

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE - MQL NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO

Leonardo Roberto da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Coordenação do Curso Técnico em Mecânica - Av. Amazonas, 5253 - Nova Suíça - CEP: 30.410-000 - Belo Horizonte Minas Gerais - E-mail: lrsilva@deii.cefetmg.br

Eduardo Carlos Bianchi

Ronaldo Yoshinobu Füsse

Thiago Valle França

Luiz Daré Neto

UNESP - Universidade Estadual Paulista - Bauru - Departamento de Engenharia Mecânica Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº, CEP 17033-360, Bauru - SP - E-mail: bianchi@feb.unesp.br; ryfusse@feb.unesp.br; thiagovf@feb.unesp.br; ldaren@feb.unesp.br

Rodrigo Eduardo Catai

UNESP - Universidade Estadual Paulista - Guaratinguetá - Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333 CEP 12516-410 - Guaratinguetá - SP - E-mail: rcatai@zipmail.com.br

Paulo Roberto Aguiar

UNESP - Universidade Estadual Paulista - Bauru - Departamento de Engenharia Elétrica Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº, CEP 17033-360, Bauru - SP E-mail: aguiarpr@feb.unesp.br

Resumo. *Os fluidos de corte convencionais utilizados para os processos de usinagem são considerados um problema para as empresas, visto que tais substâncias podem provocar sérios danos à saúde do trabalhador e à natureza. Recentemente, os aspectos ambientais têm-se tornado cada vez mais importante dentro dos processos produtivos, somando-se aos aspectos econômicos e tecnológicos. Desta forma, esse trabalho pretende explorar o conceito da mínima quantidade de lubrificante (MQL) no processo de retificação. Esta técnica já é usada com sucesso há muitos anos em vários processos de corte. Na retificação existem diversos parâmetros de entrada, entretanto, atualmente pouca atenção tem sido prestada à forma e quantidade de fluido de corte aplicada ao processo. O presente trabalho objetiva analisar o comportamento da técnica de MQL, desenvolvendo uma metodologia otimizada de aplicação de fluido através de confecção de um bocal especial, pelo qual uma quantidade mínima de lubrificante é pulverizada em um fluxo de ar comprimido. A avaliação do desempenho da técnica de MQL na retificação consistiu na análise do comportamento de força de corte tangencial, energia específica, relação G e rugosidade. Com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se esperar ganhos tecnológicos e ecológicos no processo de retificação quando se utiliza MQL.*

Palavras-chave: Retificação, força tangencial de corte, energia específica, desgaste e MQL

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o consumo de energia, a poluição do ar e os resíduos industriais têm despertado especial atenção por parte das autoridades públicas. O meio ambiente tornou-se um dos assuntos mais importantes dentro do contexto da vida na atualidade, pois sua deterioração implicará em danos para a população. Motivados pela pressão dos órgãos ambientais, os parlamentos têm elaborado leis cada vez mais rigorosas no sentido de proteger o meio ambiente e preservar os recursos energéticos. Todos esses fatores citados anteriormente têm influenciado as indústrias, centros de pesquisas e universidades a pesquisarem processos de produção alternativos, criando tecnologia que minimizem ou evitem a produção de resíduos que agredam o meio ambiente.

Os fluidos refrigerantes para usinagem baseados em emulsão ainda são usados em grande quantidade na indústria de processamento metal-mecânica, gerando elevados custos de consumo e de descarte, além do prejuízo ambiental. A necessidade cada vez maior de uma técnica de produção não agressiva ao meio ambiente e o crescimento rápido dos custos de disposição dos fluidos de corte tem justificado a demanda por uma alternativa ao processo de usinagem com fluido. Na última década, porém, as pesquisas tiveram como meta restringir ao máximo o uso de fluidos refrigerante e/ou lubrificante na produção metalmeccânica. A usinagem a seco e com Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) tem despertado a atenção de pesquisadores e técnicos da área de usinagem como alternativa aos fluidos tradicionais (Sahm & Schneider, 1996; Dunlap, 1997; Klocke et al, 1998; Novaski & Dörr, 1999 e Machado & Diniz, 2000).

