



UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO CORTE A SECO E DO CORTE COM MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE EM TORNEAMENTO DE AÇO

Anselmo Eduardo Diniz

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia da Fabricação
anselmo@fem.unicamp.br - Campinas, SP, Brasil

Innocenzo Scandiffio

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia da Fabricação
scandiff@correionet.com.br - Campinas, SP, Brasil

Resumo. *Com o desenvolvimento das ferramentas de usinagem, o respectivo aumento da velocidade de corte e a necessidade de se usar ligas cada vez mais duras, os fluidos de corte também tiveram que evoluir, pois não atendiam mais às necessidades básicas destas operações de usinagem. Conseqüentemente, houve aumento da utilização dos fluidos de corte tornando evidente os problemas com a saúde dos operadores, bem como de impacto ambiental. O objetivo deste trabalho é observar a viabilidade de utilização do corte a seco e com mínima quantidade de lubrificante (MQL) comparando com o óleo solúvel em abundância. Para isto, acompanhou-se o desgaste da ferramenta à medida que se torneava aço 1045 com pastilha de metal duro recoberta, nas três condições de refrigeração/lubrificação citadas e em três velocidades de corte diferentes. As conclusões deste trabalho foram que a técnica MQL não apresentou nenhuma vantagem em relação ao corte a seco; e o corte com óleo solúvel em abundância apresentou desgastes menores e maior vida das ferramentas. Porém, como a diferença entre a vida das ferramentas no corte a seco e com óleo solúvel em abundância não foi muito grande, a escolha entre eles passa a ser uma questão de viabilidade econômica e/ou ambiental.*

Palavras-chave: *Mínima lubrificação, Processo de torneamento, Usinagem.*

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento das atividades industriais e a evolução dos processos de usinagem, houve um acréscimo no consumo dos fluidos de corte, e também a necessidade dos fluidos serem mais eficientes. Surgiram então os fluidos de corte de extrema pressão (E.P.) que são óleos emulsionáveis, usados quando a lubrificação é um fator importante, isto é, em velocidades reduzidas de corte (onde o coeficiente de atrito é grande) e para usinagem de materiais mais duros. Nos dias de hoje, após constantes desenvolvimentos, surgiram óleos contendo cloro, associações de cloro e enxofre, fósforo enxofre e cloro. O alto custo dos fluidos de corte utilizados na refrigeração/lubrificação em usinagem, aliado à questão ecológica e também aos cuidados com a saúde do trabalhador, justificam esta pesquisa, a qual tem por objetivo

comparar o uso do fluido refrigerante em abundância - nas indústrias de usinagem - com uma técnica que utiliza apenas uma quantidade mínima de óleo (aproximadamente 10 ml/h).

Para atingir o objetivo deste trabalho avaliar-se-á o comportamento da Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante - MQL - em operação de torneamento de aço SAE 1045, comparando-a com a refrigeração em abundância e também com o corte a seco.

Os riscos de câncer associados a fluidos de corte são bastante eminentes. A General Motors, juntamente com o Instituto U.A.W. (Union of American Workers), em 1983, fizeram uma pesquisa com o intuito de aprofundar os conhecimentos sobre os danos causados pelos fluidos de corte. Para a realização da pesquisa foram selecionadas três plantas fabris e estudaram-se as mortes de mais de 46.000 trabalhadores com três ou mais anos de serviço.

A pesquisa consistia em constatar o motivo das mortes dos trabalhadores, que aconteceram entre 1941 e 1984; e determinaram que nos trabalhadores expostos a óleo solúvel, foram encontradas altas taxas de câncer no estômago, pâncreas, laringe e próstata, além de leucemia. Para trabalhadores expostos a óleo puro, encontrou-se maior número de câncer da laringe, esôfago e reto. O risco de adquirir câncer por parte das pessoas que não foram expostas a este tipo de produto era menor do que metade.

