

USO DA TÉCNICA MQL COM SISTEMA PARA A LIMPEZA DO REBOLO DURANTE A RETIFICAÇÃO DE AÇO ENDURECIDO COM ALUMINA

Rodrigo de Souza Ruzzi, rodrigo.ruzzi@ufu.br¹
Rosemar Batista da Silva, rosemar.silva@ufu.br¹
Ricardo Bega de Andrade, r-b-andrade@hotmail.com²
Hamilton José de Mello, hamilton@feb.unesp.br²
Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br³
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br²

¹Faculdade de Engenharia Mecânica, UFU, Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, Brasil.

²Departamento de Engenharia Mecânica, FEB/UNESP, Av. Eng. Luíz E. C. Coube, 14-01, Bauru, SP, Brasil.

³Departamento de Engenharia Elétrica, FEB/UNESP, Av. Eng. Luíz E. C. Coube, 14-01, Bauru, SP, Brasil.

Resumo: A técnica de lubri-refrigeração por Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) tem ganhando cada vez mais espaço na usinagem como alternativa às técnicas convencionais por proporcionar uma produção mais limpa. Contudo, no processo de retificação, devido às altas temperaturas e ao entupimento do rebolo com cavacos, a técnica MQL convencional ainda apresenta limitações, portanto, necessitando de aprimoramento e sendo objeto de estudos de viabilização. Neste sentido, pesquisas recentes aplicaram um sistema de ar comprimido para efetuar a limpeza dos poros de rebolos de CBN durante a retificação com MQL. E seguindo esta tendência, este presente trabalho utilizou um sistema de limpeza da superfície de corte do rebolo em rebolos convencionais de óxido de alumínio durante a retificação cilíndrica externa do aço ABNT 4340 temperado e revenido. A técnica de lubri-refrigeração MQL foi utilizada com dois fluidos de corte, LB 1100 (óleo puro) e BIOCUT 9000 (óleo diluído em água na proporção de 1:5). Ensaios com a técnica convencional de aplicação de fluido de corte foram também realizados para permitir comparações. Os resultados do acabamento superficial (rugosidade média e desvios de circularidade), bem como a análise de integridade microestrutural (microdureza e micrografia) mostraram que o sistema de limpeza juntamente com a técnica de MQL utilizando o fluido LB 1100 proporcionou um desempenho superior em relação às demais técnicas analisadas, em termos de acabamento e integridade. Com isso, os resultados mostraram que o sistema de limpeza de rebolo com rebolo de óxido de alumínio em conjunto com a técnica MQL é promissor no processo de retificação.

Palavras-chave: Retificação, Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL), Fluido de Corte, Sistema de limpeza do rebolo, Acabamento.

1. INTRODUÇÃO

O processo de retificação visa conferir à peça a combinação de um bom acabamento e tolerâncias dimensionais estreitas. A ferramenta é chamada de rebolo, compreendido de grãos abrasivos (partículas duras com arestas vivas) unidas por ligantes, que gira a alta velocidade de corte (≥ 30 m/s). A orientação dos grãos abrasivos individuais é aleatória; por consequência um grão pode encontrar a superfície da peça com um ângulo positivo, zero, ou, como é mais provável, com um ângulo de inclinação negativa. As consequências desse processo dependem da profundidade de corte (Marinescu et al., 2015).

Durante o processo de retificação, a energia é consumida para formar os cavacos por deformação plástica da peça e pela fricção entre o rebolo e a peça que está sendo usinada (Sharma et al., 2014). A maior parte desta energia é consumida na formação dos cavacos que por sua vez é convertida em calor, o que aumenta a temperatura na zona de corte. Se essa temperatura não for controlada e mantida em níveis aceitáveis, podem ocorrer danos térmicos à superfície que está sendo retificada (Hryniewicz et al., 2000). Daí a importância em se empregar fluidos de corte para arrefecer a peça, principalmente.

A aplicação de fluido de corte desempenha as funções de lubrificação do contato entre o abrasivo e a peça, refrigeração da região usinada e retirada dos cavacos da região de corte, sendo assim responsável pela minimização da geração de calor pela redução do atrito, dissipação de parte do calor gerado e limpeza dos poros do rebolo (Malkin e Guo, 2008). Em contrapartida, os fluidos de corte exigem sérios cuidados no seu manuseio no ambiente fabril, pois podem causar danos à saúde humana e ao meio-ambiente, sendo necessário um cuidado especial na armazenagem, uso e descarte a fim de não agredir o ecossistema (Byers, 2006). Tais cuidados fazem com que o custo agregado pelo processo aumente.