A função específica do fluido de corte no processo de usinagem é a de proporcionar lubrificação e refrigeração, que minimizem o calor produzido entre a superfície da peça e a da ferramenta. Ao se abrir mão do uso destes fluidos, a sua influência positiva na usinagem também perde o efeito, pois o fluido de corte é um importante parâmetro tecnológico na usinagem. A sua redução drástica ou até a completa eliminação, certamente poderão ocasionar aumento de temperatura nos processos, queda de rendimento da ferramenta de corte, perda de precisão dimensional e geometria das peças e variações no comportamento térmico da máquina. Uma função importante do fluido de corte não muito considerada, mas que representa um papel decisivo na prática, é a sua utilidade no transporte dos cavacos (limpeza). Quando da utilização de ferramentas abrasivas, a redução de fluido de corte pode dificultar a limpeza dos poros do rebolo, propiciando a tendência do entupimentos dos poros, desta forma, contribuindo mais fortemente para os fatores negativamente citados. A importância relativa de cada uma das funções dependerá ainda do material usinado, do tipo de ferramenta utilizada (geometria definida ou indefinida), das condições de usinagem, do acabamento superficial e da qualidade dimensional e de forma exigida (Klocke & Eisemblätter, 1997; Brockhoff & Walter, 1998 e Machado & Diniz, 2000).

Este projeto visa avaliar o desempenho da tecnologia de mínima quantidade de lubrificante (MQL) aplicado em minúsculas taxas de fluxo, como uma alternativa ambientalmente correta para o fluido de corte utilizado na retificação cilíndrica externa de mergulho. A pequena quantidade de lubrificante é pulverizada em um fluxo de ar comprimido reduzindo os efeitos indesejáveis ao fornecer lubrificação e resfriamento. A avaliação do desempenho da técnica de MQL no processo de retificação consistiu na análise experimental do comportamento de força de corte tangencial, energia específica, relação G e rugosidade.

1.1. A Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL)

Comprovando-se a tendência de preocupação ambiental quando da utilização dos fluidos de corte nos processos de usinagem, conforme relatado por vários pesquisadores e fabricantes de máquinas-ferramenta, 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 < 80ml/h). Estas mínimas quantidades de óleo são suficientes em muitos casos, para reduzir o atrito da ferramenta e ainda evitar as aderências de materiais. A minimização de fluido de corte tem adquirido relevância nos últimos dez anos (Klocke et al, 1998; Simon, 1999 e Dörr & Sahm, 2000).

As limitações das operações a seco podem ser superadas, em muitos casos, através da introdução de sistemas de lubrificação em quantidades mínimas (*Near-Dry machining* - MQL) que agem com base no princípio de utilização total, sem resíduos, aplicando fluxos de lubrificantes de 10 até no máximo 100ml/h a uma pressão de 4,0 a 6,0 Kgf/cm². O que importa é que, ainda assim, os cavacos sejam liberados praticamente secos, evitando custos resultantes da reciclagem do fluido de corte. 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, diminuindo a tendência à aderência em materiais com tais características. De sua comparação com a refrigeração convencional resultam numerosas vantagens (Klocke & Eisenblätter, 1997; Young et al, 1997; Heisel et al, 1998; Schulz, 1999; Dörr, 1999 e Diniz, 1999).

Por outro lado, comparado com a técnica convencional, MQL causa custos adicionais para pressurizar o ar e suportes tecnológicos, o quais são necessário no processo para superar as restrições tecnológicas da técnica MQL. Por exemplo, técnicas especiais para o transporte do cavaco podem ser necessárias, e talvez a produtividade seja reduzida devido ao impacto térmico nos componentes usinados. O vapor, a névoa e a fumaça de óleo gerados durante o uso da mínima quantidade de lubrificante na usinagem podem ser considerados subprodutos indesejáveis, pois contribuem para aumentar o índice de poluentes em suspensão no ar e tornou-se fator de preocupação, necessitando de um bom sistema de exaustão na máquina. Na pulverização é utilizada uma linha de ar comprimido que funciona intermitentemente durante o processo. Essas linhas de ar geram um barulho que geralmente ultrapassa os limites admitidos pela legislação (Machado & Diniz, 2000). Com o conhecimento dos custos das usinagem úmidas e os das usinagens com MQL, foi feita uma comparação de custos dos investimentos e dos custos fixos e proporcionais anuais na BMW. A confrontação dos custos totais de investimento na linha *transfer*, inclusive do equipamento para limpeza de cavacos, comprovou vantagens financeiras de 22% na usinagem com a tecnologia MQL (Dörr & Sahm, 2000).

