊNCIA DA LUBRI-REFRIGERAÇÃO DE MQL COM LIMPEZA NA SUPERFÍCIE DE CORTE DO REBOLO DE CBN NA RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA DO AÇO AISI 4340

Rafael Polato Francelin, rafaelfrancelin@gmail.com¹

Wagner Barbosa da Costa, wagner@bol.com.br¹

José Claudio Lopes, jclaudio.lopes@hotmail.com¹

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

Paulo Roberto Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br²

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Bauru. Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

²Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Bauru. Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

Resumo: A retificação é um processo de corte por abrasão dado pela ação de uma ferramenta chamada reboło, submetido às altas rotações e que confere às peças acabamento final e exatidão nas dimensões, respeitando os parâmetros de tolerância apresentados em cada projeto. Diante da crescente demanda mundial por produtos de boa qualidade, novas tecnologias têm sido desenvolvidas para suprir as necessidades industriais. A tendência é produzir peças com elevado grau de tolerância geométrica, dimensional e acabamento superficial, com baixo custo e sem degradar o meio ambiente. No entanto, diversos processos de usinagem, incluindo a retificação, utilizam fluidos de corte como meio de lubrificação, refrigeração, limpeza e proteção da peça produzida. Se as aplicações de fluido não forem satisfatórias, as elevadas temperaturas geradas podem produzir danos à peça, como queima superficial, mudanças microestruturais, aparecimento de tensões residuais, erros de forma e deterioração da qualidade final da peça produzida. O descarte irregular que contamina o meio ambiente, a geração de nuvens tóxicas que podem contaminar os funcionários, os altos custos de compra e descarte são os motivos principais e reforçam a necessidade da melhoria desse tipo de processo. Assim, foi desenvolvido o MQL (Mínima Quantidade de Lubrificação), uma mistura de ar comprimido e óleo aplicada com alta pressão, reduzindo drasticamente a utilização de agentes contaminantes. Nesse presente trabalho foram utilizadas duas vazões de óleo para a técnica de MQL, 30 ml/h e 120 ml/h, utilizando um bocal de ar comprimido para limpeza da superfície do reboło na tentativa de evitar o entupimento da ferramenta. A limpeza da superfície aprimora os resultados da técnica de MQL, que se aproximam aos obtidos pela técnica de lubri-refrigeração convencional.

Palavras-chave: Retificação cilíndrica, mínima quantidade de lubrificante; reboło de nitreto cúbico de boro, aço AISI 4340; limpeza da superfície do reboło.

1. INTRODUÇÃO

A retificação pode ser descrita como um processo de usinagem com alta intensidade energética, ou seja, uma grande quantidade de energia é requerida por unidade de material removido em comparação com outros processos (Alagumurthi *et al.*, 2007). Enquanto as operações de corte são geralmente responsáveis por retirar o excesso de material superficial, a retificação é conhecida por dar acabamento final à peça, reduzindo os valores de rugosidade, erros geométricos e dimensionais, dentre outros. Entretanto, é um dos processos mais complexos de usinagem devido à grande quantidade de variáveis presentes, com um largo número de parâmetros característicos que exercem influência entre si (Chen *et al.*, 2002), influenciando direta e indiretamente no resultado final. A retificação acontece usualmente nas últimas etapas do processo de fabricação (normalmente depois de uma têmpera).

Como é um processo de alta quantidade de energia requerida, uma parte dela é dissipada na forma de calor, que se entrar em contato com a interface reboło-peça pode gerar deterioração das propriedades metalúrgicas, qualidade da superfície e nas tolerâncias dimensional e de forma; para tal é necessária a utilização de um fluido de corte. Esses fluidos aumentam a produtividade e a qualidade do resultado final das operações de corte através do resfriamento e lubrificação. Outra função dos fluidos de corte é a transferência de calor da zona de corte (Oliveira *et al.*, 2012). Stanford *et al.* (2007) considera que os fluidos de corte ainda ajudam a remover cavacos da área de corte, promovendo uma limpeza no reboło. Porém, sua composição deixa claro que seu uso é extremamente nocivo ao meio ambiente e as pessoas que trabalham em contato prolongado com o fluido. Faz-se necessário realizar o descarte adequado, o que envolve altos custos e atos trabalhosos. Do ponto de vista econômico, o custo do método convencional de lubri-refrigeração é maior do que o custo do reboło quando se leva em consideração os gastos totais do uso dos fluidos, da