Partindo dessa ideia, segundo Novaski & Dörr (1999), a utilização de uma quantidade cada vez menor de fluido na região de corte representa grande importância no cotidiano, desde que não ocorra o comprometimento do resultado da

usinagem. Soković & Mijanović (2001) complementam é preciso buscar alternativas e melhorias para os processos atuais de produção, e sugerem substituir os métodos tradicionais para que seja possível obter condições de fabricação associadas ao menor impacto ambiental e que estejam tecnológica e economicamente coerentes. Sendo assim, surgiram alternativas de lubri-refrigeração, dentre elas a mínima quantidade de lubrificante (MQL).

A técnica MQL utiliza uma mistura de ar comprimido (refrigerante) e óleo (lubrificante) que são misturados e expelidos. No entanto, essa técnica que já vem sendo empregada em alternativa à técnica convencional de aplicação de fluido de corte (abundância) há mais de 20 anos em outros processos de usinagem com ferramenta de geometria definida, como o torneamento, por exemplo, tem apresentado limitações em termos de acabamento no processo de retificação. As limitações, segundo Sahm & Schneider (1996), estão associadas ao fato da formação de uma “borra” constituída de óleo e cavacos produzida durante a operação. Com isso, geralmente ocorre o entupimento nos poros do rebolo e a técnica MQL não é eficiente no sentido de promover a limpeza do rebolo. O entupimento do rebolo dificulta o corte pelos grãos abrasivos e leva a deterioração do acabamento.

E foi visando superar esta limitação da técnica MQL que Oliveira et al., (2012) realizaram um estudo em processo de retificação de ABNT 4340 (54 ± 2 HRc) utilizando um sistema de limpeza da superfície de corte do rebolo de CBN. O sistema era constituído de um jato de ar comprimido que é direcionado para o rebolo através de um bocal

Barros et al., (2014) também utilizaram um sistema de limpeza de rebolo semelhante durante o processo de retificação de ABNT 4340. O fluido de corte foi aplicado via técnica de lubri-refrigeração por MQL. Segundo os autores, a investigação deles torna o estudo da técnica de limpeza de rebolo no processo de retificação promissor e possibilita estudos de aplicações de diferentes fluidos, inclusive, aqueles que podem ser diluídos em água. O processo de retificação com MQL é considerado, ambientalmente, uma melhor alternativa pela menor quantidade de óleo que é usada. Contudo o processo pode se tornar ainda mais atrativo se parte dessa quantidade de óleo for substituída por água. Experimentos utilizando a técnica de MQL com adições de água no óleo, em várias proporções, foram realizados, na retificação de aço endurecido com rebolo de CBN, e os melhores resultados foram obtidos para a proporção de 1:5 (Belentani et al., 2014).

E neste contexto, visando explorar os benefícios que a técnica de limpeza de rebolo pode oferecer e de verificar se os bons resultados encontrados utilizando rebolos de CBN se repetem quando se utiliza rebolos convencionais de óxido de alumínio, o presente trabalho empregou o sistema de limpeza da superfície do rebolo de óxido de alumínio por jato de ar comprimido. O fluido de corte foi aplicado via a técnica de lubri-refrigeração por MQL. Dois tipos diferentes de fluidos foram testados, óleo puro e uma mistura de óleo e água na proporção 1:5. Com isso, buscou-se determinar se o sistema de limpeza de rebolo por jato comprimido aplicado em conjunto com a técnica MQL pode ser opção viável técnico-econômica e ambientalmente correta em relação a técnica MQL sem sistema de limpeza como também em relação a técnica convencional de aplicação de fluido de corte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de usinagem foram realizados em uma retificadora cilíndrica externa CNC. A operação foi do tipo externa de mergulho. O rebolo utilizado foi de óxido de alumínio com dimensões: 350 mm de diâmetro externo, 127 mm de diâmetro interno e 25,4 mm. O material da peça foi o aço ABNT 4340 temperado e revenido (58 ± 2 HRc) que foi preparado de forma que as amostras apresentassem formato de anéis de com dimensões de 58 mm de diâmetro externo, 30 mm de diâmetro interno e 4 mm de espessura que foram utilizadas para os ensaios de retificação de mergulho. Um dressador conglomerado de diamante foi utilizado para a dressagem do rebolo. A operação de dressagem foi realizada entre os ensaios de modo que cada ensaio foi realizado em uma região dressada do mesmo. As condições e parâmetros utilizados estão apresentados na Tabela 1).