Outro fator que afeta diretamente a saúde dos trabalhadores é a névoa que se forma durante a usinagem. O comprometimento do ar no local de trabalho, em decorrência do uso de aerossóis e dos vapores de agentes refrigerantes, varia em função, por exemplo, das propriedades físico-químicas dos refrigerantes, da rotação das peças ou das ferramentas e do aquecimento das superfícies envolvidas no processo.

Aproximadamente 16 % do custo total da usinagem são destinados a líquidos para refrigeração, (Klocke et al., 1997; Cselle, 1995;; Kustas et al., 1997; Dunlap, 1997). Nestes 16% estão incluídos não somente o custo de aquisição dos fluidos de corte, mas também os custos dos equipamentos de bombeamento, filtragem, reciclagem e descarte. Pode-se ver na Fig. 1 que o custo com líquidos para refrigeração é muito maior que o custo com ferramentas de corte. Assim, a introdução do corte a seco ou do MQL, mesmo se representar um desgaste maior das ferramentas de corte, pode tornar-se viável, pois além de diminuir bastante (ou eliminar) os custos com refrigeração, diminuirá substancialmente os danos à saúde dos operadores de máquinas e ao meio ambiente.

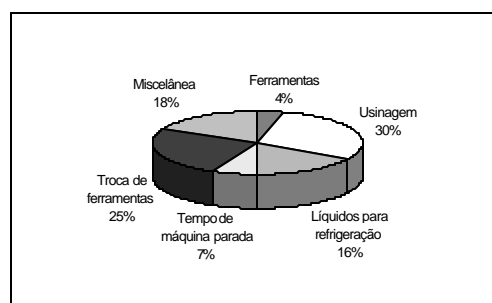


Figura 1 - Custo total de usinagem utilizando o método de refrigeração por inundação.

O descarte da emulsão não pode ser feito sem um prévio tratamento. Os produtores de óleos, atentos ao problema cada vez mais crítico no Brasil e no mundo, vêm pesquisando a melhor forma de descarte para diferentes tipos de fluido de corte (sintéticos, semi-sintéticos ou convencionais). O descarte dos fluidos de corte solúveis, pelas leis brasileiras, não pode ser feito em esgotos ou curso d'água; também não podem ser deixados de lado, pois os seus custos já passam a ser consideráveis no contexto.

O processo de descarte mais usual no Brasil é a técnica da "quebra ácida", que em muitos casos é inadequada. Este processo consiste em adicionar no efluente, ácido clorídrico, sulfato de alumínio e hidróxido de sódio, que reagem com o efluente, fazendo com que o óleo se separe da água; mas a CETESB proíbe o uso de ácidos em algumas localidades.

2. USINAGEM A SECO

As principais funções do fluido de corte, em operações de usinagem, são a redução da geração de calor através da diminuição do atrito entre a ferramenta e o cavaco, minimizando assim esforços na usinagem, como também a retirada do calor da peça e da ferramenta. Em algumas operações de usinagem, como no caso da furação, o fluido de corte também tem a função transportar o cavaco para fora da região de corte.

As funções dos fluidos de corte não estão disponíveis em operações de usinagem a seco; isto significa que existe maior atrito entre a ferramenta e a peça e entre o cavaco e a ferramenta, como também maior dificuldade de expulsão dos cavacos. A ferramenta é submetida a uma maior carga térmica, o que pode resultar em níveis mais altos de desgaste por adesão, abrasão, difusão e oxidação e, portanto, a redução de sua vida. O efeito da redução da refrigeração pode acarretar um aquecimento adicional na máquina e, conseqüentemente, problemas com a precisão. A peça ao receber maior quantidade de calor dilata-se, dificultando a obtenção de tolerâncias apertadas e também pode ter sua camada superficial metalurgicamente afetada pelo calor (Diniz et al., 1999).