Esta técnica já é usada com sucesso há muitos anos em vários processos de corte, serramento e conformação de metais. As suas vantagens levam à previsão de que sua faixa de aplicações seja crescente, mas apesar de tudo, as variáveis de influência a serem consideradas e os efeitos sobre o resultado do processo têm sido matéria para apenas alguns poucos estudos. Nos sistemas de quantidade mínima são usados principalmente fluidos de corte não solúveis em água, principalmente óleos minerais. Deve-se considerar que, devido às quantidades muito pequenas de fluidos de corte usadas, os custos não deveriam impedir o uso de composições de alta tecnologia no campo dos óleos básicos e aditivos. Os materiais derivados de origem vegetal estão sendo cada vez mais empregados. Estes óleos, inalados com a formação do aerossol, diminuem os riscos à saúde (Heisel et al, 1998).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material utilizado para a realização dos ensaios foi o aço ABNT 4340 temperado e revenido. Classificado como aço para beneficiamento, é empregado na fabricação de peças que exigem uma boa combinação de resistência e tenacidade, com valores relativamente uniformes.

Os ensaios foram realizados com rebolo de óxido de alumínio (Al₂O₃) com as seguintes características: (355,6 x 25,4 x 127 - FE 38A60KV) fabricados pela empresa *NORTON*. A operação de dressagem foi mantida constante para todos os ensaios, na qual utilizou-se dressador multigranular do tipo *fliese*, não influenciando as variáveis de saída do processo.

Uma série de ensaios preliminares foi realizado para determinação da melhor vazão do lubrificante e do ar comprimido, assim como também da escolha dos diversos tipos de lubrificantes quando da utilização da tecnologia MQL, totalizando 07 tipos de lubrificante testados nos ensaios preliminares. O lubrificante LB 1000 fornecido pelo fabricante do equipamento de MQL apresentou melhor desempenho, sendo assim, todos os resultados refere-se a este tipo de lubrificante.

O equipamento utilizado para o controle da mínima quantidade de lubrificante (MQL) foi o *Accu-lube*, fornecido pela empresa *ITW Chemical Products Ltda*, o qual usa sistema pulsante de fornecimento de óleo e permite a regulagem da vazão de ar comprimido e lubrificante de maneiras separadas. A confecção do bocal permitiu uma velocidade do ar comprimido aproximadamente igual à velocidade periférica do rebolo (30m/s). Tal velocidade é necessária, de forma que a mistura (lubrificante + o ar comprimido) penetre na região de contato entre ferramenta e peça agindo de forma favorável à lubri-refrigeração do processo. Para se efetuar a medição com precisão da vazão de ar comprimido na qual proporcionou a velocidade citada, foi necessário à aquisição de um medidor de vazão e um regulador de pressão com filtro. O sistema MQL é composto de: compressor, regulador de pressão, rotâmetro, dosador e bocal aspersor. Na Figura (1) encontra-se o bocal desenvolvido e utilizado na experimentação da técnica MQL no processo de retificação. O bocal foi colocado a cerca de 35mm da interface peça-rebolo.

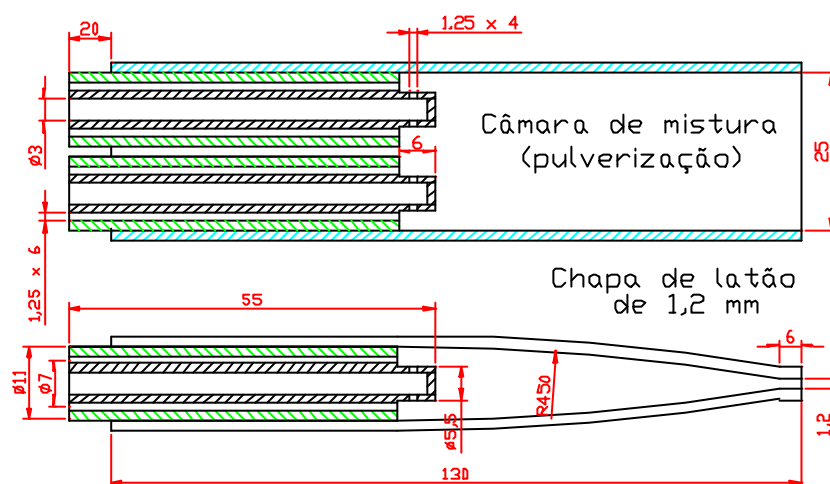


Figura 1. Projeto do bocal utilizado na experimentação com MQL

Os principais parâmetros de entrada [velocidade de corte do rebolo (V_s), velocidade de mergulho (V_f), velocidade periférica da peça (V_w), profundidade de retificação (a) e o tempo de centelhamento “*spark out*” (t_s)] foram selecionados mediante recomendação da literatura técnica e através da realização de ensaios preliminares. As condições de corte selecionadas após os ensaios preliminares para a realização dos testes definitivos foram: $V_s = 30$ m/s; $V_f = 1$ mm/min; $V_w = 20$ m/min (velocidade média); $a = 0,1$ mm e $t_s = 10$ s. Estes parâmetros foram mantidos constantes durante os ensaios.