Tabela 1. Condições de retificação

Tipo de retificação	Cilíndrica externa de mergulho
Rebolo	38A 150 L 6 V
Velocidade de corte (v_s) [m/s]	30
Relação de velocidade rebolo/peça (q_s)	120
Avanço radial [mm/min]	0,25; 0,50 e 0,75
Avanço por ciclo [mm]	1
Número de ciclos por ensaio	50
Material do corpo de prova	ABNT 4340 (58 ± 2 HRc)
Volume de material removido [mm ³]	1743,53
Tempo de sparkout [s]	7,5
Dressador	Conglomerado de diamante (15 x 8 x 10 mm)
Profundidade de dressagem [mm]	0,020
Velocidade de dressagem [mm/min]	Aproximadamente 200

Foram avaliadas duas técnicas de aplicação de fluido de corte: convencional (fluido em abundância) e a técnica MQL assistida pelo sistema de limpeza de rebolo (SLR). Para a técnica MQL foram testados dois tipos de fluidos de corte: o óleo puro (designado neste trabalho como MQL + SLR) e óleo e água na proporção de 1:5 (chamado neste trabalho de MQL + H₂O + SLR). Com isso foram testadas três condições de lubri-refrigeração resumidas na Tab. (2).

O sistema de aplicação de fluido pela técnica MQL era composto por um compressor de ar, um controlador de pressão, um medidor de vazão e um bocal misturador. As vazões de ar e de fluido lubrificante foram controladas separadamente pelo sistema de MQL. Já o sistema de limpeza do rebolo consistiu de um compressor de ar, medidor de pressão e bocal, sendo que o bocal foi fixado 1 mm da superfície do rebolo com um ângulo de 30° em relação ao raio do mesmo. O ar foi aplicado a uma pressão de 0,8 MPa e vazão de 480 l/min.

Tabela 2. Condições de lubri-refrigeração

Variáveis	Técnica de lubri-refrigeração		
	Convencional	MQL + SLR	MQL + H ₂ O + SLR
Fluido utilizado	ME-1	LB 1100	BIOCUT 9000
Vazão	17 l/min	Ar – 162 l/min Óleo – 150ml/h	Ar – 162 l/min Óleo – 150ml/h
Pressão	0,4 MPa	0,6 MPa	0,6 MPa
Limpeza	-	Vazão – 480 l/min Pressão – 0,8 MPa	Vazão – 480 l/min Pressão – 0,8 MPa
Diluição	1:39	-	1:5

Foram analisados três avanços radiais e três condições de lubri-refrigeração, resultando em 9 situações diferentes de corte. Foram feitas duas réplicas para cada situação a fim de se obter uma maior confiança nos resultados, totalizando assim 27 ensaios.

Como parâmetros de saída, foram analisadas a rugosidade superficial, os desvios de circularidade, a microdureza e micrografia da sub-superfície.

A rugosidade média aritmética (Ra) foi avaliada em 5 posições equidistantes para cada peça retificada através do rugosímetro Surtronic3+, da marca Taylor Hobson, utilizando um cut-off de 0,25 mm e um comprimento de medição de 1,25 mm.

Os desvios de circularidade foram avaliados em três regiões de cada peça retificada utilizando o Talyrond 31C da marca Taylor Hobson e a média aritmética utilizada para as análises e comparações.

A microdureza Vickers foi medida com o auxílio de um microdurômetro da marca Mitutoyo, modelo HM - 211, com a aplicação de carga de 300 g sobre a peça a fim de se verificar possíveis alterações microestruturais sofridas pela peça durante a usinagem. A distância utilizada entre a superfície retificada e a medição, bem como entre as medições, foi de 60 µm, 2 vezes o valor da diagonal obtida.

A região próxima à superfície usinada foi analisada através do microscópio óptico da marca Olympus, modelo BX5M, utilizando um aumento de 500x. A preparação da amostra consistiu de lixamento, polimento e ataque com Nital 1% por aproximadamente 10s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados e as discussões dos mesmos para cada condição de retificação utilizada e para cada variável de saída analisada, sendo estas: a rugosidade e os desvios de circularidade, bem como a análise da integridade microestrutural da peça após a retificação.

A retificação com a técnica convencional de lubri-refrigeração foi utilizada como referência nas discussões por se tratar de uma técnica já consolidada e amplamente aplicada nas indústrias.

Os resultados para as variáveis analisadas estão dispostos em forma de gráficos, contento a média das medições com seus respectivos desvios padrão (+1 e -1 do desvio padrão da média). O intervalo de confiança calculado entre +1 e -1 do desvio padrão da média contém aproximadamente 68% dos casos.

3.1. Rugosidade

A análise de rugosidade em peças usinadas é importante pois o o acabamento superficial afeta significativamente o limite de resistência à fadiga da peça quando sujeita a esforços mecânicos (Malkin e Guo, 2008). A Fig. (1) apresenta os valores de rugosidade média (Ra) obtidos após a retificação em função das três velocidades de mergulho (v_f) e para as condições de lubri-refrigeração testadas.