manutenção, da filtragem e do descarte (Nguyen e Zhang, 2003). Com leis mais rigorosas, prejuízos ambientais e de saúde aparentes e custos elevados, a pesquisa por novos métodos de lubri-refrigeração é necessária. A busca por uma melhor qualidade superficial (rugosidade) e o aumento da vida útil da ferramenta devem ser entendidos também como objetivos que andam juntos com as demais necessidades. A MQL (mínima quantidade de lubrificação), também chamado como “Near-dry machining”, funciona através da injeção de uma mistura de ar e óleo às altas pressões em direção a superfície de usinagem (Pusavec et al. 2014)

Este trabalho teve como objetivo avaliar a técnica de lubri-refrigeração de MQL, variando a vazão de óleo, no processo de retificação cilíndrica do aço AISI 4340, aplicando um jato de ar comprimido direcionado para a superfície de corte do rebolo a fim de realizar a limpeza da mesma. Para tal análise, foram observadas a rugosidade, circularidade e microdureza finais das peças.

Ainda, os dados obtidos para os ensaios em que se utilizou a limpeza por ar comprimido foram encontrados em ensaios preliminares, salvo que a continuidade da pesquisa terá plena concepção no decorrer do projeto.

2. METODOLOGIA E ENSAIO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Usinagem por Abrasão (LUA) pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FEB/UNESP, campus Bauru - SP. Para o estudo utilizou-se uma retificadora cilíndrica da empresa Sulmecânica, modelo RUAP515H, que utiliza comando numérico computadorizado CNC da marca Fagor para o acionamento do eixo “X”.

Como material de ensaio, foram utilizados corpos de prova fabricados em aço AISI 4340 temperado e recozido com dureza de 54 ± 2 HRC; em formato anelar com diâmetro externo de 58 mm, diâmetro interno de 30 mm e espessura de 4,5 mm. O rebolo utilizado foi o CBN (Nitreto de Boro Cúbico) com ligante vitrificado, SBN151Q12VR2, de diâmetro externo 350 mm e espessura 15 mm.

Para a técnica de MQL, utilizou-se o ar comprimido a uma pressão de 8 bar, o fluido Accu-Lube LB-1000 da empresa ITW Chemical Products Ltda, sem diluição. O sistema de aplicação Accu-Lube, apresentado Fig. (1), é responsável por regular a quantidade de ar e óleo que serão aplicados durante a usinagem.

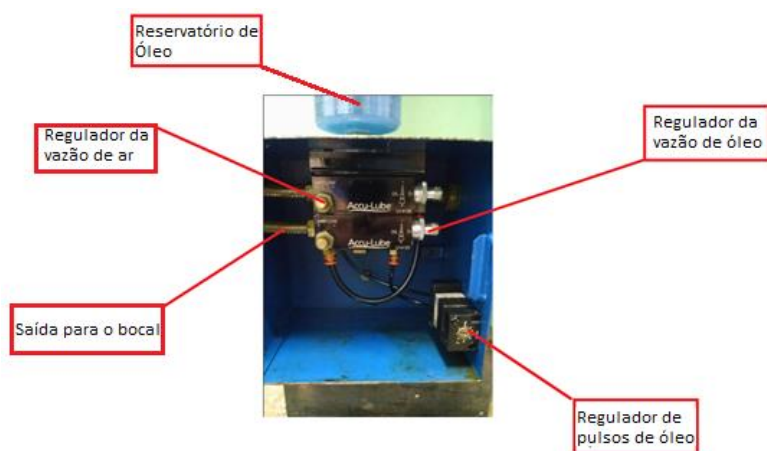


Figura 1. Sistema de aplicação da técnica de MQL

Os parâmetros de corte determinados em ensaios preliminares foram: velocidade de mergulho (V_f) de 1 mm/min, velocidade de corte (V_s) de 30 m/s, rotação da peça de 163 rpm, tempo de centelhamento (t_s) de 1,78 segundos durante os ciclos de usinagem e 3,56 segundos ao final de ensaio, profundidade de dressagem de 2 μ m e vazão do fluido de corte na refrigeração convencional de 17 L/min. A cada peça foram realizados 42 ciclos de usinagem, retirando 0,1 mm a cada ciclo.

