

A TÉCNICA DA MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICAÇÃO (MQL) NA RETIFICAÇÃO DE CERÂMICAS

R. M. e Sousa ¹; E. C. Bianchi ¹; P. R. de Aguiar ²; C. A. Fortulan ³; D. M. Iceri ¹; R. S. Destro ¹

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Mecânica.

Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Laboratório de Usinagem por Abrasão -

FEB - DEM

Vargem Limpa

17033-360 - Bauru, SP - Brasil - Caixa-Postal: 473

Telefone: (14) 31036119 Fax: (14) 31036101

¹ Universidade Estadual "Júlio Mesquita Filho" – UNESP; Departamento de Engenharia Mecânica

² Universidade Estadual "Júlio Mesquita Filho" – UNESP; Departamento de Engenharia Elétrica

³ Universidade de São Paulo – USP; Departamento de Engenharia Mecânica

RESUMO

O sucesso da cerâmica estrutural na maioria das aplicações depende não somente das propriedades do material e do projeto da peça, mas também da qualidade do produto usinado. Um dos fatores citados como obstáculo à ampla utilização das cerâmicas é a falta de confiabilidade dos componentes de cerâmica, em função da grande dispersão dos valores de resistência mecânica provocada por defeitos que podem ter origem no processo de retificação. A retificação de cerâmica, assim como na indústria de processamento metal-mecânica, é realizada normalmente com abundância de fluidos de corte, o que pode ocasionar problemas ecológicos, fisiológicos, econômicos. Procurando melhorar o processo, foram estudadas diferentes formas de aplicação dos fluidos. Comparou-se o método convencional de lubri-refrigeração com a técnica da Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL), onde se utiliza um jato de ar com ínfima quantidade de fluido refrigerante. A técnica MQL apresentou uma melhor manutenção da integridade do rebolo, entretanto a rugosidade superficial foi maior.

Palavras-chave: Retificação, Cerâmica, MQL.

INTRODUÇÃO

O processo de retificação de cerâmicas é o processo que predomina na usinagem pós-sinterização durante a manufatura de produtos cerâmicos. Neste processo é obtida, qualidade superficial excelente e ótima tolerância geométrica. Na

retificação destes produtos são utilizados fluidos de corte abundantes baseados e meios aquosos.

No presente trabalho, foram estudadas diferentes formas de aplicação dos fluidos citados. Para tal, comparou-se o método convencional de lubri-refrigeração com a técnica da Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL), onde é utilizado um jato de ar com ínfima quantidade de fluido refrigerante. Visando realizar esta comparação, foram coletados dados, como por exemplo, rugosidade e a taxa de desgaste diametral do rebolo. Como resultado, verificou-se que a rugosidade obtida na peça com o uso dos dois métodos de lubri-refrigeração foi maior para o método de Mínima Quantidade de Lubrificação, mas, ao analisar a Relação G, pode-se notar que na aplicação de fluido no método convencional houve um desgaste muito maior do rebolo que na aplicação em MQL. Verificou-se também que a profundidade de corte exerce uma grande influência nos resultados da usinagem. Com base nos dados obtidos, pode-se concluir que o MQL é uma alternativa inviável para certas profundidades de corte.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada consistiu na preparação do rebolo, verificação dos parâmetros de processo, execução dos ensaios e caracterização dos materiais. Dado a relevância do condicionamento dos rebolos nos resultados (1), cada novo ensaio era precedido da correção do perfil do rebolo e exposição dos abrasivos, seguindo um procedimento padrão, cujo objetivo era manter esta condição constante.

A execução dos ensaios consistiu na aquisição de dados referente a 5 ciclos de retificação no corpo de prova, para quantificar a condição inicial de retificação. Após esta aquisição de dados, outro corpo de prova era retificado, sendo removidos 17 mm (16000 mm^3) na sua altura, com o propósito de promover desgaste no rebolo suficiente para medir a relação G.

Equipamentos utilizados

Os ensaios experimentais foram executados na retificadora plana tangencial modelo 1055E da Sulmecânica. A rugosidade foi medida utilizando-se um rugosímetro Surtronic³⁺, da marca Taylor Hobson, ajustado para um comprimento

de amostragem (*cut-off*) de 0,8 mm e calibrado para fazer a medição do parâmetro Ra.