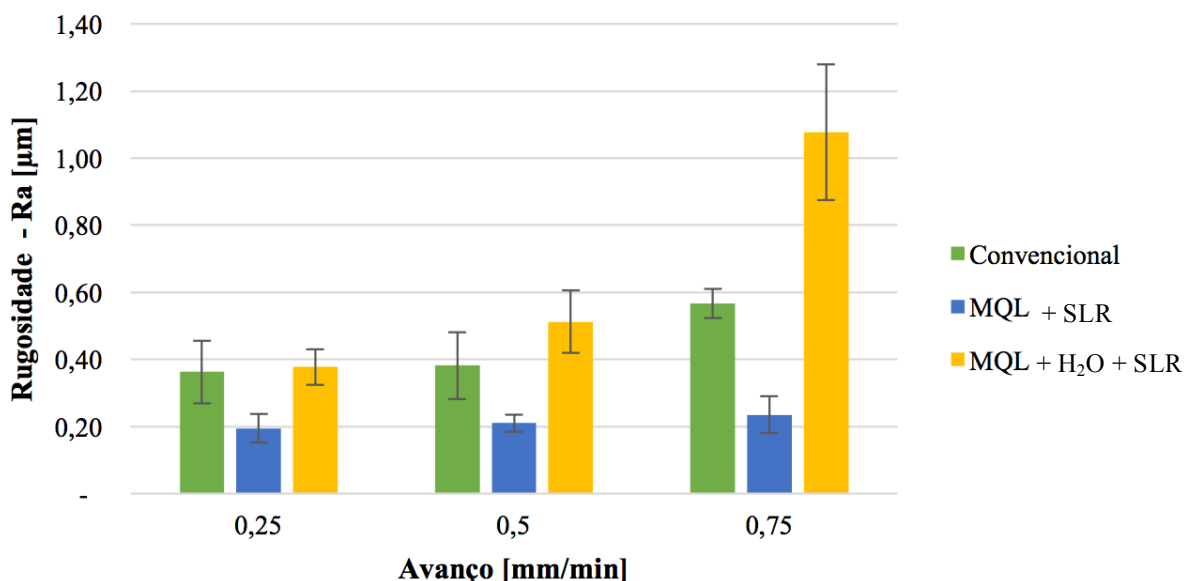


Figura 1. Rugosidade média aritmética (Ra) em função da técnica de lubri-refrigeração testada.

De acordo com a Fig. (1), os valores da rugosidade média aritmética (Ra) aumentaram com o avanço radial independente da técnica de lubri-refrigeração empregada, como esperado. Isso ocorre pelo fato de que quanto maior o avanço radial, maior e mais rápido será o avanço do rebolo contra a peça, o que resulta em uma maior quantidade de material sendo cortada da superfície da peça em uma mesma unidade de tempo (maior Q_w e heq). A rugosidade também aumenta pelas maiores forças de corte produzidas pelo avanço mais rápido que fazem com que ocorram vibrações que prejudicam o acabamento superficial (Sohal et al., 2014).

Ainda de acordo com a Fig. (1), pode-se verificar que a técnica de lubri-refrigeração por MQL com óleo puro assistida com o sistema de limpeza do rebolo proporcionou os melhores resultados de rugosidade, enquanto a técnica de MQL com emulsão de óleo e sistema de limpeza do rebolo resultou nos piores resultados. Já a técnica convencional ocupou posição intermediária. Os melhores resultados apresentados pela técnica de MQL com óleo puro em relação à técnica convencional se deve ao fato de que o MQL ser capaz de romper a barreira de ar que se forma ao redor do rebolo em rotação, o que não é possível com o uso da técnica convencional (jorro) devido às baixas pressões de fluido utilizadas. Assim, o MQL possui uma capacidade de promover uma lubrificação mais efetiva, conseguindo entregar o fluido na zona de corte (Belentani et al., 2014; Ruzzi et al., 2017). Por outro lado, ao contrário do que ocorreu em investigações em processos de retificação com rebolos de CBN nos trabalhos de Belentani et al. (2014) e Ruzzi et al. (2017), a emulsão de água e óleo aplicada via técnica de MQL apresentou o pior resultado. Silva et al. (2005) explica, com base nos seus resultados, que o rebolo de óxido de alumínio perante o CBN com a utilização da técnica de MQL convencional (óleo puro sem limpeza do rebolo) apresenta desempenho superior. Eles alegaram que houve uma melhor capacidade de penetração do lubrificante na zona de corte quando utilizados rebolos convencionais. Já no trabalho de Belentani et al. (2014), os autores atribuem o melhor resultado do fluido com maior diluição em água à menor viscosidade do mesmo, o que proporcionou, no caso do trabalho com CBN, uma melhor penetração do fluido na zona de corte. Contudo, como o óleo puro é capaz de chegar à zona de corte com o uso do rebolo de Al_2O_3 , a maior diluição, neste caso, só prejudicou a lubrificação do contato peça/ferramenta.

