

APRIMORAMENTO TECNOLÓGICO DA TÉCNICA DA MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICAÇÃO NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA DE MERGULHO DE AÇOS ENDURECIDOS COM REBOLO DE CBN.

Luiz Gustavo Guermandi, luiz_guermandi@hotmail.com¹

Matheus Gonçalves Pereira, ra711756@feb.unesp.br¹

Danilo de Jesus Oliveira, daniloliv@gmail.com.br²

Anselmo Eduardo Diniz, anselmo@fem.unicamp.br³

Paulo Roberto Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br⁴

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

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

²Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Bauru. Faculdade de Ciências de Bauru, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

³Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Engenharia Mecânica. Cidade Universitária "Zeferino Vaz". Distrito de Barão Geraldo. 13081-970 - Campinas, SP, Brasil

⁴Universidade Estadual Paulista – UNESP- *Campus* de Bauru. Faculdade de Engenharia de Bauru. Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

Resumo: *Esta pesquisa buscou avaliar, tecnicamente, a aplicação de ar comprimido, por meio de bocais, na superfície de corte do rebolo, juntamente com a técnica da mínima quantidade de lubrificação (MQL), na retificação cilíndrica externa de mergulho de aços endurecidos com rebolo de CBN, com o objetivo de eliminar o entupimento dos poros da ferramenta abrasiva durante a usinagem, devido à união dos cavacos gerados e óleo do sistema MQL. Para isso, considerou-se a qualidade do processo, de forma a verificar a viabilidade da substituição dos tradicionais fluidos em abundância pelo MQL com a limpeza. Os métodos de lubri-refrigeração propostos foram o convencional e MQL com limpeza por meio do ar comprimido, variando o ângulo de incidência desse ar na superfície de corte do rebolo. As análises foram realizadas nas mesmas condições de usinagem, através da medição das variáveis de saída do processo de retificação; rugosidade, desgaste diametral do rebolo e circularidade. Os resultados mostraram a possibilidade de implementação da técnica da limpeza como um aprimoramento tecnológico da mínima quantidade de lubrificante, na retificação, a fim de reduzir o uso dos fluidos de corte. A técnica MQL com limpeza para um ângulo específico de incidência do ar comprimido, mostrou-se extremamente eficiente com a obtenção de valores de rugosidade, em especial, menores que os obtidos com a lubri-refrigeração convencional. Com isso, a possibilidade de substituição dos fluidos de corte por essa nova técnica, permitirá as indústrias, evitar gastos excessivos com manuseio e descarte de fluidos de corte, além de reduzir os impactos ao meio ambiente e à saúde humana.*

Palavras-chave: *Rebolo de CBN, entupimento, MQL, retificação, meio-ambiente.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Komanduri et al (1997) o uso dos abrasivos é aplicado na produção de componentes de maior qualidade em termos de forma, integridade e acabamento superficial. De acordo com de Ren et al (2009), a retificação é um processo de usinagem por abrasão, no qual a remoção do material é realizada pela interação entre o abrasivo e a peça. O trabalho de Anderson et al (2008), relata que é neste processo, tipicamente de acabamento, que serão corrigidos eventuais problemas gerados em processos anteriores, e onde erros podem custar caro.

Conforme Alagumurthi et al (2007), retificar designa uma usinagem energeticamente intensa. Uma grande quantidade de energia é requerida por unidade de material removido, comparado aos outros processos de usinagem, sendo esta da ordem de uma à duas vezes maior. Em função da combinação das inúmeras arestas de corte e as altas velocidades, principalmente, é consumida grande quantidade de energia e essa energia é dissipada em forma de calor. O calor gerado na área de contato entre rebolo e peça é causa principal da deteriorização das propriedades metalúrgicas da peça, da qualidade superficial, precisão dimensional e vida do rebolo. O trabalho de Guo et al (2003) ainda enfatiza

que, no processo de remoção do material, o calor irá gerar deformação térmica na máquina e na peça e, então, a precisão da usinagem fica limitada. Entretanto, se lubrificantes, como os fluidos de corte, são aplicados, o calor pode ser reduzido pela diminuição do atrito e, com isso, as forças serão menores e a tensão residual também.

No entanto, Novaski & Dörr (1999) afirmam que a utilização de uma quantidade cada vez menor de fluido na região de corte, desde que não ocorra o comprometimento da usinagem, representa grande importância financeira. O custo da refrigeração convencional segundo estes autores pode chegar a 17% do custo total do processo.

Como a consciência ambiental é requerida, a fim de reduzir os impactos no ambiente de trabalho e no meio ambiente global, associada às reduções de custos relacionados com fluidos de corte, surgiram alternativas de lubri-refrigeração, entre elas a mínima quantidade de lubrificante (MQL), já que a retificação a seco não é muito conveniente em função da geração excessiva de calor, segundo Dudzinski et al (2004) apud Weinert et al (2004). Essa técnica usa uma mistura de ar comprimido (refrigerante) e óleo (lubrificante), o que reduz o fluxo de fluido de corte, que é misturado ao ar e expelido a alta pressão. Assim, diminui-se consideravelmente o consumo de fluido de corte.

Entretanto, Sadeghi et al (2009) mostra que, quando se usa ferramenta abrasiva, uma redução no uso de fluidos de corte gera uma dificuldade em manter os poros do rebolo limpos, favorecendo a tendência de entupimento, o que gera o decréscimo da potencialidade de corte dos rebolos. De acordo com Di Ilio & Paoletti (1999), este entupimento dos poros do rebolo aumenta as forças, acelera a degradação da superfície do rebolo e promove alta rugosidade nas superfícies retificadas.