Porém, o corte a seco pode apresentar resultados positivos como a redução do choque térmico, minimizando a ocorrência de lascamentos e trincas da aresta de corte, principalmente em operações de fresamento e outras com corte interrompido. Além disso, à medida que as preocupações com o meio ambiente se intensificam, maior é a necessidade de se remover os fluidos de corte do processo de usinagem, dada as inconveniências ambientais já citadas. Ainda mais, todos os custos envolvidos com a utilização de fluidos de corte (custos com a própria aquisição do fluido, com reciclagem, limpeza, etc.) são altos, como demonstraram Klocke et al., 1997 e Müller-Hummel et al., 1998.

No entanto, somente os fatores citados anteriormente não são suficientes para a obtenção de uma ferramenta de alta performance na usinagem a seco. Os revestimentos de carboneto de titânio e/ou óxido de alumínio, nitreto de titânio e carbonitreto de titânio, são fundamentais para suprir os efeitos da deficiência de lubrificação na região de corte. O revestimento reduz o atrito e a adesão, funcionando como um "lubrificante sólido"; além disto, a carga térmica no substrato é diminuída pela baixa condutividade térmica da camada de cobertura. O nível reduzido de dissipação de calor pela ferramenta muda o fluxo de calor entre a ferramenta e o cavaco, fazendo com que o cavaco dissipe mais calor do que o normal. Além de o revestimento diminuir o desgaste de flanco e aumentar o tempo de corte, ele também protege o substrato dos efeitos químico e térmico (Dunlap, 1997).

3. TÉCNICA DA MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE (MQL)

Em situações que as operações de usinagem completamente a seco não são possíveis, ou não são economicamente viáveis, como é o caso das operações de furação e fresamento de alojamentos a Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante vem sendo estudada como uma opção bastante viável. Esta técnica tem uma importância significativa pelo fato de minimizar as quantidades de fluidos de corte, (que contém aditivos químicos que agridem o meio ambiente no momento de seu descarte) já que cada vez mais os problemas ecológicos e econômicos estão tornando estes fluidos indesejáveis na produção.

O termo Mínima Quantidade de Lubrificante é usado quando uma quantidade mínima de lubrificante/refrigerante (óleos convencionais utilizados na indústria alimentícia podem ser usados como fluido) misturado com ar é adicionada ao processo cortante; estas quantidades mínimas de fluido são suficientes para reduzir substancialmente o atrito na ferramenta e evitar a aderência de material. Dentre os principais benefícios da Técnica MQL, se aplicada corretamente, tem-se que, tanto a ferramenta como a peça e o cavaco permanecem secos; elimina-se toda a manutenção e os problemas inerentes ao descarte do fluido de corte e a preparação dos fluidos, incluindo-se também o benefício da não exposição dos operadores de máquinas ao produto químico.

Braga em 1999 mostrou em seu trabalho que, em operação de furação de liga de alumínio-silício SAE - 323 com broca de metal duro inteiriça tipo K10 sem cobertura, a utilização da Técnica da Mínima Quantidade de Lubrificante com vazão de óleo integral de 10ml/h em um fluxo de ar comprimido de 4,5 bar de pressão, atendeu plenamente à necessidade de lubrificação, garantindo a qualidade dos furos e vida da ferramenta similar ao processo com refrigeração/lubrificação por inundação. A usinagem completamente a seco e também somente com ar não foi possível devido à adesão de cavaco na superfície de saída da broca, ocasionando a quebra da ferramenta. Também foram testadas as vazões de 30 ml/h e 60 ml/h no fluxo de ar comprimido. Estas vazões não causaram aumento nem na vida da ferramenta, nem na qualidade dos furos quando comparados com o corte com MQL com 10ml/h de vazão de óleo e ainda causaram o aumento da névoa de óleo no ambiente.

4. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Para a realização dos ensaios foi utilizado um torno CNC de marca Romi, modelo Cosmos 10U, comando FANUC, com potência e rotação máximas de 10 cv e 4500 rpm. O desgaste das arestas de corte foi medido em um projetor de perfil da marca Mitutoyo com ampliação de 10 vezes. Para realizar a mistura ar/óleo, foi utilizado um misturador simples produzido pela empresa Fuso Seiki Co.,Ltda. O fluxo ar/óleo era injetado de tal maneira a penetrar entre a superfície de folga da ferramenta e a peça. Os corpos de prova utilizados foram barras de aço ABNT 1045 com diâmetro inicial de 99 mm e final de 63mm com 240 mm de comprimento. Foram utilizados insertos de metal duro com geometria TNMG 160404 PF 4015, montadas em um suporte PTG NR 2020 K 16.

Os ensaios foram realizados na condição a seco, e também empregando-se dois tipos de refrigeração/lubrificação: *i*) mistura de ar com óleo de corte integral - Ilocut 171 e *ii*) emulsão de óleo solúvel sintético (CASTROL SYNTILO RX) na concentração de 5% com vazão de 3 m³/h. O valor adotado para o desgaste de flanco foi $V_B = 0.3$ mm, que foi monitorado a cada dois passes nos corpos de prova. Este valor foi escolhido baseado em trabalho realizado no DEF/FEM/UNICAMP (Costa, 1995) que mostra que ferramentas com cobertura tem sua taxa de desgaste muito aumentada após este valor ter sido ultrapassado. Os parâmetros de corte adotados foram:

- Velocidades de corte (v_c) 360 - 445 e 530 m/min;
- Avanço (f) 0.15 mm/rev;
- Profundidade de corte (a_p) 0.7 mm.

Estas velocidades de corte foram escolhidas porque configuraram um intervalo que vai de um valor 20% menor a 20% maior do que aquele recomendado pelo fabricante da ferramenta.

5. ANÁLISE DOS DESGASTES DAS FERRAMENTAS

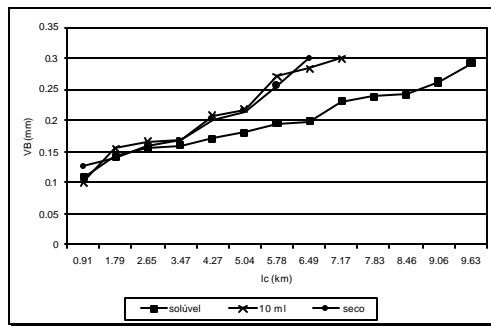


Figura 2 - Desgaste de flanco X comprimento de corte ($v_c = 360$ m/min).

A Figura 2 mostra o comportamento do desgaste de flanco (V_B) contra o comprimento de corte (l_c) para as três condições de refrigeração/lubrificação ensaiadas, com velocidade de corte de 360 m/min. Pode-se observar na figura que as condições a seco e mistura ar / óleo apresentam valores de desgastes similares, enquanto o corte com inundação de óleo solúvel apresentou valores de desgaste de flanco bem menores, somente atingindo o valor limite de desgaste ($V_B = 0.3\text{mm}$) quando o comprimento de corte (l_c) estava próximo de 10 km.

A capacidade de refrigeração do óleo solúvel é muito maior que a da mistura ar/óleo e também que a da simples exposição do processo ao ar (corte a seco); e a capacidade de lubrificação da mistura ar/óleo é igual ou até maior que a do óleo solúvel. Então, o que se conclui a partir dos resultados da Fig. 2 é que a função de lubrificação não foi importante na velocidade de corte testada (a performance do corte a seco foi similar a da mistura ar/óleo) e que a função de refrigeração predominou, já que o corte com óleo solúvel desgastou bem menos a ferramenta. Muito provavelmente, a lubrificação do sistema ar/óleo não foi eficiente, pois o óleo não conseguiu atingir a região de contato ferramenta/peça, já que o sentido do fluxo de ar/óleo era contrário do sentido de rotação da peça.