O uso da técnica de MQL com óleo puro e sistema de limpeza melhorou significativamente o acabamento superficial das peças, sendo que para o avanço radial de 0,25 mm/min houve queda no valor médio da rugosidade de 36 μm para 19 μm , representando aproximadamente 47%, enquanto para a situação mais severa de usinagem a queda foi ainda mais acentuada, aproximadamente 60%, ou seja de 0,57 μm para 0,23 μm . Embora os valores médios da rugosidade após a usinagem com a técnica de MQL com óleo puro e limpeza do rebolo (SLR) apresentaram uma tendência de aumentar com o avanço radial, esta tendência foi bem menor do que para as demais condições analisadas, o que permite inferir que estatisticamente não se houve diferenças significativas entre os resultados. Segundo Oliveira et al. (2012), este fenômeno deve-se ao fato de que ao utilizar o maior avanço radial, maior será a espessura de corte equivalente, o que gera um cavaco com sessão maior. Por ser maior, a chance de ser removido pelo sistema de limpeza é maior durante o processo de usinagem, melhorando assim o desempenho deste sistema.

Já com o uso da técnica de MQL com a emulsão de água e óleo e o SLR, a tendência de aumento da rugosidade com o aumento do avanço radial foi a mais acentuada. Em relação à técnica convencional de aplicação de fluido de corte, o valor médio da rugosidade apresentou um aumento de aproximadamente 5,5% (embora não tenha apresentado diferenças estatisticamente significativas) na condição mais branda, avanço radial de 0,25 mm/min, e aproximadamente 89% de aumento na condição mais severa, avanço radial de 0,75 mm/min.

3.2. Desvios de Circularidade

A Fig. (2) apresenta os valores dos desvios de circularidade obtidos após a retificação nas diferentes condições de corte técnicas de lubri-refrigeração. Pode ser observado que os valores dos desvios de circularidade aumentaram com o avanço radial, independente da técnica de lubri-refrigeração empregada, Isso pode ser explicado pelo aumento na espessura equivalente de corte e na taxa de remoção de material específica que ocorre com o aumento do avanço radial, que resulta em uma deterioração na qualidade superficial e gera uma maior quantidade de calor que causa distorções térmicas no material (Shaw, 1996).

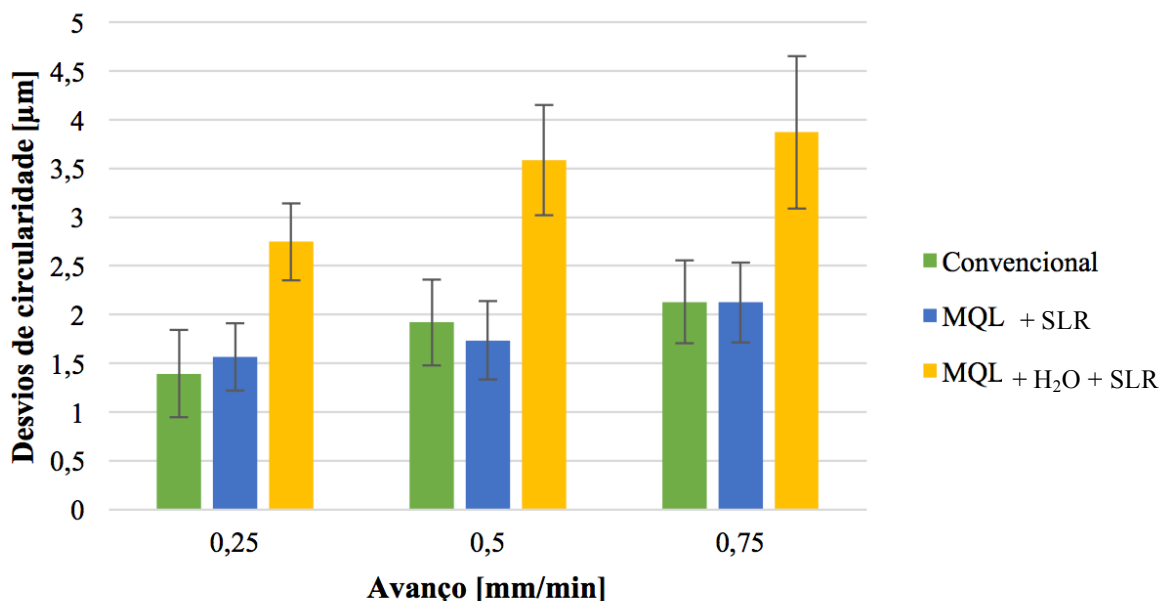


Figura 2. Desvios de circularidade para cada condição testada.