O equipamento utilizado para a aplicação da técnica de Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) foi o Accu-Lube, da marca ITW Chemical Products Ltda. Este sistema tem seu funcionamento baseado num método pulsante de fornecimento de óleo através de uma corrente de ar comprimido. Além disso, ele permite que o ajuste da vazão do ar comprimido e do óleo lubrificante seja feito individualmente.

Material dos corpos de prova

Os corpos de prova com 99,8% de alumina foram manufacturados por prensagem uniaxial à 600MPa seguido de sinterização à 1600°C-2h, foi empregada a Alumina Calcinada A1000-SG, (Almatis, Inc.) com diâmetro médio equivalente de partícula de 0,4 µm, área superficial de 7,7 m²/g, ρ_{real} : 3,99 g/cm³.

Ferramenta empregada

O rebolo diamantado utilizado é especificado por D 107 N 115 C50, sendo que a letra D indica o tipo de grão utilizado (diamante), 107 o tamanho do grão utilizado (107 µm), a letra N a dureza do rebolo (dureza média), o valor 115 indica o tipo de diamante e a designação C50 a concentração dos grãos, da empresa Nikon. As dimensões deste rebolo são dadas por um diâmetro de 350mm e uma espessura de 15mm.

Fluido de corte

Os fluidos podem exercer uma ou mais funções, podendo compreender a refrigeração da ferramenta, da peça e eliminação do cavaco gerado, a lubrificação da região de contato peça-ferramenta pela redução do atrito e do calor na região de corte, causando a minimização do desgaste da ferramenta e conseqüentemente aumento de sua vida útil (2). Contudo, o uso desses fluidos refrigerantes pode resultar em problemas ecológicos, fisiológicos e econômicos (3).

O fluido de corte utilizado na condição convencional foi um óleo solúvel sintético da marca Mobil. O fabricante recomenda trabalhar com concentração entre 4% a 6% e pH entre 8,5 – 9,5. Na condição de mínima lubrificação foi testado o Accu-Lube LB-1000 da empresa *ITW Chemical Products* Ltda, sem diluição.

Bocais para aplicação de fluido de corte

Utilizou-se nesta pesquisa dois métodos distintos de lubri-refrigeração, sendo que em cada um deles empregou-se um bocal distinto. O método de lubri-refrigeração convencional (Figura 1), caracterizado pela aplicação de fluido de corte a alta vazão e baixa pressão. Este bocal trabalhou com vazão de 27,5 l/min., pressão inferior a 0,2 kgf/cm² e velocidade do fluido de corte de 3 m/s.



Figura 1 – Visualização da retificação através de lubri-refrigeração com bocal convencional.

Para a execução da Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) foi utilizado um bocal específico que permitia melhor eficácia de lubrificação na zona de corte (4). A vazão de ar foi determinada considerando uma pressão de 8kgf/cm² e a velocidade do ar comprimido também igual à velocidade periférica do rebolo (5). A vazão de ar utilizada foi de 26,6 m³/h (450 l/min.). A vazão de óleo determinada em ensaio preliminar foi de 80 ml/h (0,0013 l/min.). O bocal é representado na Figura 2 e mostrado na Figura 3.

