

ANÁLISE DE DIFERENTES MÉTODOS DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO NA RETIFICAÇÃO PLANA DE AÇOS

Rodrigo Santana Destro, rod_destro@hotmail.com¹
Marcos Hiroshi Oikawa, ra611328@feb.unesp.br¹
Rogério Melo e Sousa, ra611352@feb.unesp.br¹
Ricardo Fernando Damasceno, damasceno_ricardo@hotmail.com¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹
Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br¹
Manoel Cléber Sampaio Alves, manoel@itapeva.unesp.br²

¹Unesp – campus de Bauru, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Colbe, 14-01, 17033-360, Bauru – SP,

²Unesp – campus de Itapeva, Rua Geraldo Alckmini, 519, 18409-010, Itapeva - SP.

Resumo: Diante do desenvolvimento tecnológico mundial, os processos de produção buscam ser cada vez mais eficientes. A qualidade do acabamento superficial e dimensional são requisitos para aperfeiçoar a produção das mais variadas peças. No entanto, o uso de fluidos de corte pode causar danos ambientais e prejuízos à saúde de operadores. Assim, seu uso deve ser diminuído e otimizado, buscando manter os padrões de qualidade de produção e bem-estar de operadores e do meio ambiente. Nesta pesquisa buscou-se analisar uma alternativa ao método convencional de aplicação de fluidos de corte na retificação plana de aço: o método de MQL (mínima quantidade de lubrificação). Para tal, analisaram-se algumas variáveis de qualidade de acabamento da peça e da vida útil da ferramenta. Concluiu-se que para baixas profundidades de corte, o MQL é uma alternativa viável para a produção de peças, sendo então uma alternativa para se otimizar e racionalizar o uso de fluidos de corte nos processos de usinagem.

Palavras-chave: retificação, CBN, MQL, fluidos de corte.

1. INTRODUÇÃO

Retificação é um processo de usinagem muito complexo, com um largo número de parâmetros característicos que exercem influência entre si (CHEN et al., 1998). A característica da retificação é a remoção de material pelo contato entre uma ferramenta contendo grãos abrasivos (rebolo) e a superfície da peça. Cada grão que compõe a estrutura topográfica do rebolo remove uma pequena quantidade de material, proporcionando melhor acabamento à superfície em trabalho (KOPAC e KRAJNIK, 2006).

Segundo Hassui e Diniz (2003), é o processo indicado quando uma peça necessita de boa superfície, qualidade dimensional e geométrica. Devido a esses requisitos, o processo é, geralmente, um dos últimos passos na cadeia de usinagem. Quando a peça atinge o estágio de retificação, ela já possui alto valor agregado, vindo dos procedimentos anteriores. Isso faz com que uma possível falha no processo e conseqüente rejeição seja indesejável e muito caro.

A busca por maior produção, redução de custos, flexibilidade, melhor qualidade dimensional e/ou superficial estão se tornando cada vez mais importantes nas indústrias de processos, objetivando manter, ou mesmo aumentar, suas fatias de mercado na economia global (HASSUI e DINIZ, 2003).

Recentemente, o uso de sistemas de monitoramento para os processos de produção tem aumentado, com o objetivo de melhorar a qualidade das peças produzidas. Estes sistemas permitem que o processo seja controlado de forma a evitar qualquer defeito de produção, o que é extremamente importante especialmente em processos de acabamento de peças, como a retificação. Evita-se assim o descarte e a perda de peças em processos cujos valores agregados já são altos (TÖNSHOFF et al., 2000).

Assim, a análise das variáveis envolvidas permite melhor caracterização e conhecimento do processo, o que permite aperfeiçoá-lo, buscando melhores formas e parâmetros de produção, diminuindo descartes e custos adicionais com erros e defeitos.

Atualmente, as indústrias contam com métodos e técnicas de remoção de material muito sofisticados. Um desses métodos é a retificação, caracterizada por remover material utilizando grãos abrasivos, e obter resultados de tolerâncias dimensionais precisas e qualidade superficial elevada. No entanto, um fator limitante neste processo é a formação excessiva de calor na interface de corte. Esse calor excessivo pode causar danos térmicos à peça, indesejáveis em um processo de acabamento. Assim, para diminuir a formação de calor, utilizam-se fluidos a fim de refrigerar e lubrificar a zona de corte (IRANI et al., 2005).

Nos processos de retificação o uso de fluidos de corte tem como função remover o calor excessivo formado no ato do corte; lubrificar a região em que este ocorre; remover o excesso de cavacos formados; manter a ferramenta de corte (rebolo) limpa; e minimizar a corrosão dos materiais envolvidos (EBRELL et al., 2000; NGUYEN e ZHANG, 2003; TAWAKOLI et al., 2007).