Na condição de refrigeração convencional, utilizou-se uma emulsão semi-sintética com concentração de 5%. A máxima vazão fornecida pela bomba e pelo bocal original da máquina foi de 8,4 l/min.

A medição da rugosidade foi realizada ajustando o rugosímetro para o comprimento de amostragem (*cut-off*) de 0,8mm. No fim de cada ensaio, mediu-se os valores da rugosidade média R_a em três posições distintas e equidistantes a 120° aproximadamente.

Para a medição das variáveis de saída (força tangencial de corte e energia específica) optou-se, pela determinação, em tempo real, das mesmas através da rotação (n) do rebolo e da potência elétrica (P_c) consumida pelo motor de acionamento da ferramenta abrasiva, durante o corte. Para tanto, utilizou-se um circuito condicionador de sinais, o qual permitem a aquisição e transformação dos valores de corrente elétrica, tensão elétrica e rotação do motor em sinais de tensão elétrica compatíveis, para serem enviados a uma placa de aquisição de dados A/D. Os dados advindos do

processo sofrem uma conversão do modo analógico para o modo digital. Para tal, foi utilizado uma placa de conversão de dados de 12 bits do fabricante *National Instruments*, cuja especificação é PCI-6111E, a qual foi instalada num microcomputador do tipo PC *Pentium III*, 700 MHz. O software de interface entre a placa e computador foi o *LabView 6*. É importante ressaltar que a força tangencial de corte efetiva foi calculada através da subtração da força tangencial em vazio, depois de atingido o regime de estabilização da máquina. Esse valor de força tangencial de corte efetiva foi utilizado também para o cálculo de energia específica de retificação.

O desempenho do rebolo pode ser avaliado através da relação **G**, definida como sendo a relação entre volume de metal removido Z_w (mm³) e volume de rebolo gasto Z_s (mm³). Como o volume de material removido era constante para cada ensaio, a determinação da relação **G** era direta, ou seja, o comportamento dessa variável de saída foi analisado na forma de desgaste diametral do rebolo. Os ensaios foram realizados utilizando-se 15mm da largura do rebolo (25mm). Desta forma, o restante não utilizado no ensaio serviu-se de referência para a medição da perda diametral do rebolo pelo método da impressão do perfil desgastado. No final de cada ensaio, o perfil geométrico do rebolo era marcado em corpo de prova construído para essa finalidade em aço com baixo teor de carbono (ABNT 1020) para posterior medição do desgaste do rebolo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultados a seguir, referem-se às melhores condições de corte e de lubri-refrigeração encontradas na retificação cilíndrica de mergulho do aço ABNT 4340 temperado para os parâmetros avaliados.

3.1. Medição da Força Tangencial de Corte

A Figura (2) representa a comparação dos valores de força tangencial de corte com rebolo de óxido de alumínio (Al₂O₃) na condição de refrigeração convencional (8,4 l/min) e com a utilização da técnica de MQL. Os valores foram obtidos após 03 etapas de 30 ciclos, sendo cada ciclo de 100µm. É importante ressaltar que cada ponto existente nos gráficos correspondem à uma média aritmética dos pontos máximos obtidos nas três repetibilidades de ensaio efetuado.

De uma maneira geral, os resultados referentes à utilização da técnica MQL proporcionaram menores valores de força tangencial de corte quando comparados com o sistema convencional de aplicação de fluido de corte no processo de retificação. Esse comportamento observado permite afirmar que o sistema de MQL pôde penetrar na região de contato entre o rebolo e a peça de maneira eficiente.