Como pode ser observado na Fig. (2), a utilização da emulsão de óleo e água aplicada via técnica de MQL com o auxílio do SLR proporcionou os maiores desvios de circularidade o que pode ser atribuído à menor lubrificação proporcionada como já citado. A melhor lubrificação do MQL com óleo puro diminuiu o atrito entre a peça e o rebolo, o que resultou em uma menor geração de calor, que segundo Ruzzi et al. (2017) reduz as distorções térmicas e consequentemente os desvios de circularidade. Por outro lado, a melhor capacidade de refrigeração provida pela técnica convencional (jorro), de acordo com Oliveira et al. (2012), proporciona uma melhor refrigeração, o que minimiza as distorções térmicas, melhorando a precisão dimensional e geométrica, e consequentemente diminuindo os erros de circularidade. Sendo assim, os melhores valores foram apresentados pelas técnicas convencional e MQL com óleo puro e SLR. Além disso, os resultados dos desvios de circularidade apresentados após o uso destas respectivas técnicas não apresentaram diferenças estatísticas para o mesmo valor de avanço radial.

Ao comparar resultados obtidos após a usinagem com a técnica de MQL com a emulsão de água e óleo e o SLR com aqueles obtidos via técnica convencional, o valor médio do desvio de circularidade apresentou um aumento de aproximadamente 98% na condição mais branda, avanço radial de 0,25 mm/min, aproximadamente 87% na condição intermediária, avanço radial de 0,50 mm/min e aproximadamente 82% de aumento na condição mais severa, avanço radial de 0,75 mm/min.

3.3. Análise da integridade microestrutural

A análise da integridade microestrutural se baseou nos resultados de microdureza Vickers e da metalografia. Na Fig. (3 (a) a (f)) são apresentadas a micrografia e a microdureza das peças retificadas com o avanço radial de 0,75 mm/min utilizando a técnica de lubri-refrigeração convencional (a e b), MQL com óleo puro + SLR (c e d) e MQL com óleo e água + SLR (e e f).