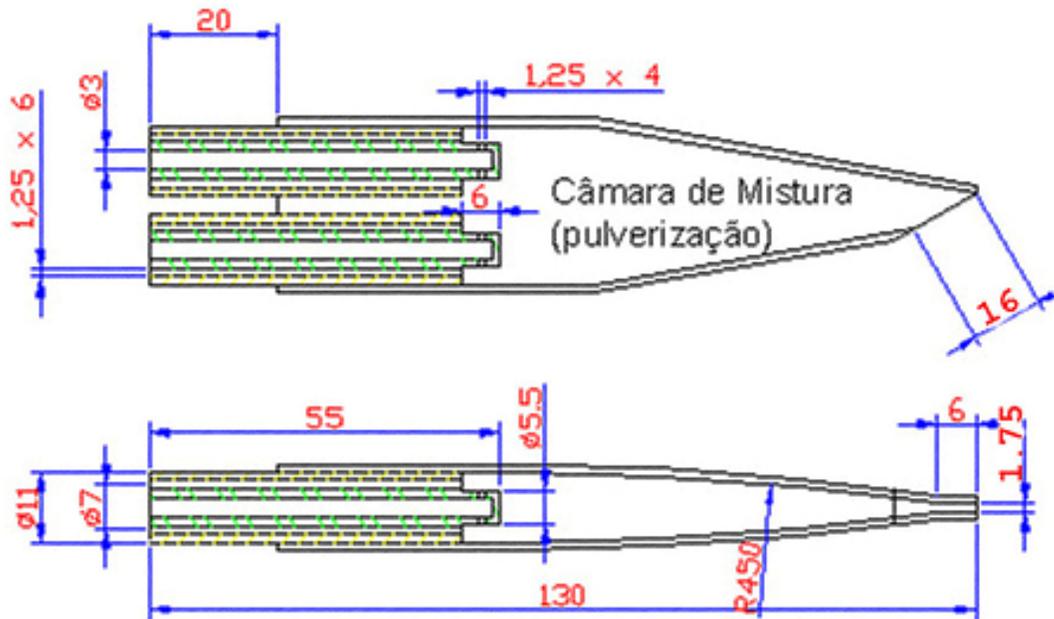


Figura 2 – Desenho do bocal utilizado para MQL.

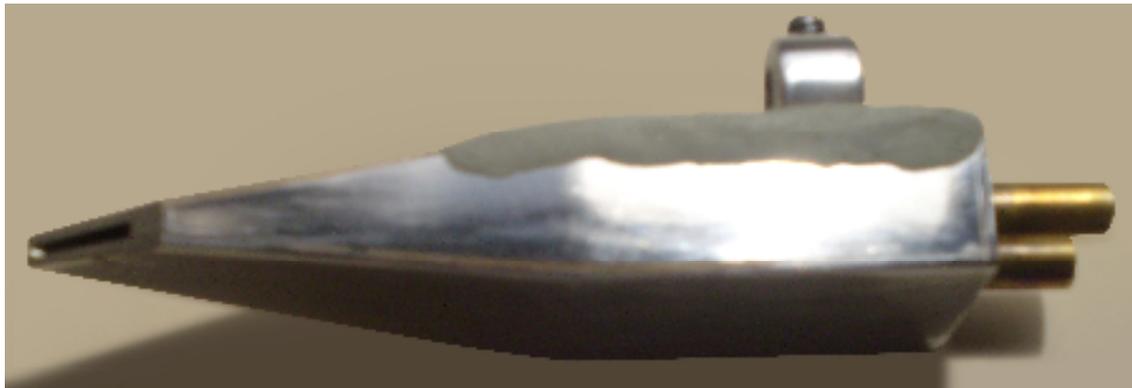


Figura 3 – Foto do bocal utilizado para MQL.

Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram produzidos por prensagem e sinterização. Assim, foram definidas duas geometrias de corpo de prova, um corpo de prova para medir a relação G e outro, com uma espessura de 8mm, altura de 60mm e comprimento 120mm, para avaliar os danos, bem como medir a força tangencial de retificação, força normal, energia específica, emissão acústica, rugosidade e demais variáveis de saída. A Figura 4 mostra a foto das duas geometrias de corpo de prova usado.

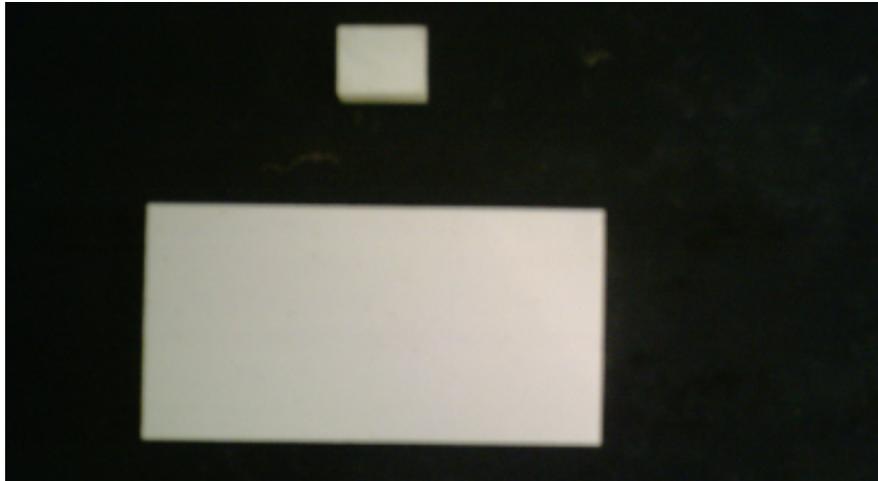


Figura 4 – Foto dos corpos de prova utilizados para observar danos subsuperficiais e aquisição de dados e determinar a relação G.