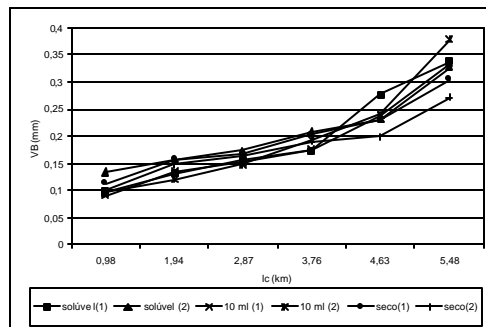


Figura 3 - Desgaste de flanco X comprimento de corte ($v_c = 445\text{m/min}$).

Na Figura 3 pode-se observar o comportamento do desgaste de flanco em função do comprimento de corte, utilizando velocidade de corte de 445 m/min.

A partir dos resultados desta figura conclui-se que, nesta velocidade de corte, tanto a refrigeração como a lubrificação não foram fatores essenciais devido à performance da usinagem a seco ser similar a todas as condições de refrigeração/lubrificação utilizadas, comprovando a viabilidade da usinagem a seco nestas condições. Interessante notar que os resultados nesta velocidade de corte diferem totalmente daqueles obtidos na menor velocidade (360 m/min Fig. 2) e também daqueles na maior velocidade (530 m/min Fig. 4), na qual o óleo solúvel mostrou-se como melhor condição de refrigeração/lubrificação analisando o desgaste da ferramenta. O fato do óleo solúvel não ter apresentado melhor performance nesta condição ocorreu provavelmente devido a uma instabilidade térmica na ferramenta. No

momento que a ferramenta retornava para um novo passe, o fluxo de óleo solúvel resfriava bruscamente a ferramenta, comprometendo a performance da mesma. Outra hipótese que provavelmente deve ter ocorrido nesta velocidade de corte nas condições de corte a seco e com ar/óleo, é que a alta temperatura desenvolvida na região do corte devido à baixa capacidade de refrigeração destes sistemas provoca um amolecimento do material, sendo necessárias forças de corte mais baixas, o que conduz a um desgaste reduzido da ferramenta.

A Figura 4 mostra o comportamento do desgaste de flanco contra o comprimento de corte, utilizando $v_c = 530$ m/min. Nota-se nesta figura que logo após o desgaste de flanco atingir $V_B = 0.3$ mm, houve um rápido crescimento deste desgaste, atingindo valores acima de 1.2 mm. Este fato ocorreu devido ao desgaste ter atingido o substrato da ferramenta, ou seja, após o desgaste de flanco atingir $V_B = 0.3$ mm, as camadas de cobertura, que são responsáveis pela resistência ao desgaste, já foram desgastadas, fazendo com que a ferramenta corte com o seu substrato, que é composto de um metal duro simples e menos resistente (Diniz et al., 1999).

A condição de refrigeração/lubrificação que obteve melhor resultado, levando em conta o comprimento de corte, foi a inundação de óleo solúvel, seguido da usinagem a seco e por último a mistura ar/óleo (névoa). Nota-se através dos resultados que em altas velocidades de corte, a condição ar/óleo (névoa), não apresentou um bom resultado. Este fato ocorreu provavelmente em função da dificuldade de penetração da névoa na região de contato da ferramenta com a peça, devido ao deslocamento de ar em torno da peça durante o processo de usinagem.

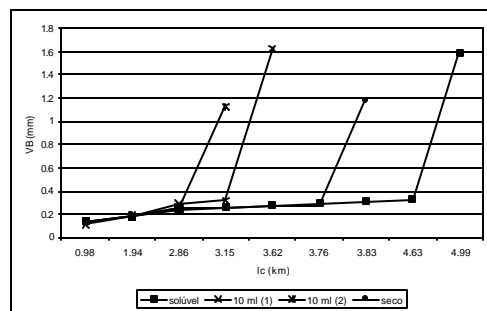


Figura 4 - Desgaste de flanco X comprimento de corte ($v_c = 530$ m/min).