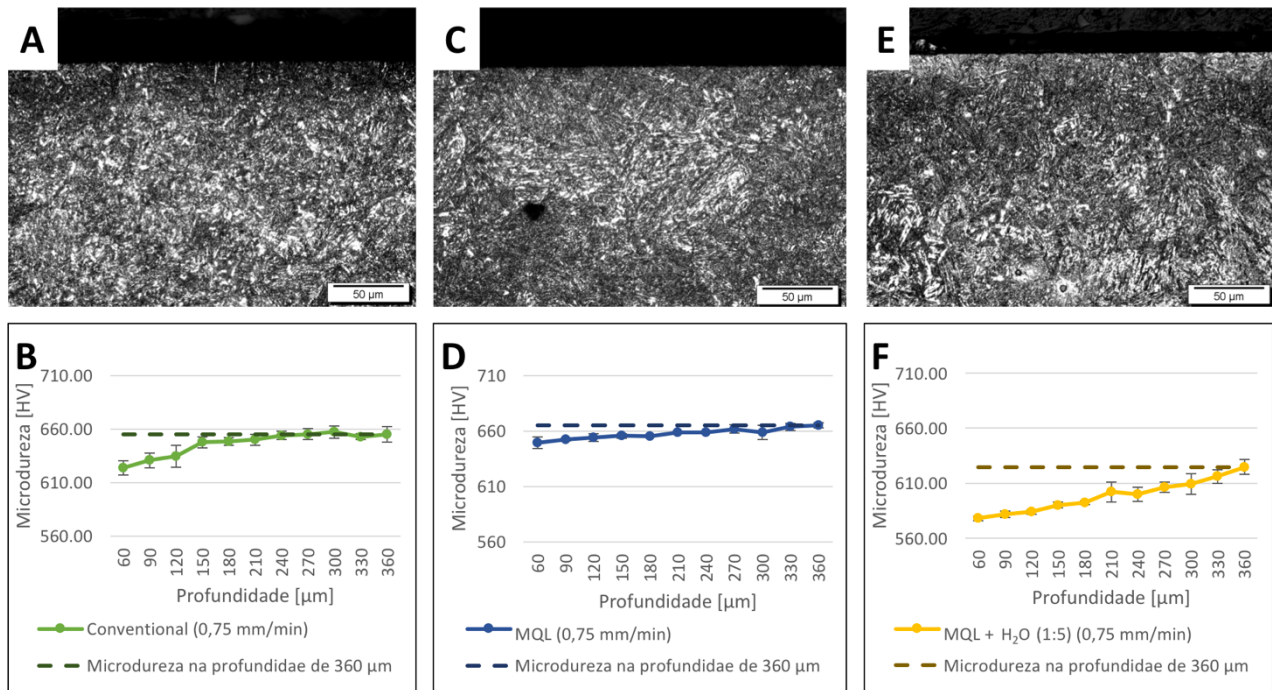


Figura 3. Micrografia e microdureza

De acordo com Malkin e Guo (2008), aços endurecidos retificados, mesmo quando nenhuma queima é detectada, apresentam, geralmente, uma diminuição na dureza na superfície usinada, devido ao efeito de super revenimento que ocorre perto da superfície. Observando a Fig. (3 (b), (d) e (f)) pode-se notar que a queda na microdureza próxima da superfície foi menor quando se utilizou a técnica de MQL com óleo puro, seguida pela técnica convencional e, por último, a técnica de MQL com óleo e água 1:5. É possível observar nas micrografias uma certa homogeneidade maior na Fig. (3c), uma região mais escura com alguns pontos brancos dispersos começando a se formar na Fig. (3a) e por fim uma região bem escura com pontos brancos maiores e ainda uma região branca na superfície da Fig. (3e). De acordo com esses resultados pode-se concluir que a condição de lubri-refrigeração utilizando MQL com óleo e água + SLR causou os maiores danos à peça, sendo que na situação mais severa (avanço radial de 0,75 mm/min) apresentou danos à peça mostrando na metalografia regiões que podem ser características de queima branca, enquanto as outras condições embora tenham apresentado queda na dureza próxima da superfície, se manteve dentro das tolerâncias.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no trabalho, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- A rugosidade média R_a das peças retificadas aumentou com o avanço radial para todas as técnicas utilizadas. A utilização da técnica de MQL com óleo puro (LB 1100) e sistema limpeza da superfície de corte do rebolo (SLR) proporcionou os menores valores, enquanto que, para um mesmo avanço radial, os maiores valores foram obtidos após a usinagem com a técnica de MQL utilizando óleo (BIOCUT 9000) e água junto com SLR. Já a técnica convencional de aplicação de fluido de corte ocupou uma posição intermediária de desempenho.
- Os desvios de circularidade, semelhantemente à rugosidade, aumentaram com o avanço radial, e os valores obtidos após a retificação com uso das técnicas convencional e MQL (óleo puro com limpeza do rebolo) não apresentaram diferenças significativas em todas as condições analisadas, enquanto os apresentados com o uso da técnica de MQL + H₂O (óleo e água com limpeza do rebolo) foram superiores em todas as condições.
- As peças retificadas com as técnicas convencional e MQL (óleo puro com sistema limpeza do rebolo) não apresentaram danos em termos de dureza. A técnica MQL + SLR resultou em menores quedas de dureza superficial, enquanto que a técnica de MQL + H₂O (óleo e água) + SLR causou danos à peça em condição mais severa de usinagem.
- De modo geral, a técnica de lubri-refrigeração de MQL utilizando óleo puro com o sistema de limpeza da superfície do rebolo foi responsável pelos melhores resultados de retificação utilizando rebolos convencionais de alumina, em todas as condições analisadas, e ela mostrou-se tão eficiente ou superior à técnica convencional nas mesmas condições.

- Devido ao pior desempenho em todas as variáveis analisadas, bem como ao dano ocorrido nas peças retificadas nas condições mais severas, o uso da técnica de lubri-refrigeração de MQL utilizando óleo e água na proporção de 1:5 + SLR com rebolo de óxido de alumínio é considerada inviável para o processo de retificação nas condições testadas. Além disso, ela não se mostrou tão eficiente como ocorreu quando foi testada em outros trabalhos em que se empregou rebolo de CBN.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado (processo 141472/2017-0), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por incentivar esta pesquisa através da bolsa de Mestrado. Agradecemos também ao grupo Saint-Gobain do Brasil – Norton, pela doação do rebolo utilizado neste projeto, bem como às empresas ITW e Quimatic Tapmatic pela doação dos fluidos de corte utilizados pelas técnicas de MQL e convencional, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