Nesse trabalho foram avaliadas duas diferentes vazões de óleo pela técnica de MQL sem limpeza e as mesmas duas vazões utilizando o sistema de limpeza por ar comprimido em comparação com a técnica convencional de lubri-refrigeração, ou seja, três parâmetros analisados ao todo. Para um controle estatístico maior, cada parâmetro de lubri-refrigeração contou com 3 ensaios, somando assim 15 ensaios ao todo. A Fig. (2) indica a metodologia dos ensaios.

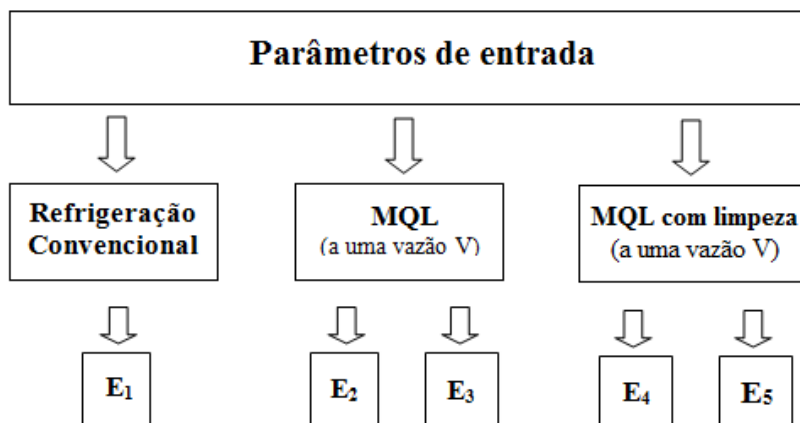


Figura 2. Metodologia dos ensaios

Com uma largura de 15 mm, o rebolo possibilitou que dois ensaios fossem realizados no intervalo entre as dressagens, onde os ensaios eram realizados separadamente. A dressagem do rebolo CBN era realizada com profundidade de 40 μm no diâmetro, sendo utilizado 20 passes com penetração de 2 μm cada.

Após a finalização dos ensaios definitivos e após as análises de circularidade em todas as peças, foi escolhido um corpo de prova por parâmetro de refrigeração, ou seja, dentre as 15 peças confeccionadas com 3 parâmetros de refrigeração, foram escolhidas 5. Após isso, os corpos foram cortados, retirando uma amostra, que posteriormente passou pelo embutimento em baquelite, lixamento (com as lixas em sequência: 80, 120, 220, 320, 400, 500 e 600), polimento (com alumina de granulometria 1 μm).

Na análise de rugosidade e desgaste diametral do rebolo, foi utilizado o rugosímetro modelo *Surtronic*³⁺, da marca *Taylor Hobson*, o qual contém o programa *Talyprofile* da mesma, marca para utilização em computador. Para determinar a microdureza da amostra, foi utilizado o equipamento da Mitutoyo, nomeado *MicroWizhard* versão 1.04. Foi usada uma carga de 300 g para facilitar a visualização das endentações no momento das medições. Foram realizadas três séries em cada amostra, sendo que cada série representa 6 medições de microdureza ensaiadas a distâncias equidistantes uma da outra e abaixo da superfície usinada (indentação realizada da superfície em direção ao centro). As medições de circularidade dos corpos de prova foram feitas pelo equipamento *Talysond 31c* marca *Taylor Hobson*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Rugosidade

Na Fig. (3) encontram-se os valores de rugosidade de acordo com os parâmetros de lubri-refrigeração.