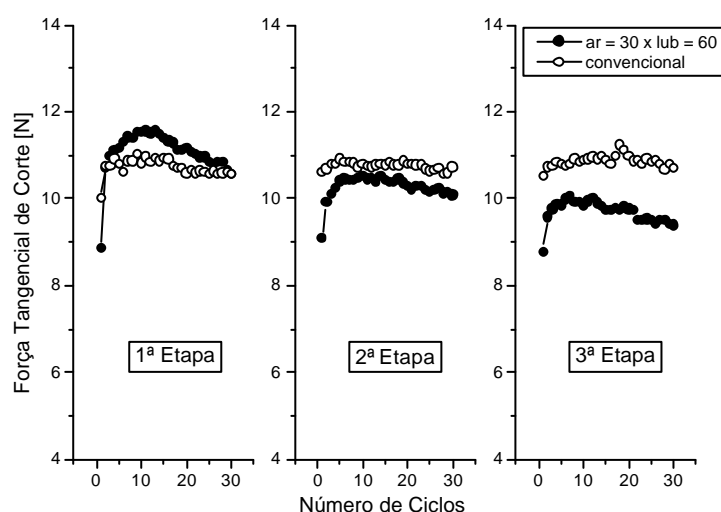


Figura 2. Medição da força tangencial de corte durante 90 ciclos com rebolo de Al₂O₃ ($V_s = 30\text{m/s}$; $V_f = 1\text{mm/min}$; $a = 100\mu\text{m}$; $V_{ar} = 30\text{m/s}$ e $V_{lubrif.} = 60\text{ml/h}$)

O lubrificante empregado na técnica de MQL, através de sua excelente propriedade lubrificante, permitiu que a capacidade de corte das arestas do rebolo de óxido de alumínio permanecessem afiadas por um período mais longo de trabalho.

Deve-se salientar que, devido à pequena área de atuação do fluxo de ar/lubrificante no sistema MQL, o posicionamento preciso do bocal aspersor pode afetar significativamente a capacidade de lubri-refrigeração e consequentemente os valores de força tangencial de corte. A introdução, dentro da região de corte, de um lubrificante efetivo, reduz a quantidade de calor gerada através do atrito pela diminuição do contato rebolo-peça, não havendo necessidade de volumes elevados de fluido. Além disso, com a lubrificação eficiente, o cavaco possui um melhor deslizamento na face da ferramenta diminuindo a geração do consumo de energia.

A velocidade com que o fluido penetra na região de corte é suma importância. Quando a velocidade do fluido é igual ou superior a velocidade periférica do rebolo, o fluido tende a penetrar na região de corte com a mesma velocidade do grão abrasivo, não havendo assim interferências significativas por parte do grão abrasivo durante a remoção de material.

Os valores de força tangencial de corte quando da utilização de MQL diminuem no decorrer do ensaio, provavelmente pela presença de lubrificante na periferia do rebolo ocasionado melhor deslizamento do grão entre a ferramenta e a peça. Por outro lado, a velocidade periférica da peça é reduzida, uma vez que a rotação da mesma foi mantida constante, proporcionando menor valor de força tangencial de corte. A condição com refrigeração convencional apresentou uma certa estabilização da força tangencial de corte, possivelmente pela perda de capacidade de remoção de material.

A perda do grau de afiação da ferramenta gerada pelo macroefeito durante a dressagem, provavelmente não influenciou no comportamento da força tangencial de corte, uma vez que o desgaste da ferramenta abrasiva foi mínimo conforme pode ser observado no item 4.3.

3.2. Energia Específica

A Figura (3) representa a comparação dos valores de energia específica com rebolo de óxido de alumínio (Al_2O_3) na condição de refrigeração convencional (8,4 l/min) e com a utilização da técnica de MQL. Conforme citado no item anterior, os valores foram obtidos após 03 etapas de 30 ciclos, sendo cada ciclo de 100 μ m. Os gráficos foram plotados mediante os valores obtidos de força tangencial de corte através da equação de energia específica.