No entanto, os fluidos de corte utilizados são substâncias perigosas para o meio ambiente. Seu descarte é consideravelmente caro e envolve procedimentos trabalhosos. Além disso, essas substâncias podem causar diversas doenças quando em exposição prolongada, como dermatites, problemas nos sistemas respiratório e digestivo, e em alguns casos até mesmo câncer (NGUYEN e ZHANG, 2003).

Como visto, os fluidos de corte desempenham diversas funções no processo produtivo, e sua utilização resulta, na maioria das vezes, em maior vida da ferramenta e em melhor qualidade da peça usinada. Porém, o uso dos fluidos traz consigo alguns inconvenientes, como a dificuldade e alto custo da reciclagem e descarte, poluição ambiental, e doenças nas pessoas expostas. Devido a isso, muito se tem estudado com o objetivo de evitar ou minimizar a utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem. Busca-se realizar tal tarefa, sem se perder os ganhos que a utilização desses fluidos trazem, principalmente com relação à vida da ferramenta e à qualidade da peça (DINIZ et al., 2003).

2. OBJETIVOS

Esse trabalho busca analisar um método de lubri-refrigeração alternativo ao método convencional, o MQL, possibilitando uso mais racional de fluidos de corte, sem que para isso os parâmetros de qualidade do processo sejam afetados. Através da experimentação e análise dos dados obtidos, objetivar-se-á verificar se o MQL pode ser considerado uma alternativa de aplicação de fluido na retificação, mantendo os padrões de qualidade dimensional e superficial, característicos deste processo.

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1. Espessura de Corte Equivalente (h_{eq})

Trata-se de um importante parâmetro, utilizado nesta pesquisa, que permite compreender alguns fenômenos do processo de retificação. A definição de espessura de corte equivalente é dada como a relação entre a taxa de remoção e a velocidade de corte (velocidade periférica do rebolo). Este parâmetro permite quantificar uma condição de trabalho e pode ser definido como a relação entre a taxa de remoção específica do material (Q'_w) e a velocidade periférica do rebolo (V_s). A espessura de corte equivalente pode ser estabelecida ainda em função dos parâmetros de entrada: V_w (velocidade periférica da peça) e a (penetração do rebolo), como se pode verificar na Eq. (1) (MALKIN, 1989):

$$h_{eq} = \frac{Q'_w}{V_s} = a \cdot \frac{V_w}{V_s} \quad (1)$$

Segundo Malkin (1989), a espessura equivalente de corte está diretamente relacionada ao comportamento do processo de retificação em função das variáveis envolvidas tais como força de corte, rugosidade, topografia da ferramenta entre outras. Diniz et al. (2003) afirmam que um aumento da h_{eq} reflete no aumento das forças de corte e dos valores de rugosidade e ainda na diminuição da vida do rebolo.

3.2. Rebolo Superabrasivo de CBN

O nitreto cúbico de boro (CBN) é uma forma cristalina alotrópica do nitreto de boro, com dureza muito semelhante à do diamante. Os cristais hexagonais são obtidos a altas temperaturas (1500 - 3000°C) e altas pressões (3 - 6 MPa), na presença de catalisadores. A popularidade deste composto está em sua dureza e resistência térmica, maiores que às do diamante, permitindo que este composto trabalhe até 1900°C. A boa resistência química do CBN possibilita que este usine materiais de ligas ferrosas, principalmente os de extrema dureza (MARINESCU et al., 2004).

As principais propriedades mecânicas são a elevada dureza do material, embora metade da do diamante, é o dobro dos materiais convencionais; e a friabilidade dos grãos, capazes de terem suas arestas de corte renovadas pela quebra dos grãos gastos. Em termos de propriedades químicas, o CBN é estável no nitrogênio e vácuo por no mínimo 1500°C. No ar ou oxigênio, forma-se uma camada passiva de óxido de boro, que impede maior oxidação do material até 1300°C. No entanto, essa camada é solúvel em água, ou vapor a alta temperatura (900°C), o que pode resultar em posterior oxidação dos grãos de CBN. Termicamente, o CBN apresenta-se com condutividade maior que o diamante, o que garante menos calor na interface peça/ferramenta (MARINESCU et al., 2004).

Devido ao seu alto índice de dureza, sua resistência térmica e química, o CBN se encaixa perfeitamente como um abrasivo de alta performance. Ele oferece vantagens especiais quando na retificação de aços de difícil usinagem, com alta proporção de elementos de liga, e durezas superiores a 55 HRC, como aços rápidos e aços cromados. (KOPAC e KRAJNIK, 2006).

3.3. A técnica de Mínima Quantidade de Lubrificação

Comprovando-se a tendência de preocupação ambiental quando da utilização dos fluidos de corte nos processos de usinagem, constata-se a grande ênfase dada à tecnologia ambiental, ou seja, a preservação do meio ambiente e a busca da conformidade com a norma ISO 14000. Por outro lado, apesar das insistentes tentativas de eliminar completamente os fluidos de corte, em muitos casos a refrigeração ainda é essencial para que se obtenham vidas econômicas de ferramentas e as qualidades superficiais requeridas. Isto é particularmente válido quando há exigência de tolerâncias estreitas e alta exatidão dimensional e de forma, ou quando se trata de usinagem de materiais críticos, de corte difícil. Isso faz da mínima quantidade de lubrificante uma alternativa interessante, porque combina a funcionalidade da refrigeração com um consumo extremamente baixo de fluidos (geralmente inferior a 80ml/h) (Klocke et al., 1998).