Como o MQL usa baixo fluxo de fluido, não é conseguida uma limpeza eficiente usando essa técnica, pois, ao invés de os cavacos serem expelidos, eles se misturam ao fluido do MQL e originam uma “borra” de óleo com cavacos que aderem à superfície de corte da ferramenta, entupindo seus poros.

O presente trabalho visa apresentar uma solução a esse problema, empregando juntamente com a técnica MQL jatos de ar comprimido para a limpeza da ferramenta de corte, a fim de promover a redução da formação desta “borra”, proporcionando um aprimoramento da técnica MQL, tornando-a mais eficiente e promissora.

1.1 Aplicação dos Fluidos de Corte na Retificação

Segundo Pawlak et al (2004), os fluidos de corte são aplicados na usinagem dos materiais com o propósito de reduzir, através da lubrificação, as características dos processos tribológicos que estão sempre presentes na superfície de contato entre a peça e a ferramenta e também reduzir o calor na região de corte através da refrigeração.

De acordo com Stanford et al (2007) e Tawakoli et al (2007), os fluidos de corte também promovem propriedades anticorrosivas à peça e à máquina ferramenta, transportam os cavacos gerados e promovem a limpeza do rebolo.

Uma vez usado, o fluido de corte contém pequenas partículas de materiais, como pedaços do rebolo, cavacos e outras impurezas. Em função disso, depois de certo tempo, por causa da contaminação todo fluido deve ser trocado e descartado. Entretanto, esse descarte feito de forma indevida é prejudicial ao meio ambiente.

Em função disso, Dhar et al (2007) afirma que, apesar das vantagens tecnológicas que os fluidos de corte promovem, ultimamente vêm sendo questionados os efeitos negativos que eles causam, ou seja, além das agressões ambientais, também problemas relacionados à saúde do trabalhador. Dessa forma, Sokovi & Mijanovic (2001) relataram que as empresas estão sendo forçadas a implementar estratégias de refrigeração menos nocivas no processo de usinagem.

Assim, Tawakoli et al (2007) mostra que uma das estratégias para promover diminuição do uso de fluidos de corte é otimizar o fluxo de fluido, situação que ocorre com o uso da mínima quantidade de lubrificante.

1.2 A Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante

De acordo com Obikawa et al (2006), a mínima quantidade de lubrificante (MQL) é definida como uma pequena quantidade de óleo misturada com ar comprimido e direcionada diretamente na região de corte, evitando as inundações de óleo observadas na refrigeração convencional.

No MQL, o aerosol pode ser entendido como inúmeras gotículas de óleo dispersas em um jato de ar, onde essas gotículas são carregadas pelo ar diretamente na zona de retificação, proporcionando eficiente lubrificação. Os fluidos de corte convencionais, devido ao uso de aditivos, não conseguem entrar diretamente na zona de corte, sendo o MQL é mais eficiente, nesse aspecto.

Segundo Attanasio et al (2006), uma das vantagens do MQL é o fato de ao fim da retificação, o cavaco, peça e ferramenta apresentam menor resíduo de fluido, sendo a limpeza dos mesmos mais fácil e econômica. Além do mais, durante a usinagem, como a peça não é totalmente coberta com fluido, é fácil de ser observada. Na mínima quantidade de lubrificante é usado baixo volume de fluido, ou seja, ao invés da ordem de litros são usados milésimos de litro, aproximadamente de $2,0 \cdot 10^{-9}$ a $2,7 \cdot 10^{-8}$ m³/s a uma pressão de $4,0 \cdot 10^4$ a $6,0 \cdot 10^4$ Pa.

Conforme o trabalho de Hafenbraedel & Malkin (2001), apesar de o MQL promover lubrificação eficiente, redução da energia de retificação e da energia específica para um nível de comparação com os fluidos de corte (óleos solúveis) em situações não muito severas de usinagem, os valores de rugosidade alcançados não são relativamente bons.

Para Brinksmeier (1996), um grande desafio da técnica da mínima quantidade de lubrificação está na refrigeração, sendo problemática sua aplicação em situações onde se necessita de alta refrigeração, como no caso da retificação.

1.3 Fenômeno do Entupimento do Rebolo

Wang et al (2000) afirma que, quando a energia no contato rebolo/peça gera um aumento na temperatura, isso implica em uma maior tendência de aderência de partículas metálicas nos poros da ferramenta abrasiva. Com isso, irá ocorrer uma elevação ainda maior de temperatura, causando danos térmicos como a queima superficial da peça e além de piorar o acabamento e aumentar o desgaste do rebolo. Portanto, conforme Salmon (1992), quanto menor a energia específica associada ao processo, menor a chance de danos ao trabalho

Cameron & Warkentin (2009) apud Ge et al (2003) explicam a fenomenologia do entupimento do rebolo da seguinte forma: quando o cavaco gerado no processo de retificação não é totalmente removido da zona de corte por meio do fluido refrigerante, esses cavacos alojam-se nos poros do rebolo, não deixando os fluidos entrarem perfeitamente na zona de corte e, dessa forma, dificultando ainda mais a limpeza. Esses cavacos alojados na superfície de corte do rebolo afetam a eficiência e qualidade da operação de retificação, pois a única operação de corte será a deformação elástica e plástica. Quando isso ocorrer, a energia inicial do processo irá subir e o calor na zona de corte também.