O que pode-se concluir através da análise da figura é que com esta velocidade de corte a lubrificação é um fator de pouca importância pois a performance da mistura ar/óleo foi pior do que a usinagem a seco. Nota-se ainda que a introdução da mistura causou danos ao processo, já que o desgaste nesta condição foi maior que na condição a seco. Provavelmente, a refrigeração/lubrificação com ar/óleo, além de não refrigerar e não lubrificar, pois o fluxo da mistura colocado no sentido contrário à rotação da peça não consegue atingir a região de contato da superfície de folga da ferramenta com a peça, ainda deve ter causado uma instabilidade térmica na ferramenta que incentivou o desgaste. Nesta condição de usinagem a refrigeração teve grande importância, fato que fez com que o sistema de refrigeração/lubrificação por inundação de óleo solúvel apresentasse melhor rendimento.

A Figura 5 mostra o valor da vida da ferramenta em comprimento de corte nas três velocidades ensaiadas. Nota-se na figura que à medida que a velocidade de corte aumenta, o comprimento de corte diminui devido ao demasiado aumento da temperatura na região de corte, conforme já era esperado. Nas velocidades de corte de 360 e 530 m/min a condição de refrigeração/lubrificação que obteve melhor performance foi a inundação de óleo solúvel devido ao seu alto poder de refrigeração, comprovando que nestas velocidades de corte a refrigeração é um item bastante importante.

Na velocidade de corte de 445 m/min, a vida da ferramenta foi igual nas três condições, diferenciando-se das outras duas outras velocidades de corte ensaiadas. Provavelmente este fato deve ter ocorrido devido a uma instabilidade térmica na ferramenta utilizada no corte com óleo solúvel, comprometendo a sua performance e igualando-se com as outras condições.

Outra hipótese para se explicar esta ocorrência é que nas condições a seco e ar/óleo a temperatura na região de corte era mais elevada, provocando amolecimento do material a ser cortado e conseqüentemente provocando um desgaste reduzido da ferramenta, fator esse que se contrapôs à menor temperatura da ferramenta utilizada no corte com óleo solúvel. Nota-se também que nesta velocidade de corte, a lubrificação não foi um fator importante, devido à condição a seco ter obtido a mesma performance comparado com as outras condições. Não foi possível, porém encontrar uma explicação para o fato de que tudo isto tenha ocorrido numa velocidade de corte intermediária. Em outras palavras, não foi possível explicar porque não existe uma tendência das condições refrigeração/lubrificação se igualarem na performance com a variação da velocidade de corte e, conseqüentemente, do calor gerado. Aumentando em 20% a velocidade de corte (de 360 para 445 m/min) as performances equiparam-se e aumentando-se a velocidade ainda mais 20% (de 445 para 530 m/min), a performance da refrigeração/lubrificação com inundação de óleo solúvel volta a ser melhor.

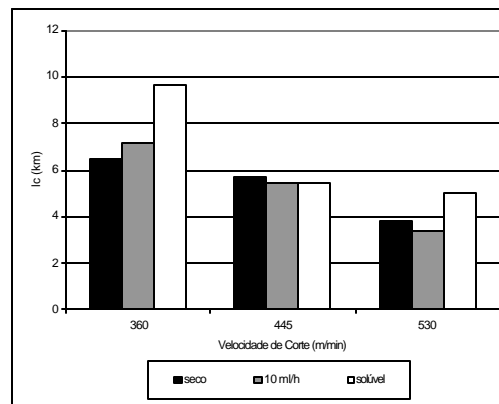


Figura 5 – Vida da ferramenta em comprimento de corte para as diferentes condições de refrigeração/lubrificação para as três velocidades de corte ensaiadas.

Baseado nestes resultados pode-se concluir que a condição de refrigeração/lubrificação MQL não deve ser utilizada em condições similares às deste trabalho, pois a vida da ferramenta com MQL nunca foi substancialmente maior que no corte a seco (com $v_c = 530$ m/min foi até menor). A decisão entre se utilizar o corte a seco ou com óleo solúvel depende de uma análise econômica que verifique qual dos fatores representa maior dispêndio - o óleo (com todos os seus custos de reciclagem, armazenagem, etc.) ou a ferramenta (que no corte a seco vai ser mais dispendiosa). Além disso, há que se levar em conta também, a ausência dos danos ambientais e à saúde dos operadores que o corte a seco representa.