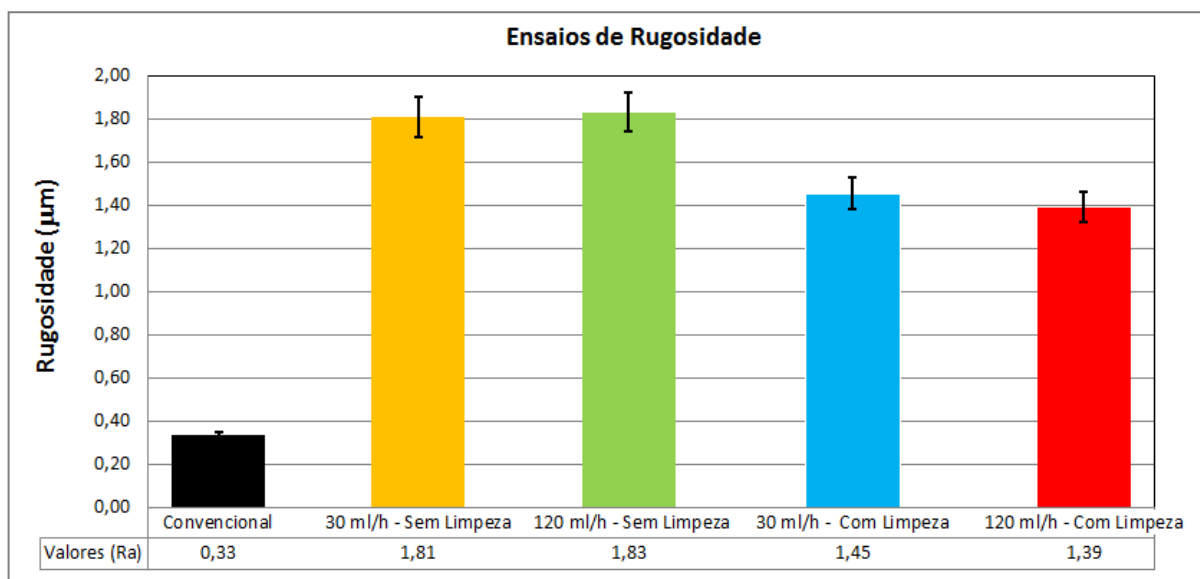


Figura 3. Rugosidade em função do parâmetro de lubri-refrigeração

Nota-se que, entre todos os casos, a rugosidade encontrada na usinagem com a técnica convencional de lubrificação foi a menor. Quanto as rugosidades encontradas na usinagem com a técnica de MQL sem limpeza, nota-se a igualdade estatística entre elas. Além disso, quando aplicada a limpeza da superfície de corte do rebolo por ar comprimido, há uma redução de cerca de 20% no valor da rugosidade, mostrando a eficiência dessa técnica de limpeza.

Encontrou-se que os melhores resultados dentre os volumes de MQL foi de 120 ml/h, mostrando que uma maior vazão de óleo garante que a qualidade da peça pode ser mais próxima à de uma peça usinada utilizando-se lubrificação convencional. O entupimento do rebolo (os poros da estrutura do rebolo ficam totalmente preenchidas por cavacos, fluido e impurezas), que ocorre principalmente na utilização da técnica MQL é explicado por Oliveira *et al.* (2012), que afirma que, além de o entupimento do rebolo aumentar as forças de retificação e causar uma alta rugosidade, também aumenta os erros de circularidade. Dessa forma, a Fig. (4) ilustra bem a condição que o rebolo se encontrava após a retificação.

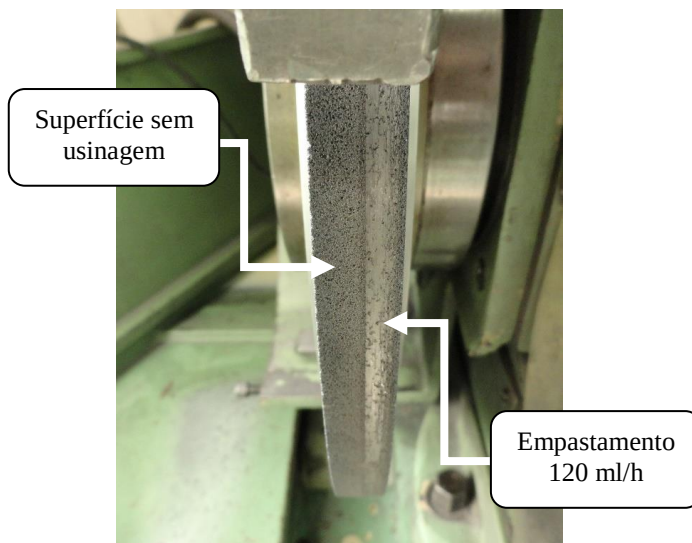


Figura 4. Superfície do rebolo após ensaio com MQL 120 ml/h

Para minimizar os efeitos do entupimento da estrutura do rebolo, a limpeza da superfície de corte é uma solução que traz bons resultados. Esse aprimoramento nos valores de rugosidade mostrados na Fig. (3) consegue ilustrar a importância de tal técnica.