Dressagem do rebolo

Com o objetivo de minimizar as interferências oriundas das operações de preparação do rebolo, foi padronizado o procedimento para perfilamento e avivamento do rebolo. O rebolo foi perfilado através de uma ponta dressadora diamantada multiponto e avivado com um bastão de óxido de alumínio branco com grana 320 mesh.



Figura 2 – Operação de perfilamento do rebolo.

Cada ensaio foi precedido da dressagem do rebolo, verificando assim, a cada processo uma nova face de corte para o rebolo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho serão apresentados os dados que representam os valores de rugosidade, desgaste diametral do rebolo e relação G.

Rugosidade

Os valores de rugosidade obtidos com o método de lubri-refrigeração de mínima quantidade de lubrificação foram maiores que os obtidos com o método convencional (Figura 6). Devido ao modo de remoção frágil e a porosidade intrínseca dos materiais cerâmicos, as medições de rugosidade normalmente apresentam um considerável desvio padrão. Além disso, apesar do rebolo ter sido balanceado dinamicamente, alguma vibração e a própria rigidez da máquina pode ter contribuído para esta variação de rugosidade.

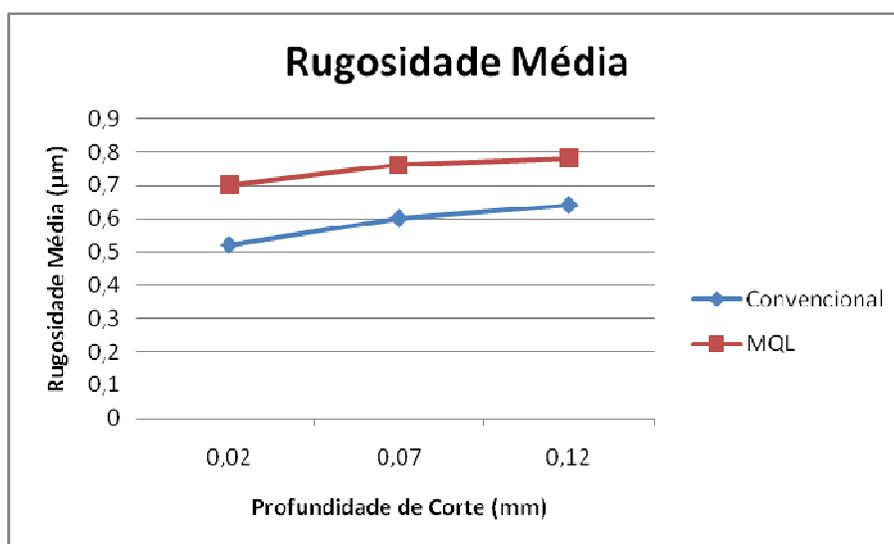


Figura 6 – Gráfico referente à rugosidade média das peças nas diferentes profundidades de corte com diferentes métodos de lubri-refrigeração.

A tendência de melhor acabamento nos ensaios com lubri-refrigeração convencional pode ser explicada por uma lubrificação mais eficaz na região de corte. Essa lubrificação, no entanto, não refletiu na redução das forças de corte, pois a

ação de lubrificação abundante foi localizada na região central do corpo de prova. Cabe ressaltar que todas as medições de rugosidade foram feitas ao longo de todo corpo de prova, medindo-se sempre perpendicularmente ao sentido de corte efetuado pelo rebolo.

Desgaste Diametral do Rebolo

O valor de desgaste do rebolo mostrou que, em comparação com o método de lubrificação convencional, o método de mínima quantidade de lubrificação (MQL) apresenta um menor desgaste diametral. O desgaste diametral é representado pela Figura 7.