- Barros, B.G., Silva, T., Canarim, R.C., Aguiar, P.R., Bianchi, E.C., 2014. Utilization of Teflon and Aluminum Oxide for Wheel Cleaning in Minimum Quantity Lubrication (MQL) Grinding 2 . Theoretical Background. *Mater. Res.* 17, 23–32. doi:10.1590/S1516-14392013005000177
- Belentani, R.D.M., Funes Júnior, H., Canarim, R.C., Diniz, A.E., Hassui, A., Aguiar, P.R., Bianchi, E.C., 2014. Utilization of minimum quantity lubrication (MQL) with water in CBN grinding of steel. *Mater. Res.* 17, 88–96. doi:10.1590/S1516-14392013005000165
- Byers, J.P. (Org.), 2006. *Metalworking Fluids*, Second Edi. ed. CRC Taylor & Francis.
- Hryniewicz, P., Szeri, A.Z., Jahanmir, S., 2000. Coolant flow in surface grinding with non-porous wheels. *Int. J. Mech. Sci.* 42, 2347–2367. doi:10.1016/S0020-7403(99)00084-3
- Malkin, S., Guo, C., 2008. *Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives*, Second Edi. ed. Industrial Press, New York, NY.
- Marinescu, I.D., Rowe, B., Ling, Y., Wobker, H.G., 2015. Abrasive Processes, in: *Handbook of Ceramics Grinding and Polishing*. Elsevier Inc., p. 67–132. doi:10.1016/B978-1-4557-7858-4/00003-0
- Novaski, O., Dörr, J., 1999. Usinagem quase a seco. *Máquinas e Met.* 34–41.
- Oliveira, D.D.J., Guermendi, L.G., Bianchi, E.C., Diniz, A.E., Aguiar, P.R., Canarim, R.C., 2012. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning. *J. Mater. Process. Technol.* 212, 2559–2568. doi:10.1016/j.jmatprotec.2012.05.019
- 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., 2017. MQL with water in cylindrical plunge grinding of hardened steels using CBN wheels, with and without wheel cleaning by compressed air. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 90, 329–338. doi:10.1007/s00170-016-9396-4
- Sahm, D., Schneider, T., 1996. The production without coolant is interesting and must be more know. *Mach. Met. Mag.* 367, 38–55.
- Sharma, V.S., Singh, G., Sørby, K., 2014. A Review on Minimum Quantity Lubrication for Machining Processes. *Mater. Manuf. Process.* 30, 935–953. doi:10.1080/10426914.2014.994759
- Shaw, M.C., 1996. Energy Conversion in Cutting and Grinding*. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 45, 101–104. doi:10.1016/S0007-8506(07)63025-X
- Silva, L.R., Bianchi, E.C., Catai, R.E., Füsse, R.Y., França, T.V., Aguiar, P.R., 2005. Study on the behavior of the minimum quantity lubricant - MQL technique under different lubricating and cooling conditions when grinding ABNT 4340 steel. *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.* 27, 192–199. doi:10.1590/S1678-58782005000200012
- Sohal, N., Sandhu, C.S., Panda, B.K., 2014. Analyzing the Effect of Grinding Parameters on MRR and Surface Roughness of EN24 and EN353 Steel. *Mech. Confab* 3, 1–6.
- Soković, M., Mijanović, K., 2001. Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes. *J. Mater. Process. Technol.* 109, 181–189. doi:10.1016/S0924-0136(00)00794-9

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

UTILIZATION OF THE MQL TECHNIQUE WITH A GRINDING WHEEL CLEANING SYSTEM DURING GRINDING OF HARDENED STEEL WITH ALUMINA

Rodrigo de Souza Ruzzi, rodrigo.ruzzi@ufu.br¹

Rosemar Batista da Silva, rosemar.silva@ufu.br¹

Ricardo Bega de Andrade, r-b-andrade@hotmail.com²

Hamilton José de Mello, hamilton@feb.unesp.br²

Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br³

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br²

¹School of Mechanical Engineering, UFU, Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, Brazil.

²Department of Mechanical Engineering, FEB/UNESP, Av. Eng. Luíz E. C. Coube, 14-01, Bauru, SP, Brazil.

³Department of Electrical Engineering, FEB/UNESP, Av. Eng. Luíz E. C. Coube, 14-01, Bauru, SP, Brazil.

Abstract: The cooling-lubrication technique of MQL (Minimum Quantity of Lubricant) is increasingly gaining space in the machining as an alternative to conventional techniques to achieve cleaner production. In the grinding process, however, due to the high temperatures and the clogging of the grinding wheel, it has encountered difficulties and is the subject of feasibility studies. Recent research has applied a compressed air system to clean the surface of CBN grinding wheels during grinding with MQL. Thus, the present work applied a cleaning system of the conventional aluminum oxide grinding wheel cutting surface during the external cylindrical grinding of quenched and tempered AISI 4340 steel with the MQL cooling-lubrication technique using the fluids LB 1100 (pure oil) and BIOCUT 9000 (oil with water in the proportion of 1: 5). The results of the surface finish (surface roughness - Ra and roundness errors) as well as the microstructural integrity analysis (microhardness and metallography) showed that the MQL technique, using the LB 1100 fluid and the cleaning system, performed better than the others techniques analyzed, producing workpieces with a better finish and quality, thus showing the potential of the use of this technique in the grinding process.

Keywords: Grinding, Minimum Quantity of Lubricant (MQL), Cutting fluid, Grinding wheel cleaning system.