3.2. Circularidade

Na Fig. (5) são apresentados os valores de circularidade de acordo com os parâmetros de lubri-refrigeração.

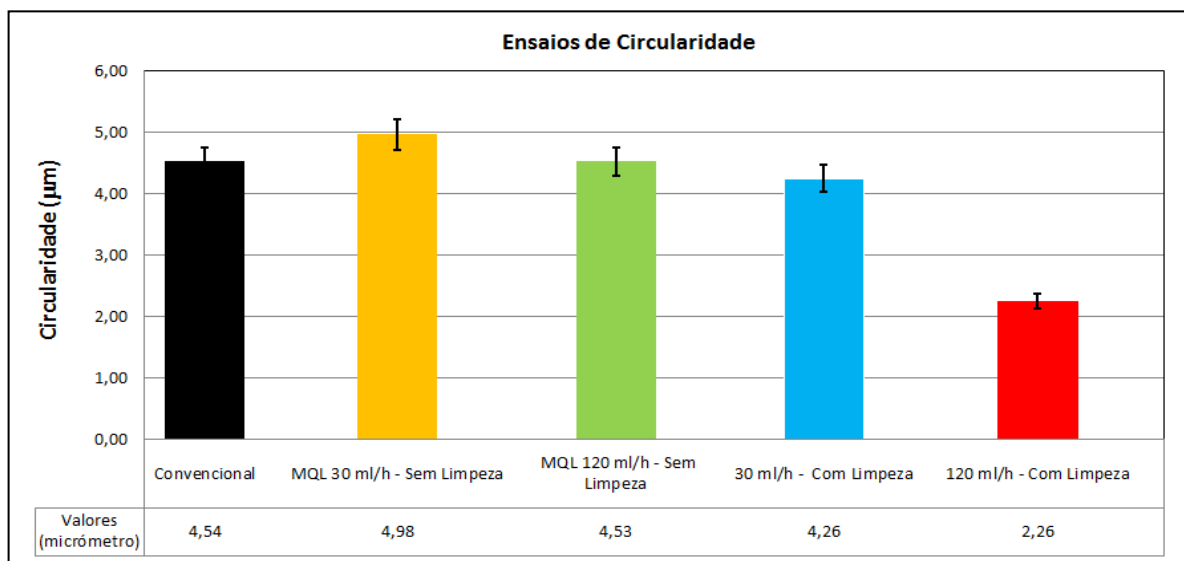


Figura 5. Circularidade em função do parâmetro de lubri-refrigeração

Nota-se que a lubrificação abundante (convencional) apresenta resultado melhor apenas que o de MQL de 30 ml/h e estatisticamente igual ao de 120 ml/h, quando são analisados apenas os casos que não foram submetidos à limpeza. Quando os valores de circularidade dos casos em que houve a limpeza da superfície, nota-se uma redução do desvio de circularidade próximo a 50 % (nos casos de 120 ml/h).

Esse fenômeno de aprimoramento dos valores da circularidade diante da aplicação da limpeza por ar comprimido é ligado justamente a redução dos efeitos do entupimento da estrutura da ferramenta de corte. Com uma estrutura mais limpa, o rebolo consegue uma eficiência de corte maior, promovendo uma qualidade final na peça semelhante ao especificado em projeto.

3.3. Microdureza

Para determinar se houve aumento de dureza na superfície retificada, mediu-se seis pontos, com três repetições em diferentes partes da amostra, partindo da superfície em direção ao centro da peça. A Fig. (6) aponta os resultados de microdureza, os quais são apresentados em um gráfico com a distância em relação a superfície retificada.