Conforme Sinot et al (2006), certas ligas são caracterizadas de difícil usinabilidade, pois entopem os poros do rebolo facilmente quando partículas metálicas são comprimidas e aderidas nos espaços entre os grãos. Com altas taxas de remoção, o fenômeno é mais acentuado e alguns rebolos estão sujeitos a entupir mais e outros menos.

Esse mesmo autor ainda descreve, em seu trabalho, duas maneiras de evitar o entupimento: usar um rebolo com uma estrutura aberta, mas isso pode aumentar a probabilidade da fratura do ligante; ou redressá-lo, o que aumenta o custo do processo. Um método alternativo aos anteriores é usar a limpeza com o próprio fluido de corte.

A Figura (1) apresenta uma análise em microscópio da superfície de corte de um rebolo entupido com cavacos (aumento de 100X).

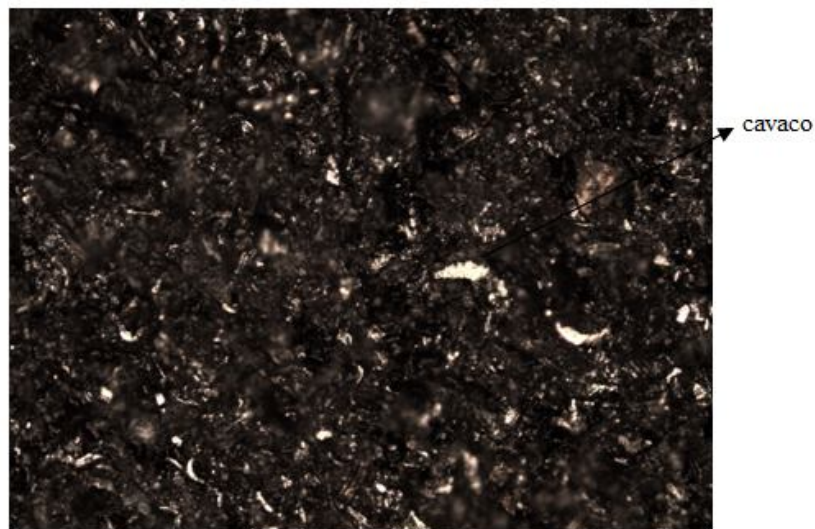


Figura 1. Superfície de corte do rebolo com cavacos aderidos.

1.4 Perspectivas do Jato de Ar Comprimido para a Limpeza

Conforme o trabalho realizado por Lee et al (2002) na retificação de canais em peças, o jato de ar comprimido é uma alternativa para reduzir o fenômeno do entupimento, pois o ar incide no rebolo e retira grande parte das impurezas que aderiram à ferramenta, segundo a Fig. (2). Além disso, segundo Li & Seah (2003), no trabalho com torneamento, o ar comprimido promove certo efeito lubrificante que não deixa as impurezas direcionarem-se e aderirem à ferramenta. Dessa forma, quanto menor for a pressão do ar, menor será seu efeito de limpeza.

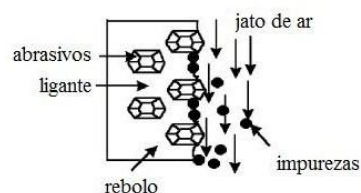


Figura 2. Efeito do jato de ar comprimido estudado na retificação de canais por Lee et al (2002).

Li & Seah (2003) apud Lee et al (2002) concluíram que é conseguido um aumento na profundidade de corte decorrente da diminuição do desgaste da ferramenta e, além do mais, é possível obter maior qualidade de forma geométrica e superficial, ou seja, melhores valores de rugosidade com a utilização de jatos de ar comprimido para a limpeza da ferramenta de corte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em uma retificadora cilíndrica SULMECÂNICA, modelo RUAP 515H, equipada por um comando numérico.

O rebolo utilizado foi de CBN com ligante vitrificado e dimensões 350 mm de diâmetro externo, 127 mm de diâmetro interno, 20 mm de largura e 5 mm de espessura de material abrasivo, cujo código é SNB151Q12VR2, da empresa Nikkon Ferramentas de Corte LTDA.

Os corpos de prova consistem em anéis aço de ABNT 4340, temperado e revenido (54 HRC de dureza média), com diâmetro externo de 54 mm, diâmetro interno de 30 mm e espessura de 4 mm.

O fluido de corte utilizado no método convencional de refrigeração foi óleo solúvel semi-sintético QUIMATIC ME-I, com concentração de 2,5%, sendo este aplicado a uma vazão de $2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Neste fluido de corte há, na sua composição, anticorrosivos, biocidas, fungicidas, alcalinizantes, antiespumantes, tensocitivos não iônicos, alcanolomidas, entre outros.

O equipamento de MQL é composto por: compressor, regulador de pressão, medidor de vazão de ar e bocal. Nesse experimento, a vazão do ar possuía uma pressão de $6,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e a vazão do fluido de corte $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$. O aplicador utilizado nesta pesquisa foi o ITW Accu-lube 79053D de micro-lubrificação, fornecido pela empresa ITW Chemical Products Ltda. Esse equipamento usa um sistema pulsante de fornecimento do óleo e permite a regulagem da vazão de ar comprimido e lubrificante de maneiras separadas. A vazão de ar comprimido era monitorada com auxílio de um medidor de vazão do tipo turbina modelo SVTG12/12BA4A44BS fornecido pela empresa CONTECH e calibrado a uma pressão de $8,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

O sistema para limpeza do rebolo é composto por: compressor, medidor de vazão e pressão de ar comprimido, distribuidor de fluxo e bocais. A vazão do ar foi $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ e a pressão para cada bocal foi $7,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. O aparelho utilizado na medição da vazão do ar comprimido era um aparelho Siemens SITRANS - P, fornecido pela empresa Digitrol.