6. CONCLUSÕES

Dado o exposto, pode-se concluir que, para o torneamento de aço SAE 1045 com pastilhas de metal duro recoberta em condições similares às utilizadas neste trabalho, têm os seguintes aspectos:

- Em termos de desgaste da ferramenta, a melhor condição de refrigeração/lubrificação do processo, dentre as testadas, é aquela com óleo solúvel em abundância.
- A utilização da Mínima Quantidade de Lubrificante não apresentou vantagens nem mesmo quando comparada com o corte totalmente a seco.

- Com certeza, o sistema MQL não deve ser utilizado, pois não representou um acréscimo à performance do processo com relação ao corte a seco. A decisão sobre a escolha do corte a seco ou com óleo solúvel em abundância depende de uma análise não somente econômica, mas que também se leve em conta os danos ecológicos e à saúde dos operadores causados pelos óleos refrigerantes.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário Salesiano de São Paulo – UNISAL – Unidade de Ensino de Campinas, pelo empréstimo dos equipamentos e por ter custeado a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, D. U.; DINIZ, A. E.; COPPINI, N.; MIRANDA, G. W. A., 1999, Utilização da técnica de mínima lubrificação por névoa na furação da liga de alumínio-silício SAE-323. IV Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica - CIDIM -
- COSTA, C. E., 1995, Monitoramento do processo de torneamento via corrente elétrica do motor principal da máquina e via vibração da ferramenta, Tese de Mestrado, UNICAMP.
- CSELLE, T., 1995, New Directions in Drilling. Manufacturing Engineering, Albstadt, Germany and Brookfield, WI, p. 77-80.
- DINIZ, A. E. et al., 1999, Tecnologia da Usinagem dos Materiais. São Paulo, MM Editora, 242p.
- DUNLAP, C., 1997, Should you try dry? Cutting tool engineering, v. 49, n. 1, p. 22-33.
- KLOCKE, F.; EISENBLÄTTER, G., 1997, Dry Cutting. Annals of the CIRP, v. 46, n.2, p. 519-526.
- KUSTAS, F. M.; FEHREHNBACHER, L. L.; KOMANDURI, R., 1997, Nanocoatings on cutting tools for dry machining. Annals of the CIRP, v. 46, n.1, p. 39-42.
- MÜLLER-HUMMEL, P.; 1998, Status of Studies to Avoid Cutting Fluids in Aeronautic Aluminium parts production, 4TH International Conference on Behaviour of Materials in Machining, p.110 - 119.

A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF DRY CUTTING AND CUTTING WITH A MINIMUM QUANTITY OF LUBRICANT FOR STEEL TURNING

Abstract. *Following the development of the tools used in machining as well as the increase on cutting speed and the need of these tools to machine and harder alloys, cutting fluids had to be developed to meet the basic needs of these machining operations. Consequently, there was an increase on the utilization of cutting fluids for the machining processes, making evident health problems with workers, as well as with the environmental impact due to fluid disposal. This work aims to observe the viability of using dry cutting and a minimum quantity of lubricant (MQL) in machining processes, comparing them to the abundant use of soluble oil. Therefore, tool wear was followed as 1045 steel was being turned with coated carbide tool, using to the three mentioned refrigeration/lubrication conditions, and in three different cutting speed. The conclusions of this work were: a) the MQL technique did not show any advantage compared to the dry cutting; b) and cutting with abundant soluble oil showed less wear and longer tool life. Though, considering that the difference on tool lives between dry cutting and abundant soluble oil were minimum, the choice on using one or another is a matter of economic viability and/or environmental impact.*

Keywords: *Minimum lubrication; Turning process; Machining.*