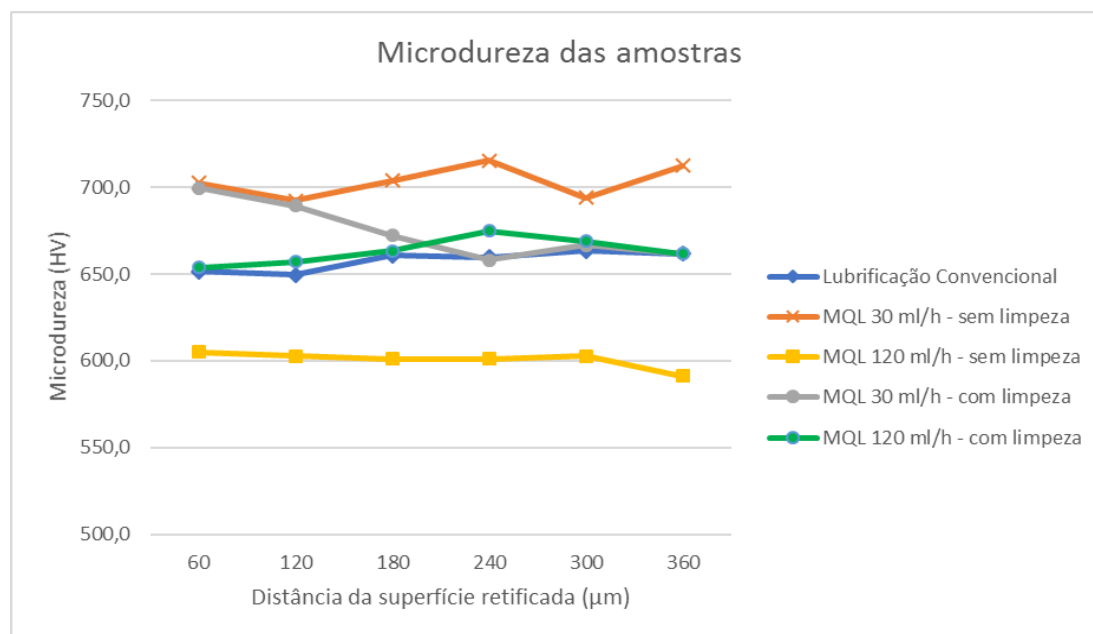


Figura 6. Microdureza das amostras em relação a distância da superfície retificada

Pela Fig. (6), a microdureza foi maior na amostra que foi usinada com MQL de 30 ml/h sem limpeza e que os resultados mostram uma tendência de que, aumentando a vazão de óleo do MQL sem limpeza, aumenta a microdureza.

Nos casos de MQL com limpeza, tanto 30 ml/h quanto 120 ml/h tiveram resultados próximos nas porções mais internas do corpo de prova, porém nos ensaios com 30 ml/h encontrou-se um pequeno aumento de microdureza da superfície em relação ao interior da peça. Já a vazão de 120 ml/h mostrou um comportamento constante na questão da microdureza.

Mesmo com essas diferenças de microdureza, não é possível afirmar que houve danos térmicos, já que está claro que não há alterações significativas da dureza entre os diferentes níveis das amostras.

4. CONCLUSÃO

A partir desse presente trabalho, pode-se concluir que:

- A limpeza da superfície do rebolo por ar comprimido é benéfica para o sistema estudado, onde auxiliou na redução dos efeitos do entupimento da estrutura do rebolo e melhorou os resultados de rugosidade e circularidade;
- A microdureza sofre influência direta pela quantidade de óleo utilizada na técnica de MQL, porém não sofreu alterações significativas nos diferentes níveis subsuperficiais das amostras. Mesmo assim, não é possível confirmar se houve dano térmico, sendo necessário um estudo micrográfico, o que tende a ser realizado nas próximas etapas da pesquisa;
- Para determinar se há alguma vazão de óleo entre 30 ml/h e 120 ml/h para a técnica de MQL que possa obter resultados superiores aos obtidos, serão realizados ensaios utilizando-se 60 ml/h, uma vazão