Nesta tecnologia a função de lubrificação é assegurada pelo óleo e a de refrigeração principalmente pelo ar comprimido. Esta pequena quantidade de fluido pode ser suficiente para reduzir o atrito no corte, minimizando desta forma, a taxa de calor gerado, mantendo a ferramenta dentro de uma faixa de temperaturas que não prejudiquem seu desempenho (KLOCKE e EISENBLÄTTER, 1997; HEISEL et al., 1998).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O banco de ensaios é composto por uma retificadora tangencial plana da marca SULMECÂNICA, modelo 1055E; um rebolo vitrificado superabrasivo de CBN da empresa Nikkon Ferramentas de Corte Ltda, cujas dimensões são: diâmetro externo de 350 mm, diâmetro interno de 127 mm, largura de 20 mm, com 5 mm de espessura de material abrasivo; corpos-de-prova de aço ABNT 4340, temperado e revenido (dureza média de 54 HRC).

A força tangencial de corte foi medida pela determinação da potência elétrica consumida pelo motor de acionamento do eixo árvore do rebolo, com o monitoramento dos valores de tensão e corrente elétrica, provenientes deste motor elétrico.

Para tal, um módulo eletrônico é utilizado para transformação dos valores de corrente elétrica e tensão (provenientes do motor) em sinais de tensões compatíveis para serem enviados a uma placa de aquisição de dados e manipulados pelo programa de aquisição de dados, que foi desenvolvido, utilizando-se o software LabView 7.1®, da National Instruments®. Para a aquisição da energia específica de retificação houve necessidade do monitoramento da velocidade periférica do rebolo e da força tangencial de corte, para que depois esses dados pudessem ser manipulados em programas avançados, como o MatLAB®.

O sinal de emissão acústica (EA) foi monitorado em tempo real, pelo seu valor médio quadrático (RMS ou *Root Mean Square*), utilizando um aparelho da marca Sensis, modelo DM42. O sensor acústico foi acoplado à morsa em que a peça a ser retificada estava apoiada, sendo esta morsa fixa na mesa magnética da máquina retificadora. Este sensor detecta as variações nas emissões acústicas, enviadas para o módulo de EA, o qual as transforma em tensões elétricas. O módulo envia o sinal destas tensões elétricas até a placa de aquisição instalada no microcomputador de maneira direta, sem a necessidade de nenhum tipo de equacionamento.

O fluido de corte utilizado no método convencional foi um óleo solúvel semi-sintético. Este fluido foi diluído na proporção de 1:20, isto é, fez-se a diluição de uma parte deste fluido em 20 partes de água, o que equivale a uma concentração de 5% de fluido na emulsão, conforme indicado pelo fabricante. No método convencional, esse fluido é aplicado abundantemente na interface de contato peça/ferramenta.

O sistema de MQL é composto basicamente por: compressor, regulador de pressão, medidor de vazão de ar, dosador e bocal. O equipamento de mínima quantidade de lubrificação permite uma fina regulação do volume de lubrificante/ar separadamente, por meio de um registro tipo agulha. Nesta pesquisa, utilizou-se o aparelho da Accu-Lube, modelo 79053D. O fluido de corte utilizado foi um óleo vegetal biodegradável com aditivos de extrema pressão, para operações severas, e antioxidantes.

Preparado o banco de ensaios, realizaram-se ensaios preliminares, com o objetivo de se definir os parâmetros de usinagem. Mantendo-se a velocidade da peça, e a velocidade periférica do rebolo constantes, variou-se a profundidade de corte, o que acarretou em diferentes espessuras de corte equivalente. A Tab. (1) mostra os parâmetros de usinagem adotados.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem adotados.

h_{eq} (espessura equivalente de corte – mm)	a (profundidade de corte – μm)	V_w (velocidade da peça – m/s)	V_s (velocidade periférica do rebolo – m/s)
0,02	20	0,033	32
0,05	50	0,033	32
0,08	80	0,033	32

O critério de parada foi o volume específico de material removido, adotado em $5000 \text{ mm}^3 / \text{mm}$. Como há três diferentes espessuras de corte equivalente, o intervalo para se obter o volume específico estipulado é diferente para cada situação.

A medição de rugosidade foi feita medindo-se o parâmetro R_a , com um rugosímetro da marca Taylor Hobson, modelo Surtronic 3+, a cada $1000 \text{ mm}^3 / \text{mm}$ de material removido.