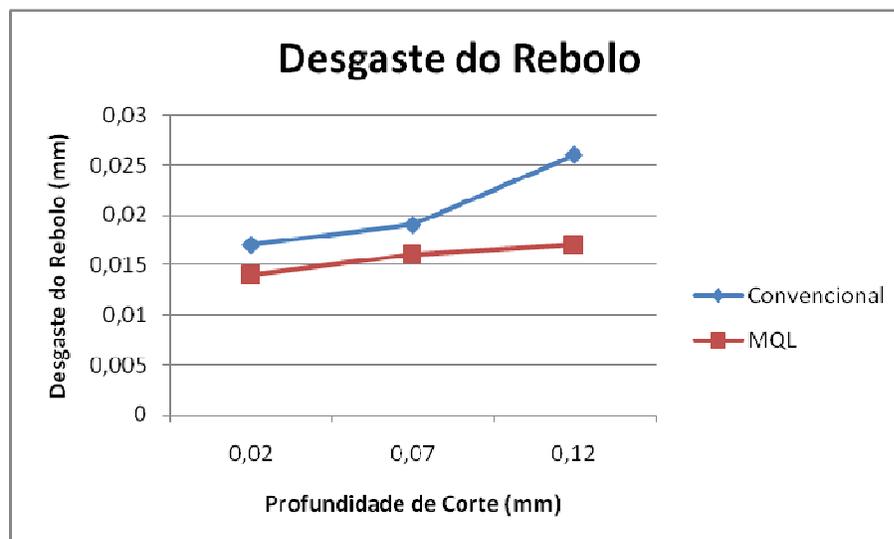


Figura 7 – Dados obtidos para desgaste diametral do rebolo.

Relação G

O desempenho de um rebolo pode ser avaliado através da relação G, definido como sendo a relação entre volume de material removido Z_w e volume de rebolo gasto Z_s (6):

$$G = \frac{Z_w}{Z_s} \quad (A)$$

Os ensaios realizados com o método convencional apresentaram uma menor relação G que os ensaios utilizados realizados no método MQL, verificando-se

também a influência da profundidade de corte. O gráfico que mostra a relação G está representado na Figura 8.

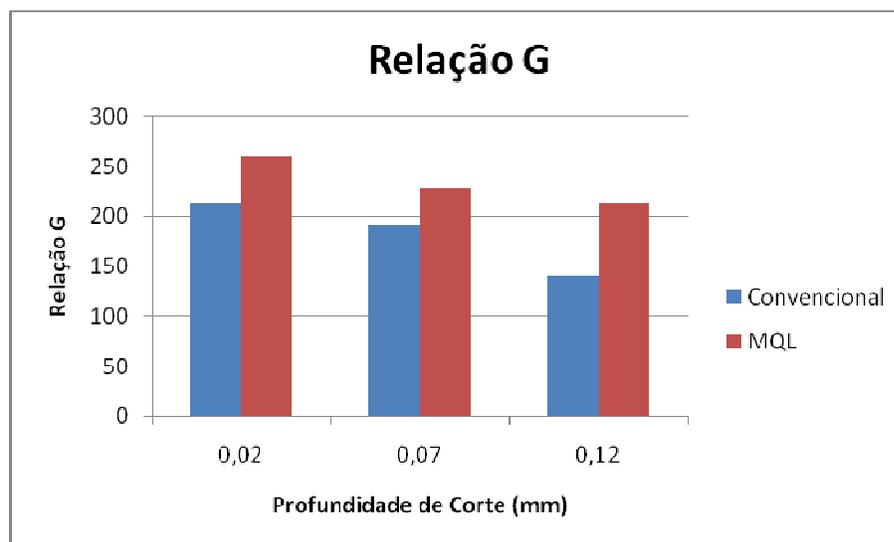


Figura 8 – Gráfico com os dados da relação G.

Quanto maior as profundidades de corte têm uma menor relação G. Este resultado parece indicar que o mecanismo predominante de desgaste foi o microdesgaste por abrasão e que as forças atuantes na retificação não foram suficientes para provocar microfratura e remoção de grãos abrasivos.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- A retificação com o uso do método de lubri-refrigeração por MQL apresentou uma elevada rugosidade, e em contrapartida um baixo desgaste do rebolo, o que proporciona uma elevada relação G. Em processos que visam melhor qualidade superficial, deve-se fazer uma análise antes de utilizar este método.
- O método de lubrificação convencional exibe uma baixa rugosidade e um desgaste diametral maior que no método MQL, mas mesmo assim é uma boa alternativa para o uso na retificação. Contudo, este método utiliza uma grande quantidade de fluido de corte que é de difícil descarte posteriormente.