intermediária que tende a mostrar valores que possam ser viáveis quanto à qualidade superficial da peça e a vazão de fluido utilizado na técnica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP de Bauru - SP, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio na concessão da bolsa de Iniciação Científica (processo 2015/00754-0), à Nikkon Ferramentas de Corte Ltda., pertencente ao grupo Saint-Gobain, pela doação do rebolo de CBN, à Quimatic Tapmatic Brasil Ltda. e ITW Chemical Products Ltda. pela doação dos fluidos de corte e a todos pela oportunidade de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- ALAGUMURTHI, N., PALANIRADJA, K., SOUNDARARAJA, N. Heat generation and heat transfer in cylindrical grinding process – a numerical study, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 34, p. 474–482, 2007.
- ALVES, J. A. C., FERNANDES, U. de B., JÚNIOR, C. E da S., BIANCHI, E. C., AGUIAR, P. R., SILVA, E. J., 2009, “Application of the Minimum Quantity Lubrication (MQL) Technique in the Plunge Cylindrical Grinding Operation”, *Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas*. v. 31. No 1. Janeiro-Março.
- BOUBEKRI, N., SHAIKH, V., FOSTER, P. R. A technology enabler for green machining: Minimum quantity lubrication (MQL), *Journal of Manufacturing Technology Management*, v.21, n. 5, 2010, p. 556-566, 2010.
- CHEN, X.; ROWE, W. B.; CAI, R. “Precision grinding using CBN wheels”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 42, p.584-593, 2002.
- MALKIN, S., GUO. C. Grinding technology: theory and applications of machining with abrasives, New York: Industrial Press, p. 372, 2008.
- NGUYEN, T.; ZHANG, L.C. An assessment of the applicability of cold air and oilmist in surface grinding, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.140, No. 1-3, p. 224-230, 2003.
- OLIVEIRA, D.J., GUERMANDI, L.G., BIANCHI, E.C., DINIZ, A.E., AGUIAR, P.R., CANARIM, R.C. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air. *Journal of Materials Processing Technology* 212, 2012, p. 2559-2568.
- PUSAVEC, F.; DESHPANDE, A.; YANG, S.; M’SAOUBI, R.; KOPAC, J.; DILLON, O. W. (Jr.); JAWAHIR, I. S. Sustainable machining of high temperature Nickel alloy e Inconel 718: part 1 e predictive performance models, *Journal of Cleaner Production* 81, p.257. 2014.
- STANFORD, M., LISTER, P.M., KIBBLE, K.A., MORGAN, C. Investigation into the use of gaseous and liquid nitrogen as a cutting fluid when turning BS 970- 80A15(En32b) plain carbon steel using WCeCo uncoated tooling, *Journal of Materials Processing Technology* 54, p. 11-19, 2007.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

INFLUENCE OF MINIMUM QUANTITY OF LUBRICATION USING COMPRESSED AIR WHEEL CLEANING OF CBN GRINDING WHEEL ON CYLINDRICAL PLUNGE GRINDING OF AISI 4340 STEEL

Rafael Polato Francelin, rafaelfrancelin@gmail.com¹

Wagner Barbosa da Costa, wagner@bol.com.br¹

José Claudio Lopes, jclaudio.lopes@hotmail.com¹

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

Paulo Roberto Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br²

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Bauru. Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

²Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Bauru. Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Caixa Postal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil.

Abstract: Grinding is a cutting process through abrasion given by the action of a tool called grinding wheel, submitted to high rotations and gives the workpiece surface finish and accuracy in the dimensions, respecting the tolerance parameters presented in each Project. In the face of increasing global demand for good quality products, new technologies have been developed to meet industrial needs. The tendency is to produce parts with a high degree of geometric, dimensional tolerance and surface finish, with low cost and without degrading the environment. However, various machining processes, including grinding, use cutting fluids as a means of lubricating, cooling, cleaning and protecting the part produced. If fluid applications are not satisfactory, the high temperatures generated can produce damage to the part, such as surface burning, microstructural changes, appearance of residual stresses, shape errors and deterioration of the final quality of the part produced. Irregular discard that contaminates the environment, the generation of toxic clouds that can contaminate employees, high purchase and disposal costs are the main reasons and reinforce the need to improve this type of process. Thus, the MQL (Minimum Quantity of Lubrication) was developed, a mixture of compressed air and oil applied with high pressure, reducing drastically the use of pollutants. Thus, the MQL (Minimum Quantity of Lubrication) was developed, a mixture of compressed air and oil applied with high pressure, reducing drastically the use of pollutants. In this work two oil flows were used for the MQL technique, 30 ml / h and 120 ml / h, using a compressed air nozzle to clean the surface of the grinding wheel in an attempt to avoid tool clogging. Surface cleaning improves the results of the MQL technique, which approximate those obtained by the conventional lubrication-refrigeration technique.

Keywords: cylindrical plunge grinding, minimum quantity of lubrication, cubic boron nitride grinding wheel, AISI 4340 steel, grinding wheel surface cleaning;