Para cada ensaio foram utilizados 3 corpos de prova. Usaram-se duas velocidades de avanço distintas. Para cada velocidade foram feitos ensaios com quatro diferentes técnicas de lubri-refrigeração: a refrigeração convencional (fluido em abundância) e MQL mais a limpeza com três variações do ângulo de incidência do jato de limpeza na superfície de corte do rebolo. Com referência ao trabalho de Cameron & Warkentin (2009), foram definidos três ângulos de incidência, perpendicular, tangencial e 30 graus em relação ao perpendicular, como na Fig. (3). O trabalho destes autores investigou a limpeza da superfície do rebolo com fluido de corte para esses ângulos de incidência.

O bocal de limpeza foi fixado na posição a uma distancia de 1mm da superfície de corte do rebolo.

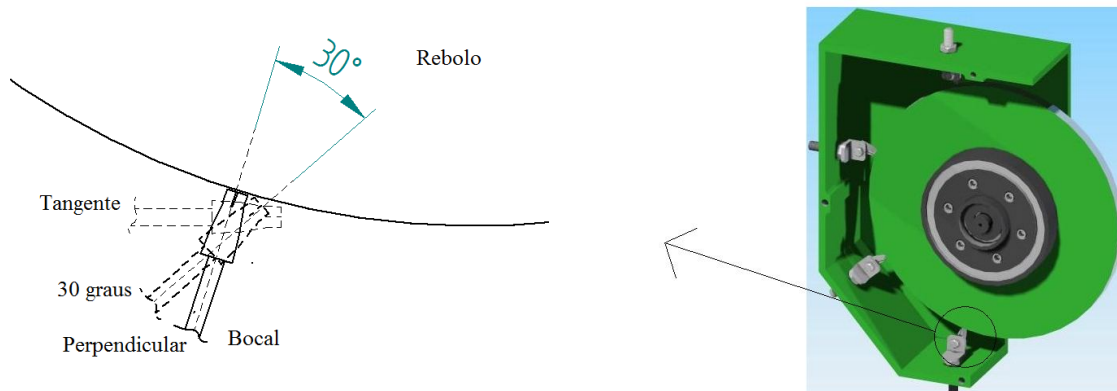


Figura 3. Desenho esquemático das orientações do bocal de limpeza.

A medição da rugosidade foi realizada no parâmetro R_a por meio de um rugosímetro da Taylor Hobson, modelo Surtronic 3+. Os valores de rugosidade apresentados nos resultados são médias de 5 leituras em posições diferentes, com os respectivos desvios-padrões, para cada um dos 3 corpos de prova usados para cada condição de lubri-refrigeração.

A medição do desgaste do rebolo foi feita usando um corpo de prova cilíndrico de aço ABNT 1020 para impressão do rebolo. Essa medição foi possível devido a não utilização da largura total do rebolo, onde a largura do rebolo utilizável era de 15 mm e a largura da peça 4 mm. Desta forma o ressalto produzido no rebolo após o ensaio possibilitou

a marcação do desgaste no corpo de prova cilíndrico. A obtenção do desgaste diametral foi feita por meio de um programa, do rugosímetro Surtronic 3+, de projeção e medição de perfil. Foram feitas cinco medições em cada peça de cada ensaio.

As medições de circularidade foram obtidas para todos os ensaios, sendo feitas 5 medições em posições diferentes dos corpos de prova retificados. A medição do desvio de circularidade foi realizada em uma máquina específica para controle de tolerâncias geométricas Tayrond 31c marca Taylor Hobson.

Para os ensaios foram estabelecidas as seguintes condições de usinagem: velocidades de mergulho (v_f) de 0,25 mm/min e 0,5 mm/min, velocidade de corte (v_s) de 30 m/s, tempo de centelhamento (t_s) igual a 8 segundos, largura de retificação de 4 mm, profundidade de dressagem (a_d) de 0,02 mm, onde a condição de dressagem foi mantida constante, usando um dressador multigranular, tipo fliese.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados de rugosidade, desgaste diametral do rebolo e circularidade para cada técnica de lubri-refrigeração utilizada. Para análise, construíram-se gráficos e calcularam-se os respectivos desvios padrões, os quais foram inseridos juntamente com os valores médios reais das três repetições executadas. Nos gráficos de barras são comparadas as diversas condições de lubri-refrigeração; a convencional e o MQL mais a limpeza com os respectivos ângulos de inclinação do bocal de limpeza. Assim a condição de referência será a refrigeração convencional, muito utilizada na indústria, e com a qual os outros resultados são comparados.

3.1 Rugosidade

A Figura (4) mostra os resultados obtidos para a rugosidade média (R_a).