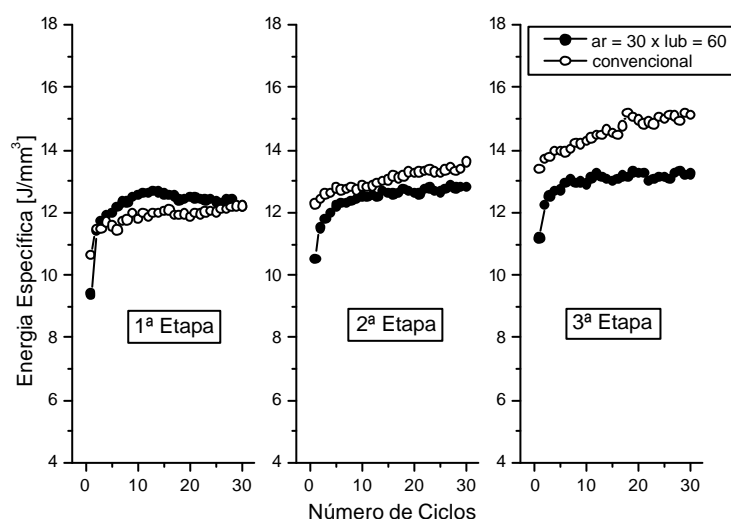


Figura 3. Resultado da energia específica durante 90 ciclos com rebolo de Al_2O_3
($V_s = 30$ m/s; $V_f = 1$ mm/min; $a = 100\mu$ m; $V_{ar} = 30$ m/s e $V_{lubrif.} = 60$ ml/h)

A energia específica no processo de retificação é uma variável de saída relacionada diretamente com a força tangencial de corte (F_{tc}) e a velocidade periférica do rebolo (V_s), entretanto a mesma é

afetada por outros parâmetros do processo, tais como: velocidade periférica da peça, velocidade de mergulho e largura de retificação. Como a velocidade periférica da peça decresce no decorrer do ensaio resulta no aumento da energia específica.

De uma maneira geral, como aconteceu nos resultados referentes à força tangencial de corte, repetiram-se as vantagens da técnica de MQL, ou seja, a utilização da técnica MQL proporcionou uma redução nos valores de energia específica quando comparados com o sistema convencional de aplicação de fluido de corte, principalmente na 3ª etapa.

3.3. Medição do Desgaste Diametral do Rebolo

Os ensaios foram realizados utilizando-se 15mm da largura do rebolo. Desta forma, o restante não utilizado no ensaio serviu-se de referência para a medição da perda diametral do rebolo. A Figura (4) representa a comparação dos valores do desgaste diametral com rebolo de óxido de alumínio (Al_2O_3) na condição de refrigeração convencional (8,4 l/min) e com a utilização da técnica de MQL. Os valores foram obtidos após 03 etapas de 30 ciclos, sendo cada ciclo de 100 μ m, totalizando uma remoção de 9mm no diâmetro da peça. É possível verificar mais uma vez que a aplicação com MQL mostrou-se superior quando comparado com a aplicação com fluido de corte convencional, possivelmente por sua excelente capacidade de lubrificação na região de contato rebolo-peça.

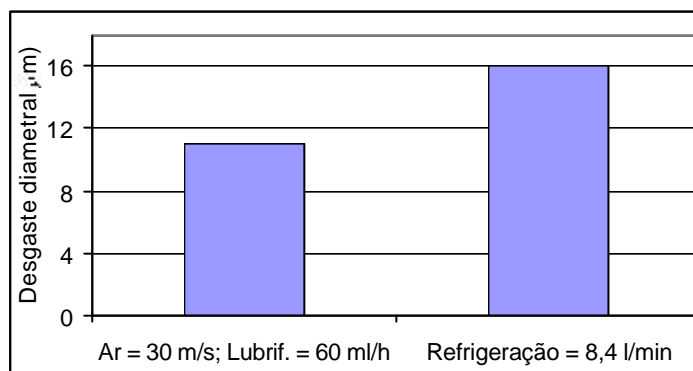


Figura 4. Resultado do desgaste diametral após 90 ciclos
($V_s = 30$ m/s; $V_f = 1$ mm/min; $a = 100\mu$ m e $t_s = 10$ s)

A introdução do lubrificante na região de corte em ambas condições de lubri-refrigeração levou-se a diferentes resultados de desgaste radial do rebolo. O aumento do poder lubrificante do fluido resulta numa diminuição do desgaste do rebolo, pela redução do atrito grão-peça e do atrito cavacoligante, permitindo que os grãos abrasivos permaneçam por mais tempo ao ligante ocasionando menor desgaste da ferramenta.

Verifica-se que o maior desgaste foi observado para a condição com refrigeração convencional devido provavelmente ao menor poder lubrificante do fluido de corte com emulsão. Por outro lado, a técnica de MQL apresentou melhor desempenho quanto à capacidade de manutenção da afiação dos grãos abrasivos durante o processo de corte devido à excelente propriedade de lubricidade do lubrificante empregado.