Para cada espessura equivalente de corte foram testados dois métodos diferentes de lubri-refrigeração, o convencional e a técnica de mínima quantidade de lubrificante (MQL). Para cada método, a repetibilidade foi de três experimentações. Assim, foram realizados 18 ensaios no total.

Ao final do ensaio, efetuava-se a medição do desgaste do rebolo. Esse procedimento foi feito utilizando um corpo-de-prova de aço ABNT 1045. O desgaste impresso nos corpos foi medido em uma máquina de coordenadas da empresa TESA, modelo Micro-Hite 3D Direct Computer Control (DCC).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos sofreram tratamentos estatísticos, buscando a melhor maneira de análise. Os gráficos de barras gerados apresentam o desvio-padrão dos dados em seu topo. Deve-se ressaltar aqui que nesta pesquisa estão sendo analisados dois tipos de lubri-refrigeração em três diferentes espessuras equivalentes de corte. Como as variáveis velocidade do rebolo e velocidade da peça são constantes, alterando-se a profundidade de corte, altera-se a espessura equivalente de corte.

Com os dados obtidos do banco de aquisição gerou-se a Fig.(1), na qual se observa a força tangencial de corte ao longo do ensaio. Pode-se observar nesta figura que para o MQL nas condições de espessura equivalente de corte de 0,02 e 0,05mm a força de corte é menor que aquela gerada no método convencional. Isso se explica pelo fato de o MQL nestas condições ser capaz de lubrificar a região de corte de forma mais efetiva, vencendo a barreira de ar gerada pelo rebolo em seu movimento. Sendo assim, diminui-se a parcela de esforço gasto entre atrito da peça com a ferramenta.

Já para uma espessura equivalente de corte de 0,08mm, a força observada para o MQL é maior que a para o método convencional. Em ambos os métodos, essa condição de usinagem é mais rude, o que se confirma pela elevação da força de corte. O fato de as forças no MQL serem maiores refere-se à dificuldade de lubrificação eficiente do processo nesta condição mais severa de corte, o que gera grandes esforços no processo de corte. Além da lubrificação ineficiente, a refrigeração da zona de corte pelo fluxo de ar é incapaz de minimizar a geração de calor excessivo.

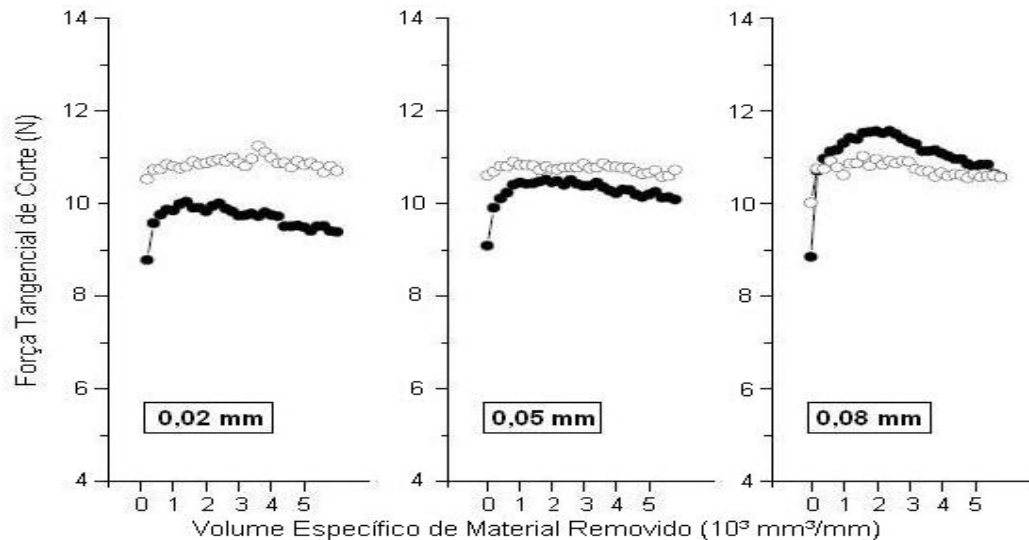


Figura 1. Dados de força tangencial de corte.

Observando novamente a Fig. (1), pode-se concluir que com o aumento da profundidade de corte, o que no caso desta pesquisa acarreta um aumento na espessura equivalente de corte, tem-se a tendência de aumentar os valores médios da força tangencial de corte. Trata-se de uma suposição coerente, pois o aumento da profundidade de corte faz com que haja maior área de contato entre o rebolo e a peça, e embora o número de grãos em contato também seja maior, o esforço para se remover um maior volume de material é crescente, o que tem como consequência as maiores forças de corte.

A energia específica de retificação é a energia gasta por unidade de volume de material removido. Esta variável relaciona-se com a potência e a força de corte. A Fig. (2) mostra a relação dos dados obtidos.