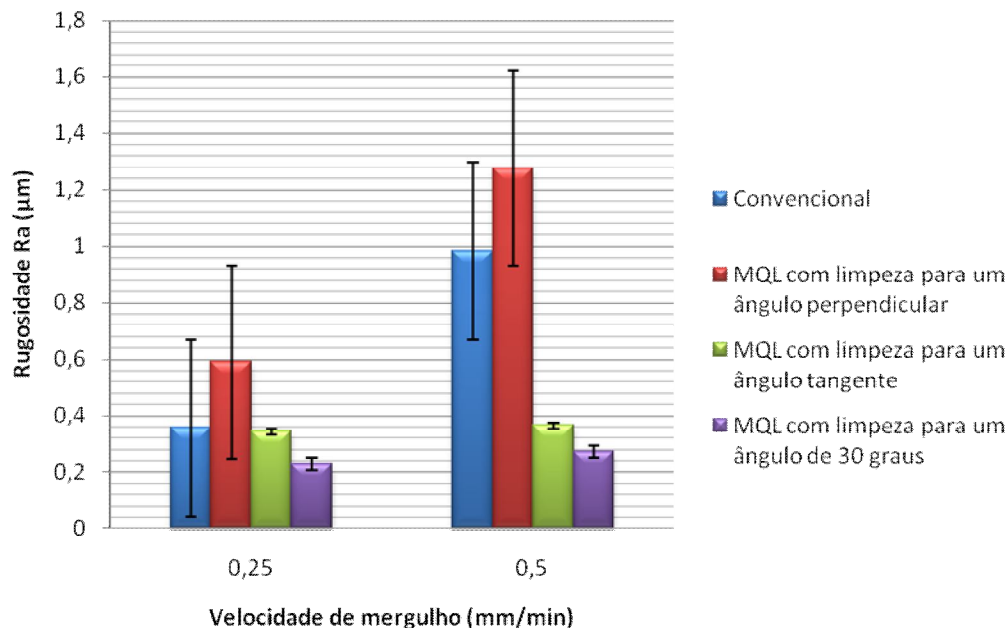


Figura 4. Comparação dos resultados de rugosidade das diferentes formas de lubri-refrigeração.

Analisando-se estes resultados, verifica-se que, para a velocidade de avanço (mergulho) 0,25 mm/min, as melhores condições, em termos de menores valores de rugosidade média, foram o MQL com limpeza para um ângulo de 30 graus e tangente. Para a velocidade de 0,5 mm/min, as melhores condições foram as mesmas da velocidade 0,25 mm/min.

Dessa forma, verifica-se que a eficiência do sistema de limpeza por meio do ar comprimido é uma função da velocidade periférica do rebolo e do ângulo de incidência desse ar, já que a pressão e vazão do sistema foram mantidas constantes. Isso ocorre, pois o fenômeno da limpeza se dá pela soma vetorial de velocidades, a periférica do rebolo e a do ar comprimido, sendo a velocidade do ar comprimido dependente de seu ângulo de incidência. Assim, quanto mais eficiente essa combinação de velocidade será gerada uma resultante que transferirá uma maior quantidade de movimento à “borra”, promovendo sua maior remoção. Nas variações de inclinação analisadas, a condição de inclinação de 30 graus promoveu um maior deslocamento da “borra” limpando melhor a superfície do rebolo, reduzindo a rugosidade do corpo de prova.

Ainda pela análise da Fig. (4), apesar da condição de lubri-refrigeração convencional ter um maior fluxo de fluido e eliminar parte dos cavacos da zona de corte mais eficientemente em comparação ao MQL sem limpeza, como se descreve na literatura, as limpezas mais eficientes foram melhores em termos de rugosidade em relação ao

convencional. Com isso, pode-se afirmar que mesmo no convencional os cavacos ainda acabam se alojando nos poros do rebolo, o que é natural do processo de retificação. Com a limpeza por meio do ar comprimido a proporção de cavacos nos poros foi menor, pois a rugosidade dessa condição de limpeza é menor comparada a da lubri-refrigeração convencional.

Com o aumento da velocidade de avanço, é natural que a situação de corte fique mais agressiva, agravando os processos de entupimento. Entretanto, para as condições mais eficientes de limpeza, mesmo aumentando a velocidade de avanço, as variações de rugosidade foram pequenas.

Por meio da análise dos resultados de rugosidade, a maioria dos valores encontra-se abaixo de 0,8 Ra (μm), valores típicos em peças acabadas na retificação.

3.2 Desgaste Diametral do Rebolo

A Figura (5) mostra os resultados obtidos para o desgaste diametral do rebolo.