3.4. Rugosidade

Já é bastante conhecido que o acabamento superficial pode afetar significativamente a resistência dos componentes quando os mesmos são submetidos a ciclos de fadiga. A Figura (5) representa a comparação dos valores médios do parâmetro R_a (μ m) com rebolo de Al_2O_3 na condição convencional (refrigerada) e com a utilização da técnica de MQL. Os valores foram obtidos após 03 etapas de 30 ciclos, sendo cada ciclo de 100 μ m. Foram efetuadas 06 medições na

variação de R_a em três posições distintas e equidistantes a 120° aproximadamente. Posteriormente, calculou-se média representada no gráfico seguinte.

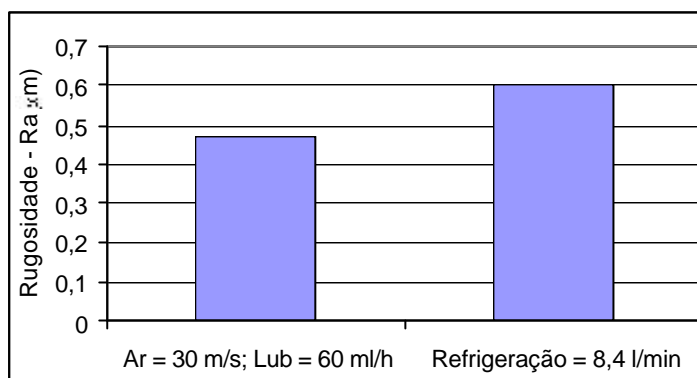


Figura 5. Rugosidade (R_a) utilizando rebolo de óxido de alumínio após 90 ciclos ($V_s = 30m/s$; $V_f = 1mm/min$ e $a = 100\mu m$)

Analizando-se os resultados para a aplicação com fluido de corte convencional e com a técnica de MQL, pode-se verificar novamente que aplicação do fluido de corte com MQL apresentou um desempenho superior quando comparado ao método convencional de aplicação de fluido de corte pela maior eficiência de penetração do mesmo na região de corte.

A técnica de MQL promoveu uma rugosidade menor, devido provavelmente a lubri-refrigeração efetiva dos grãos abrasivos na interface peça-rebolo. Com a lubrificação eficiente, o cavaco possui um melhor deslizamento na face da ferramenta permitindo assim um melhor acabamento superficial.

4. CONCLUSÕES

Analizando os dados de experimentação deste trabalho, pôde-se concluir, para a retificação cilíndrica de mergulho do aço ABNT 4340 temperado que:

- ❖ As análises dos resultados diversos indicam que a técnica MQL pode ser aplicada com eficiência no processo de retificação proporcionando ganhos ecológicos e tecnológicos;
- ❖ Os valores de R_a e do desgaste diametral foram reduzidos significativamente com o emprego da técnica de MQL comprovando excelente propriedade de lubricidade;
- ❖ A técnica MQL reduziu razoavelmente a força tangencial de corte e a energia específica quando da comparação com a condição de refrigeração convencional;
- ❖ A força tangencial de corte foi decrescente quando se utilizou MQL, possivelmente pela presença de lubrificante na periferia do rebolo proporcionando melhor deslizamento do grão na interface peça-rebolo;
- ❖ Não foi detectado entupimento significativo da porosidade do rebolo com a técnica de MQL;
- ❖ A aplicação de fluido de corte com MQL permitiu a permanência das arestas de corte do rebolo por mais tempo antes de ocorrer a renovação das mesmas;
- ❖ Os resultados permitiram mostrar que o método e a quantidade de aplicação de fluido de corte são fatores que exercem influências no processo de retificação.

5. AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo apoio financeiro de auxílio à pesquisa.

À MICROQUÍMICA pela doação dos lubrificante nos ensaios preliminares.