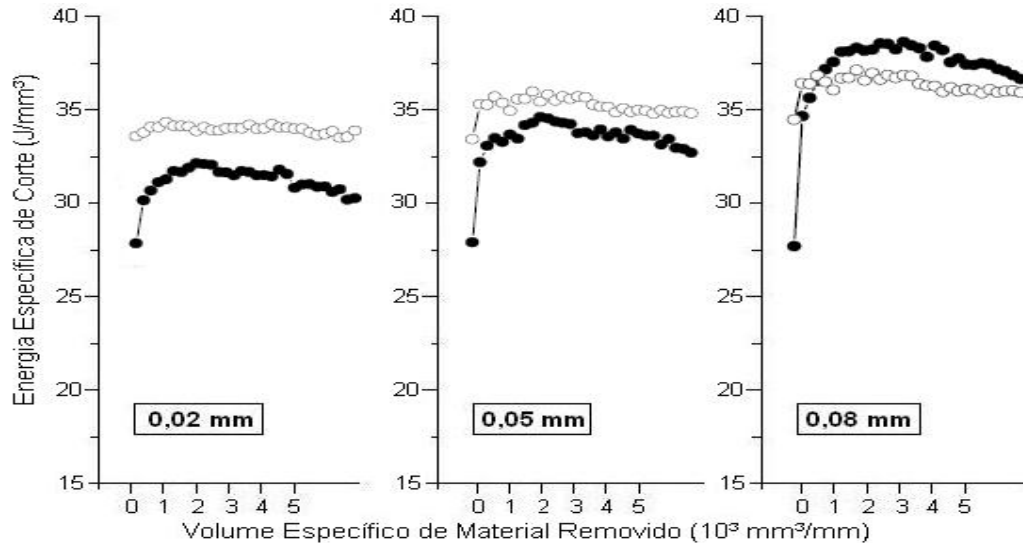


Figura 2. Dados de energia específica de corte.

Pode-se concluir que o comportamento desta variável é muito semelhante ao observado na força de corte, já que a energia específica de corte está diretamente associada à força tangencial de corte. Assim, as mesmas considerações feitas para a força de corte podem ser reasumidas para a energia específica. Uma força de corte maior significa que há maior geração de energia para a remoção do material. Uma queda na força diminui a energia necessária no corte.

A emissão acústica medida neste trabalho foi o sinal *rms*. Observou-se na análise dos dados coletados que o comportamento dessa variável pouco oscila durante o ensaio, tendo suas maiores oscilações durante as operações de liga e desliga da máquina. Outros picos devem-se a ruídos durante o ensaio, os quais prejudicam a aquisição do sinal puro. Com base nestes dados coletados, optou-se por mostrar todos os resultados em gráficos de barras. Os valores mostrados neste gráfico são as médias das repetibilidades realizadas para cada espessura de corte proposta. Aplicou-se um desvio-padrão de 5% em cada valor. Assim, segue a Fig. (3), com os resultados da análise da variável emissão acústica.

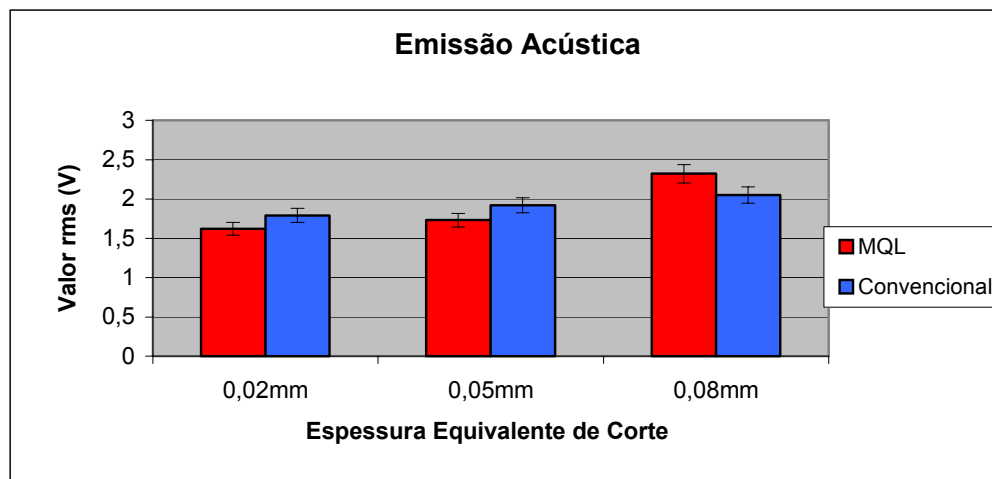


Figura 3. Dados de emissão acústica.

Observa-se nesta figura que há uma tendência de que com o aumento da espessura equivalente de corte, aumente-se também a emissão acústica. Nos ensaios efetuados, o aumento na espessura de corte foi realizado com um aumento na profundidade de corte. Assim, o aumento na profundidade de corte gerou maiores forças de corte, devido à maior área de contato ferramenta/peça, acarretando também maior energia específica de corte para a operação. A emissão acústica reflete também essa tendência, mostrando um aumento conforme a espessura equivalente de corte.