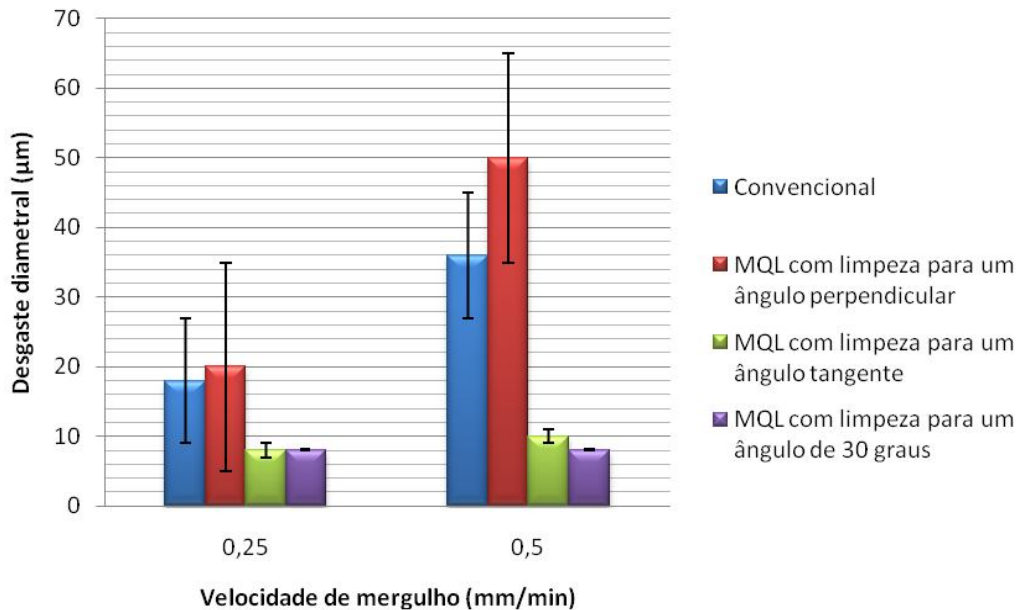


Figura 5. Comparação dos resultados de desgaste diametral do rebolo para diferentes formas de lubri-refrigeração.

No caso do desgaste diametral do rebolo, observa-se que este também se dá em função da velocidade periférica da ferramenta abrasiva e do ar comprimido, assim como a rugosidade.

Através da análise desses resultados, na velocidade de 0,25 mm/min o menor desgaste foi para as condições de MQL mais limpeza para o ângulo tangente e de 30 graus, em comparação ao convencional. Para a velocidade de 0,5 mm/min, o menor desgaste foi para as condições MQL com limpeza para um ângulo de 30 graus. De uma forma global, para as duas velocidades o ângulo de 30 graus foi o melhor.

Nota-se, além do mais, uma coerência entre o desgaste diametral e a rugosidade para ambas as velocidades, ou seja, quando a rugosidade fica maior o desgaste também é maior e quando esta se torna menor, o desgaste também diminui. Também se verifica coerência nos resultados de desgaste quanto ao aumento da velocidade de mergulho, pois quanto maior a velocidade de mergulho maior a rugosidade e o desgaste diametral do rebolo.

Comparando as condições de limpeza tangente e 30 graus, as mais eficientes para as duas velocidades de mergulho, observa-se que, com o aumento da velocidade de mergulho, a variação do desgaste foi bem pequena ou nenhuma, respectivamente. Relacionando essas condições mais eficientes de limpeza com a convencional o desgaste diametral foi reduzido em grande escala, pois nestes casos, assim como na rugosidade, têm-se as melhores somas vetoriais de velocidades do ar e periférica do rebolo, o que resultará na melhor expulsão da borra de óleo da superfície de corte do rebolo, influenciando, assim, em menor esforço e menor solicitação térmica do ligante, já que os poros estão mais limpos e, com isso, não há desgaste por desprendimento do grão.

3.3 Circularidade

Na Figura (6) estão demonstrados os resultados obtidos para o desvio de circularidade.

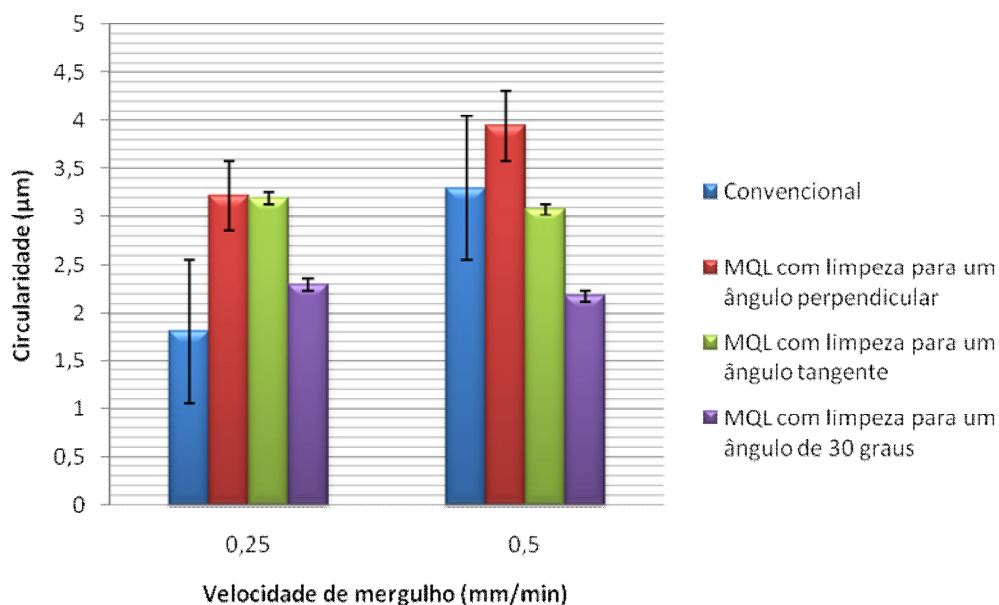


Figura 6. Comparação dos resultados de circularidade para diferentes formas de lubri-refrigeração.

Pode-se verificar que a melhor condição obtida para a velocidade de 0,25 mm/min foi o MQL mais limpeza para um ângulo de 30 graus. Já para a velocidade de 0,5 mm/min, a melhor condição também foi a mesma. Houve também neste caso a tendência de variação dos resultados com a variação da velocidade de mergulho, como se esperava.