6. REFERÊNCIAS

- Brockhoff, T., Walter, A., 1998, "Fluid Minimization in Cutting and Grinding", *Abrasives Magazine*, Oct/Nov, pp. 38-42.
- Diniz, A. E., 1999, "Minimal Lubrification in the Drilling Process of Aluminum Silicion Alloy", 3rd International Machining & Grinding Conference, Oct, pp. 683-697.
- Dörr, J., 1999, "New Perspectives in Dry Machining", 4^o Seminário Internacional de Alta Tecnologia - Inovações Tecnológicas na Manufatura para o Ano 2000, Unimep, Ago.
- Dörr, J., Sahm, A., 2000, "A Mínima Quantidade de Lubrificante Avaliada pelos Usuários", *Máquinas e Metais*, No. 418, Nov, pp. 20-39.
- Dunlap, C., 1997, "Should you Try Dry?", *Cutting Tool Engineering*, Vol. 49, No.1, Feb, pp. 22-33.
- Heisel, U., Lutz, D., Wassmer, R., Walter, U., 1998, "A Técnica da Quantidade Mínima de Fluidos e sua Aplicação nos Processos de Corte", *Máquinas e Metais*, No.386, Fev, pp. 22-38.
- Klocke, F., Eisenblätter, G., 1997, "Dry Cutting", *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No.2, pp. 519-526.
- Klocke, F., Schulz, A., Gerschwiler, K., Rehse, M., 1998, "Clean Manufacturing Technologies - The Competitive Edge of Tomorrow?", *The International Journal of Manufacturing Science & Production*, Vol.1, No.2, pp. 77-86.
- Machado, A. R., Diniz, A. E., 2000, "Vantagens e Desvantagens do Uso (ou não) de Fluidos de Corte", Congresso de Usinagem 2000, São Paulo - SP.
- Novaski, O; Dörr, J., 1999, "Usinagem sem refrigeração", *Máquinas e Metais*, No.399, pp.18-27.
- Sahm, D., Schneider, T., 1996, "A Produção sem Refrigerante é Interessante e Deve ser Mais Conhecida", *Máquinas e Metais*, No. 367, Ago, pp. 38-55.
- Schulz, H., 1999, "Trends in Manufacturing Technology at the Threshold of the Millennium", 4^o Seminário Internacional de Alta Tecnologia - Inovações Tecnológicas na Manufatura para o Ano 2000. Unimep, Ago.
- Simon, T. A., 1999, "O estágio atual da tecnologia das máquinas-ferramenta" *Revista Máquinas e Metais*, pp. 88-108, fevereiro.
- Young, P., Byrne, G., Cotterell, M., 1997, "Manufacturing and the Environment", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.13, pp. 488-493.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

APPLICATION OF THE TECHNIQUE OF THE MINIMAL QUANTITY LUBRICANT - MQL IN GRINDING

Leonardo Roberto da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Department of Mechanical - Av. Amazonas, 5253 - Nova Suíça CEP: 30.410-000 - Belo Horizonte Minas Gerais
E-mail: lrsilva@deii.cefetmg.br

Eduardo Carlos Bianchi

Ronaldo Yoshinobu Fusse

Thiago Valle França

Luiz Daré Neto

UNESP - Universidade Estadual Paulista - Bauru - Department of Mechanical Engineering
Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº, CEP 17033-360, Bauru - SP - E-mail:
bianchi@feb.unesp.br; ryfusse@feb.unesp.br; Thiagovf@feb.unesp.br; ldaren@feb.unesp.br

Rodrigo Eduardo Catai

UNESP - Universidade Estadual Paulista - Guaratinguetá - Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333
CEP 12516-410, Guaratinguetá - SP - E-mail: rcatai@zipmail.com.br

Paulo Roberto Aguiar

UNESP - Universidade Estadual Paulista - Bauru - Department of Electric Engineering
Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº, CEP 17033-360, Bauru - SP
E-mail: aguiarpr@feb.unesp.br

Abstract. *Conventional cutting fluids used for machining processes are considered a problem for the companies, since such substances can cause serious damages to the health of the worker and to nature. Recently, the environmental aspects have become more important inside of the productive processes, adding it the economic and technological aspects. Of this form, this work intends to explore the concept of the minimal quantity of lubricant (MQL) in grinding process. This technique is already been used successfully has many years in several cutting processes. In grinding several entrance parameters exist, however, currently little attention has been given to the form and amount of cutting fluid applied to the process. This paper aims at the study of the behaviour of the technique of MQL, developing an optimised methodology of fluid application through making of a special nozzle, by which a minimal quantity of lubricant is sprayed in a compressed air flow. The performance evaluation of the MQL technique in grinding consisted in the analysis of behaviour of tangential cutting force, specific energy, G-ratio and roughness. With the results presented in this work, it can be waited technological and ecological issues in grinding process when MQL is used.*

Keywords: *Grinding, tangential cutting force, specific energy, wear and minimal quantity of lubricant (MQL)*