Assim, pode-se concluir que a emissão acústica apresenta tendências muito semelhantes às verificadas para a força tangencial de corte e para a energia específica de retificação. Por utilizar-se de um meio de aquisição conhecido (sensores), o uso da emissão acústica nas indústrias vem crescendo, buscando ser uma forma barata e fácil de verificação da qualidade do processo, monitorando assim a produção.

A importância da análise da variável rugosidade deve-se ao fato de que o acabamento superficial afeta de forma significativa a resistência à fadiga das peças quando estas são submetidas a esforços. A rugosidade de uma peça ainda está diretamente ligada à lubrificação e depende principalmente do tamanho do grão abrasivo presente no rebolo, das condições de dressagem, e da taxa de remoção de material (MALKIN, 1989).

Assim, devido à importância da rugosidade nas peças retificadas, realizou-se neste trabalho a medição desta variável, sendo adotado o parâmetro rugosidade média (R_a). Na Fig. (4) a seguir, os valores de rugosidade são dados em micrometros, sendo que foram obtidos a partir da média aritmética de todos os ensaios de mesma espessura equivalente de corte, ou seja, a média de quinze valores de medição, cinco em cada repetibilidade de ensaio.

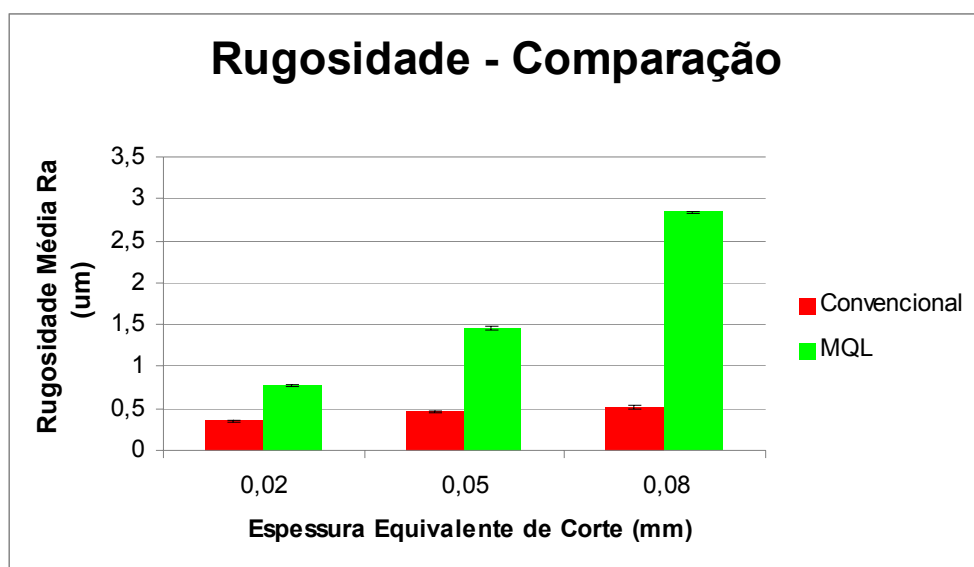


Figura 4. Comparação da rugosidade entre os métodos testados.

Observando-se a Fig. (4), verifica-se que todos os valores de rugosidade obtidos na lubri-refrigeração convencional ficaram abaixo dos valores obtidos no método de MQL. No caso de 0,08mm de espessura equivalente de corte, os valores de rugosidade do MQL chegam a ser quase seis vezes maiores que os valores convencionais.

Segundo Diniz et al. (2003), a faixa de valores de rugosidade média aceitável para o processo de retificação está entre 0,2 e 1,6 μm . Assim, todos os valores obtidos no método convencional estão dentro da faixa de tolerância, apresentando até valores bem satisfatórios. Para o MQL, no entanto, os valores de rugosidade obtidos com 0,08mm de espessura equivalente de corte estão fora da faixa de tolerância considerada, o que desclassifica o processo quanto à sua qualidade superficial. No caso da espessura de corte 0,05mm, os valores estão próximos ao limite, mas ainda podem ser considerados válidos. Na melhor condição, 0,02mm de espessura de corte, os valores apresentados pelo MQL são maiores que os apresentados pelo método convencional, no entanto o MQL apresenta-se como uma opção considerável, mesmo para acabamento.

As causas dessas variações podem ser explicadas pelo fato de que o método convencional, com seu fluxo abundante de fluido, é capaz de retirar os cavacos da zona de corte, e melhorar a lubrificação da região, diminuindo o coeficiente de atrito entre ferramenta e peça. O fato de o MQL ser ineficiente nestas tarefas, como comprovado com o aumento da espessura equivalente de corte, faz com que o cavaco permaneça na zona de corte, prejudicando a remoção de material. No caso do MQL, quanto maior o cavaco gerado, maior a dificuldade em removê-lo, maiores problemas na qualidade superficial, o que é novamente comprovado com os altos valores de rugosidade. O fluxo de ar é eficiente na remoção do cavaco gerado no corte a 0,02mm de espessura. No entanto sua eficiência diminui com o aumento desta espessura de corte.