- A profundidade de corte teve influência relevante nas variáveis de saída. A rugosidade aumentou diretamente com profundidade de corte, enquanto a relação G apresentou relação inversa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi pelo apoio, confiança e constante incentivo. Expresso minha profunda gratidão e apreço não somente pelos conhecimentos compartilhados, mas pelas lições de vida e exemplo de caráter.

Ao meu co-orientador, o Prof. Dr. Paulo Roberto de Aguiar pelas valiosas conversas, troca de informações e apoio durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Fortulan, do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC-USP, pela manufatura dos corpos de prova, que sem eles não seria possível a realização do trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP, Campus de Bauru por gentilmente ceder o Laboratório de Usinagem por Abrasão para a execução dos ensaios. Ao corpo docente da Faculdade de Ciências da UNESP, Campus de Bauru.

Um agradecimento especial aos alunos de Iniciação Científica Daniel Schuller, Rodrigo Santana Destro, Marcos Hiroshi Oikawa e Daiane Mieko Iceri, que estiveram presentes em todos os ensaios, pelo esforço, dedicação e indispensável auxílio na preparação e execução dos ensaios.

Agradeço enormemente ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela chance da realização deste trabalho provido de bolsa e de toda a ajuda necessária.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que tornaram este projeto possível, que me apoiaram e colaboraram para a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

SILVA, L. R.; BIANCHI, E. C.; FUSSE, R. Y.; CATAI, R. E.; FRANÇA, T. V.;
AGUIAR, P. R. Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant – MQL in grinding. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v.47, n.2, p.412-18, 2007.

WEBSTER, J.A Selection of coolant type and application technique in grinding.

Supergrind, University of Connecticut , EUA, p.205-220, 1995.

- (1) TÖNSHOFF, H.K.; MEYER, T.; WOBKER, H.G. Machining advanced ceramics with speed-stroke grinding. **Ceramic Industry**, 7, p.17-21, 1996.
- (2) SALES, W.F.; DINIZ, A.E.; MACHADO, A.R. Application of cutting fluids in machining processes. **J. Braz. Soc. Mech. Sci.**, v.23, n.2, 2001.
- (3) PEREIRA, C.; CORREA, S.J.; PIVATO, C. Como se apresentam e para que servem os lubrificantes e refrigerantes. **Revista Máquinas e Metais**, p.352-61, abril, 2005.
- (4) SILVA, L. R.; BIANCHI, E. C.; FUSSE, R. Y.; CATAI, R. E.; FRANÇA, T. V.; AGUIAR, P. R. Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant – MQL in grinding. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v.47, n.2, p.412-18, 2007.
- (5) WEBSTER, J.A Selection of coolant type and application technique in grinding. **Supergrind**, University of Connecticut , EUA, p.205-220, 1995.
- (6) RAMESH, K.; YEO, S.H.; GOWRI, S.; ZHOU, L. Experimental evaluation of super high-speed grinding of advanced ceramics. **Int. J. Adv. Manuf. Technol.** , n.17, p.87-92, 2001.

THE METHOD OF THE MINIMUM QUANTITY OF LUBRIFICATION (MQL) IN CERAMIC GRINDING

ABSTRACT

The success of structural ceramics in most applications is not only the properties of the material and the design of the workpiece, but also the quality of the

product. One of the factors cited as a barrier to the widespread use of ceramics is the lack of reliability of ceramic components, according to the great dispersion of the values of mechanical strength caused by defects that may have originated in the adjustment process. The ceramic grinding as well as metal-processing industry, mechanical engineering, is usually performed with plenty of cutting fluid, which can cause environmental, physiological and economic problems. To improve the process, we studied various ways of applying fluids. It was compared the conventional method of lubricating-cooling technique with Minimum Quantity Lubrication (MQL), which is used a jet of air with small amount of refrigerant. The MQL method presented better wear of the grinding wheel, however the surface roughness was large.

Keywords: Grinding, Ceramic, MQL.