A influência das velocidades de incidência do ar comprimido e periférica do rebolo também se verifica na medida de circularidade. Entretanto, um ponto interessante notado é que, mesmo com o aumento, apesar de pouco significativo, para a rugosidade das condições mais eficientes, a tangente e 30 graus, da velocidade 0,25 mm/min para a velocidade 0,5 mm/min, a circularidade diminuiu, ou seja, variou inversamente em relação à rugosidade, apesar de ser uma variação extremamente pequena também. Isso ocorreu, pois a circularidade é uma grandeza mais sensível à rigidez do processo, ou seja, máquina, ferramenta, peça, entre outros.

No entanto, de forma geral, para as condições mais eficientes de rugosidade, têm-se as mesmas para a circularidade, onde mesmo variando a velocidade de avanço os valores ficaram bem próximos.

3.4 Fenomenologia do Entupimento dos Poros do Rebolo e a Influência nas Qualidades Superficiais, de Forma e Desgaste do Rebolo

Com a concentração de cavacos nos poros, estes riscam a peça, pois, assim como os grãos, eles também acabam entrando em contato com a peça. Com isso, há aumento da rugosidade e prejuízos na qualidade superficial da peça. Além do mais, a pressão exercida em cada grão aumenta, pois os cavacos em contato com a peça recebem uma pressão de corte, o que aumenta a pressão nos grãos abrasivos que se soltam do ligante. Outro fator predominante é a concentração de calor nos poros do rebolo por meio do cavaco e do óleo, já que grande parte do calor gerado no corte seria expulso pelo cavaco. Esse fato acelera o desgaste do ligante por solitação térmica.

Partindo desses princípios, segundo Shaw (1996), variando-se a velocidade de avanço, esses problemas se agravam, pois tal velocidade é diretamente proporcional à espessura equivalente de corte.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise dos resultados, pode-se concluir que:

Os uso do técnica de lubri-refrigeração MQL associada a um jato de ar comprimido para limpeza da superfície de corte do rebolo com ângulo de incidência de 30 graus, propiciou melhores resultados em todas as variáveis analisadas, quando comparados a lubri-refrigeração convencional.

Com a variação da velocidade de mergulho o desempenho superior desta condição se manteve, evidenciando que o uso do MQL com o jato de limpeza na incidência adequada possibilita aumentar os parâmetros de corte, reduzindo os tempos de usinagem, mas mantendo os mesmos padrões de qualidade obtidos no método convencional.

A drástica redução da quantidade de fluido alcançada, a melhoria da rugosidade e circularidade, e a diminuição do desgaste do rebolo, com o uso desta técnica, indicam que este aprimoramento das condições de lubri-refrigeração na retificação pode reduzir os insumos e os impactos ambientais e à saúde dos trabalhadores, tornando este processo de fabricação mais limpo, rápido e econômico.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelos recursos financeiros disponibilizados para esta pesquisa

6. REFERÊNCIAS

- Anderson, D., Warkentin, A. and Bauer, R., 2008, "Experimental validation of numerical thermal models for dry grinding", *Journal of materials processing technology*, Vol. 204, pp. 269–278.
- Alagumurthi, N., Palaniradja, K. and Soundararaja, N., 2007, "Heat generation and heat transfer in cylindrical grinding process - a numerical study", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 34, pp. 474–482.
- Clark, J.A., 1986, *Private Communication*, University of Michigan, Ann Harbor.
- Attanasio, A., Gelfi, M., GiardinI, C. and Remino, C., 2006, "Minimal Quantity Lubrication in Turning: Effect on Tool Wear", *Wear* 260, vol. 333–338.
- Brinksmeier, E. and Brockhoff, T., 1996, "Utilization of Grinding Heat as a New Heat Treatment Process", *Annals of the CIRP*, vol. 45, p. 283-286.
- Cameron, A. and Warkentin, R.B., 2009, "An investigation of the effects of wheel cleaning parameters in creep-feed grinding", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 08.
- Dhar, N., Islam, S. and Kamruzzaman, M., 2007, "Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel", *G.U. Journal of Science*, vol. 20, pp. 23-32.
- Di Ilio, A. and Paoletti, A., 2000, "A comparison between conventional abrasives and superabrasives in grinding of SiC-aluminium composites", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 40, pp. 173–184.
- Dudzinsk, D., Devillez, A., Moufki, A., Larrouque`re, D., Zerrouki, V. and J. Vigneau, 2004, "A Review of Developments Towards Dry and High Speed Machining of Inconel 718 Alloy", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 44, pp. 439–456.
- Ge, P.Q., Li, J.F., Lu, C.H. and Liu, Z.C., 2003, "Performance Evaluation and Action Mechanism Analysis of Extreme Pressure Additives Used for Oil-based Cutting Fluids", *Key Engineering Materials*, vol. 250, pp. 281–286.
- Guo, C., Shi, Z., Attia, H. and Mcintosh, D., 2007, "Power and Wheel Wear for Grinding Nickel Alloy with Plated CBN Wheels", *Annals of the CIRP*, Vol. 56.
- Hafenbraedl, D. and Malkin, S., 2001, "Tecnologia Ambientalmente Correta para Retificação Cilíndrica Interna", *Revista Máquinas & Metais*, Vol. 37, pp. 40-55.
- Komanduri, R., Lucca, D.A. and Tani, Y., 1997, "Technological Advances in Fine Abrasive Processes", *Annals of the CIRP*, Vol.46, pp. 2.
- Lee, S.W., Lee, Y.C, Jeond, H.D. and Choi, H.Z., 2002, "The Effect of High Pressure Air Jet on Form Accuracy in Slot Grinding", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 128, pp. 67–72.
- Li, X.P. and Seah, K.H.W., 2003, "A Pressured Air Jet Approach to Tool Wear Minimization in Cutting of Metal Matrix Composites", *Wear*, vol. 255, pp. 1352–1358.
- Machado, A. R. and Diniz, 2000, A. E., "Advantages and Disadvantages of the Use of the Cutting Fluids", *Machining Congress 2000*, São Paulo, SP, Brazil.
- Novaski, O. and Dörr, J., 1999, "Usinagem quase a seco", *Revista Máquinas & Metais*, Ano. XXXVI, nº 406, 1999, p. 34-41.
- Obikawa, T., Kamata, Y. and Shinozuka, J., 2006, "High-Speed Grooving with Applying MQL", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 46, pp. 1854–1861.
- Pawlak, Z., Klamecki, E. B., Rauckyte, T.; Shpenkpv, P. G. and Kokowski, A., 2004, "The Tribochemical and Micellar Aspects of Cutting Fluids", *Tribology International*, vol. 38.
- Ren, Y.H., Zhang, B. and Zhou, Z.X., 2009, "Specific energy in grinding of tungsten carbides of various grain sizes", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 58, pp. 299–302.
- Sadeghi M.H., Haddad M.J., Tawakoli T. and Emami M., 2009, "Minimal Quantity Lubrication-MQL in Grinding of Ti-6Al-4V Titanium Alloy", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 44, pp. 487–500.
- Salmon, S. C., 1992, "Modern Grinding Process Technology", Ed. MacGraw-Hill.
- Shaw, M. C., 1996, "Energy Conversion in Cutting and Grinding", *Annals of the CIRP*, Vol. 45.
- Sokovic, M. and Mijanovic, K., 2001, "Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 109, pp. 181-189.
- Sinot, O., Chevrierb, P. and Padilla, P., 2006, "Experimental Simulation of the Efficiency of High Speed Grinding Wheel Cleaning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 46, pp. 170–175.
- Stanford, M., Lister, P. M., Kibble, K. A. and Morgan, C., 2007, "Investigation into the use of gaseous and liquid nitrogen as a cutting fluid when turning BS 970-80A15 (En32b) plain carbon steel using WC-Co uncoated tooling", *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier.
- Tawakoli, T., Westkaemper E. and Rabiey M., 2007, "Dry grinding by special conditioning". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 33, pp. 419–424.