O desgaste do rebolo se deve a três fatores principais: desgaste do aglomerante, desgaste do grão abrasivo, e friabilidade dos grãos. Trata-se de uma variável de extrema importância no processo de retificação, já que quanto maior o desgaste do rebolo, menor a vida útil deste. A Fig. (5) apresenta o desgaste diametral do rebolo para cada espessura equivalente de corte para os dois tipos de lubri-refrigeração considerados.

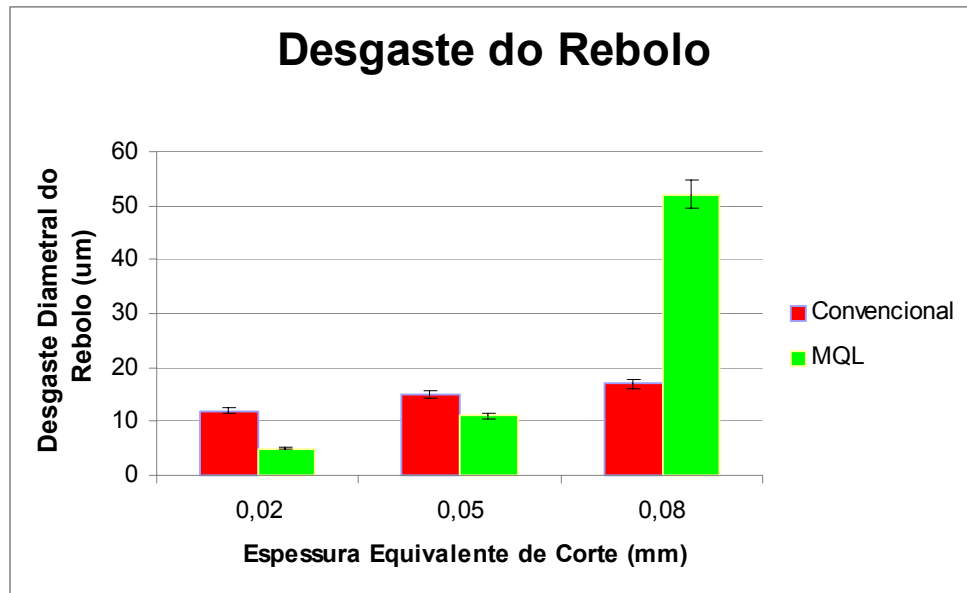


Figura 5. Comparação do desgaste do rebolo.

Pela Fig. (5) pode-se notar que o desgaste diametral do rebolo na técnica de MQL foi menor nas espessuras equivalentes de corte de 0,02 e 0,05mm, enquanto que para a espessura de 0,08mm, o valor obtido no MQL foi muito maior que o obtido no método convencional. Esses comportamentos observados são também vistos nos dados de força de corte e energia específica, uma vez que quanto maior a sollicitação a que o rebolo é submetido, maiores forças de corte são necessárias, mais energia se gasta, e conseqüentemente, maior o desgaste da ferramenta.

É indiscutível que quanto maior a penetração do fluido lubri-refrigerante na zona de corte, menor o desgaste por atrito entre a ferramenta e o cavaco, e melhor a remoção do calor gerado. Deve-se levar em consideração também a porosidade do rebolo, pois esta é responsável pelo alojamento do cavaco gerado, possibilitando assim melhor acesso do fluido à zona de corte, com conseqüente melhora na lubrificação, diminuindo o desgaste por atrito.

O rebolo utilizado é um rebolo de CBN com ligante vitrificado. Este tipo de ligante é menos suscetível ao desgaste erosivo da ação do cavaco arrancado sobre o ligante, proporcionando uma maior força de retenção do ligante sobre o grão abrasivo e, conseqüentemente, diminuindo a perda diametral do rebolo. Esse é um dos motivos pelo qual o ligante vitrificado tem tido grande aceitação na produção industrial (KOPAC e KRAJNIK, 2006).

Sendo assim, no MQL a baixas profundidades de corte, partes do cavaco misturado ao óleo pulverizado alojam-se nos poros do rebolo, permitindo que uma porção do lubrificante atinja melhor a zona de corte, diminuindo o desgaste por atrito, permitindo também que o fluxo de ar remova parte do calor gerado, melhorando a refrigeração do local. Assim, mesmo que esta condição de alojamento gere na superfície usinada maior rugosidade, ela é responsável por contribuir com a diminuição do desgaste da ferramenta.

No entanto, quando o cavaco gerado fica maior, como quando se aumenta a espessura equivalente de corte, os poros não são capazes de alojar esse cavaco maior, e o fluxo de ar é ineficiente em removê-lo da zona de corte. Assim, o cavaco atrapalha o corte e aumenta os esforços abrasivos da ferramenta sobre a peça, diminuindo a capacidade de lubrificação da zona de corte, danificando a superfície, e acarretando maior desgaste diametral do rebolo.

6. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos experimentalmente utilizando dois diferentes métodos de lubri-refrigeração, o convencional e o de mínima quantidade de lubrificação (MQL), pode-se concluir para a retificação plana de aço ABNT 4340 temperado e revenido, que o método de mínima quantidade de lubrificante é uma alternativa viável quando utilizado para pequenas profundidades de corte. Esse método é uma alternativa considerável, pois embora apresente um acabamento superficial pior que o método convencional, a vida útil da ferramenta de corte é melhor.

Assim, mostra-se que o MQL pode ser utilizado nas indústrias diminuindo o uso de fluidos de corte, conseqüentemente reduzindo o impacto ambiental de seu descarte, e visando a melhoria na qualidade de trabalho dos operadores.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo) pelo suporte financeiro e apoio à iniciativa de pesquisa.

8. REFERÊNCIAS

Chen, X.; Rowe, W.B.; Mills, B.; Allsanson, D.R., 1998, "Analysis and simulation of the grinding process. Part IV: effects of wheel wear", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 38, No. 1-2, pp. 41-49.

Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2003, "Tecnologia da usinagem dos materiais", Artiber Editora Ltda, Campinas, SP, Brasil, 4ª Edição.

Ebbrell, S.; Woolley, N. H.; Tridimas, Y. D.; Allanson, D. R.; Rowe, W. B., 1999, "The effects of cutting fluid application methods on the grinding process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, School of Engineering, Liverpool, Reino Unido, Vol. 40, pp. 209-223.

Hassui, A.; Diniz A. E., 2003, "Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, pp. 855-862.

Irani, R.A., Bauer, R.J., Warkentin, A., 2005, "A review of cutting fluid application in the grinding process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 45, pp. 1696-1705.

Kopac, J., Krajnik, P., 2006, "High-performance grinding – A Review", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 175, pp. 278-284.

Klocke, F., Eisenblätter, G., 1997, "Dry Cutting", *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No.2, pp. 519-526.

Klocke, F., Schulz, A., Gerschwiler, K., Rehese, M., 1998, "Clean Manufacturing Technologies – The Competitive Edge of Tomorrow?", *The International Journal of Manufacturing Science & Production*, Vol.1, No.2, pp. 77-86.

Malkin, S., 1989, "Grinding Mechanisms e Grinding Temperatures and Thermal Damage", In: MALKIN, S. *Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives*. 1.ed. Chichester, Ellis Horwood Limited.

Marinescu, I. D.; Rowe, W.B.; Dimitrov, B.; Inasaki, I., 2004, "Tribology of abrasive machining processes", Norwich, William Andrew Inc, 1 ed.

Nguyen, T.; Zhang, L.C., 2003, "An assessment of the applicability of cold air and oil mist in surface grinding", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.140, No. 1-3, pp. 224-230.

Tawakoli, T., Westkämper, E., Rabiey, M., Rasifard, A., 2007, "Influence of the type of coolant lubricant in grinding with CBN tools", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 47, pp.734-739.

Tönshoff, H. K., Jung, M., Männel, S., Rietz, W., 2000, "Using acoustic emission signals for monitoring of production processes", *Ultrasonics*, Vol. 37, No. 10, pp. 681-686.

9. DIRETOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído em seu trabalho.

ANALYSIS OF DIFFERENTS COOLING METHODS IN TANGENCIAL GRINDING OF STEEL

Rodrigo Santana Destro, rod_destro@hotmail.com¹

Marcos Hiroshi Oikawa, ra611328@feb.unesp.br¹

Rogério Melo e Sousa, ra611352@feb.unesp.br¹

Ricardo Fernando Damasceno, damasceno_ricardo@hotmail.com¹

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br¹

Manoel Cléber Sampaio Alves, manoel@itapeva.unesp.br²

¹Unesp – campus of Bauru, Eng. Luiz Edmundo C. Colbe Avenue, 14-01, 17033-360, Bauru – SP – Brazil,

²Unesp – campus of Itapeva, Geraldo Alckmin Street, 519, 18409-010, Itapeva – SP – Brazil.

Abstract. *Faced with world technological development, machining process aim to be even more efficient. Surface finishing and dimensional are requirements to improve production of the most differents products. Nevertheless, the use of cutting fluids can cause several damages to environment e worker's healthy. Thus, its use should be reduced and optimized, maintaining process quality and preserving environment and worker's welfare. This investigation aims to show an alternative to conventional method of fluid application in grinding: the MQL method (minimum quantity of lubrication). To do so, some variables of surface finishing and wheel life are examined. The results show that, to low cutting depths, MQL is a considerable alternative to fluid application, showing that the method is a way through optimization and rationalization of cutting fluids application in machining process.*

Keywords: *grinding, CBN, MQL, cutting fluids.*

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