- Wang, C.M., Cargill, G.S., Chan, H.M. and Harmer, M.P., 2000, "Structure of Y and Zr Segregated Grain Boundaries in Alumina", *Interface Science*, vol. 8, pp. 243–255.
- Weinert, K.; Inasaki, I.; Sutherland, J.W. and Wacabayashi, T., 2004, "Dry machining and minimum quantity lubrication", *Annals of CIRP*, vol. 53, pp. 511–537.

7. DIREITOS AUTORAIS

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



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF THE MINIMUM QUANTITY OF LUBRICANT TECHNIQUE IN THE PROCESS OF CYLINDRICAL PLUNGE GRINDING OF HARDENED STEELS WITH CBN WHEELS

Luiz Gustavo Guermandi, luiz_guermandi@hotmail.com¹
Matheus Gonçalves Pereira, ra711756@feb.unesp.br¹
Danilo de Jesus Oliveira, danieloliv@gmail.com.br²
Anselmo Eduardo Diniz, anselmo@fem.unicamp.br³
Paulo Roberto Aguiar, aguiaopr@feb.unesp.br⁴
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

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

²Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Bauru. Faculdade de Ciências de Bauru, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

³Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Engenharia Mecânica. Cidade Universitária "Zeferino Vaz". Distrito de Barão Geraldo. 13081-970 - Campinas, SP, Brasil

⁴Universidade Estadual Paulista – UNESP- *Campus* de Bauru. Faculdade de Engenharia de Bauru. Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

Abstract. *This research attempted to evaluate the compressed air application by a nozzle on the cutting surface of the grinding wheel, together with the minimum quantity of lubricant technique (MQL), in the cylindrical plunge grinding of hardened steels with a CBN grinding wheel, in order to eliminate the abrasive tool clogging, during the machining due to the combination of chips generated with oil from the MQL system. Then, for that, it was considered the process quality, in order to verify the replacement viability of the traditional fluids in abundance by the MQL with cleaning. The methods of lubrication and cooling suggested were the conventional and MQL with cleaning by the compressed air, ranging its incidence angle in the cutting surface of the grinding wheel. The analyses were done in equal machining conditions through by measuring the output variables of the grinding process, roughness, diametral wear of the grinding wheel and roundness. The results showed the possibility of implementing of the cleaning technique as a technological improvement of the minimum quantity of lubricant, in grinding, to reduce the cutting fluids consumption. The technique MQL with cleaning for a specific angle of incidence of the compressed air, proved to be extremely efficient to obtain roughness values, in particular, smaller than those obtained with conventional lubrication and cooling. Thus, the possibility of replacement of cutting fluids by this new technique will allow industries to avoid overspending with handling and disposal of cutting fluids and reduce the impacts to the environment and human health.*

Keywords: *CBN grinding wheel, clogging, MQL, grinding, environment.*

1. RESPONSIBILITY NOTICE

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