



UTILIZAÇÃO DA ESCLEROMETRIA PENDULAR NO ESTUDO DA PERFORMANCE DE FLUIDOS DE CORTE

Wisley Falco Sales*

Jorge Sereno Pinheiro Fernandes

Álison Rocha Machado

José Daniel Biasoli de Mello

Universidade Federal de Uberlândia

Departamento de Engenharia Mecânica

Campus Santa Mônica

Av. João Naves de Ávila, 2160

CEP: 38408-100 - Uberlândia, MG, Brasil

* Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG

Resumo. A técnica esclerométrica foi desenvolvida com o objetivo de simular o desgaste abrasivo. Nesta técnica, as partículas abrasivas isoladas são assimiladas a penetradores duros e de geometria simples, que vão riscar superfícies polidas. Estas condições, muito embora idealizadas, permitem a utilização de modelos simples, podendo contribuir efetivamente para a compreensão de aspectos fundamentais do processo abrasivo. Este trabalho usa esta técnica, executando riscos em superfícies submersas em diversos fluidos de corte com o objetivo de classificá-los quanto à capacidade simultânea refrigerante e lubrificante e avaliando a transferibilidade dos resultados encontrados para o processo de usinagem. Avalia-se a energia específica para riscar corpos de prova de aço ABNT NB 8640 sob diversas condições de lubrificação, por meio da esclerometria pendular, com um pêndulo de Upsala modificado, produzindo uma energia de impacto de 19J. Os ensaios foram realizados com os fluidos emulsionável, sintéticos (2 tipos), na concentração de 5%, e no óleo mineral integral. As condições a seco e com água também foram realizadas para efeitos comparativos. O fluido integral foi o que apresentou menores energias específicas de riscamento enquanto as maiores foram encontradas para a água.

Palavras-Chave: Esclerometria pendular, Fluido de corte, Energia específica.

1. INTRODUÇÃO

As principais características exigidas para um fluido de corte são a capacidade de dissipar calor (refrigeração) da fonte e a capacidade de reduzir a geração de calor (lubrificação) principalmente na interface cavaco-ferramenta. Boa molhabilidade, viscosidade adequada, propriedades anti-soldantes (EP), ausência de odores desagradáveis, pouca tendência à formação de fumaça e espuma e transparência suficiente para permitir a observação da peça durante o processo de usinagem também são desejáveis (Machado e Da Silva, 1993). Tais

propriedades, principalmente a lubrificante e a refrigerante, influem diretamente em parâmetros importantes como acabamento superficial e precisão dimensional da peça, desgaste da ferramenta, potência de corte, pressão específica de corte, entre outros. Portanto, o fluido corte deve ser capaz de fornecer as propriedades requeridas a um custo/benefício interessante ao usuário. Para tornar a escolha a mais correta possível é necessário, além da experiência do responsável, testar corretamente os fluidos selecionados.

A maioria dos testes de fluidos de corte têm por objetivo avaliar em uma situação real de usinagem a performance de um fluido, normalmente em relação à condição de corte a seco, ou em relação a outro fluido. Tais testes são geralmente dispendiosos já que em sua maioria são feitos diretamente nas linhas de produção gerando interrupções e às vezes perda de matéria prima devido a resultados insatisfatórios.

A escolha da técnica de esclerometria pendular para avaliação de fluidos de corte ganha importância pelas situações dinâmicas, onde a remoção de matéria ocorre com elevadas deformações e sob altas taxas de deformação plástica (Soderberg *et al.*, 1985). Esta técnica, inicialmente desenvolvida com o objetivo de se estudar o desgaste abrasivo dos materiais, permite avaliar as características de refrigeração e de lubrificação dos fluidos de corte, em um procedimento que não envolve usinagem. O esclerômetro pendular utilizado neste trabalho foi derivado do martelo utilizado no ensaio de impacto Charpy e foi projetado, construído e avaliado por Franco (1989). A Figura 1 mostra o desenho esquemático do esclerômetro pendular utilizado.

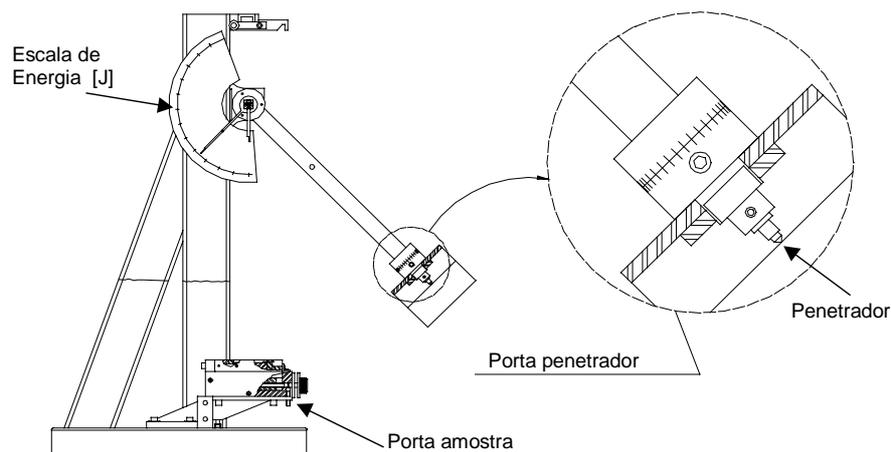


Figura 1 - Diagrama do esclerômetro pendular, mostrando os diversos componentes do instrumento (Franco, 1989).

Este ensaio apresenta uma elevada velocidade de percussão, 4,1 m/s (246 m/min), que está próxima dos valores normalmente utilizados nas operações de usinagem. Por essa razão, ele se aproxima muito da situação prática real. As temperaturas geradas durante o risco são também elevadas.

Objetivou-se com este trabalho avaliar, por meio da energia específica de riscamento a qualidade de diversos fluidos de corte. Com isso, poder explicar diversos resultados práticos, com a vantagem de não necessitar utilizar ensaios dispendiosos de usinagem.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os fluidos de corte testados foram: mineral integral, emulsionável, sintético 1 e sintético 2. Os dois fluidos sintéticos apresentam formulações semelhantes, O sintético 1 é à base de

poliglicol, que o confere excelentes propriedades refrigerantes, e de aditivos. O sintético 2 diferencia-se no teor de aditivos. Além disso ele contém aditivos à base de sódio que reduz a tensão superficial do vapor, facilitando a nucleação e o destacamento das bolhas geradas em altas temperaturas, permitindo o acesso do fluido nessas regiões.

O ensaio consiste em produzir um risco em uma amostra com a topografia da superfície conhecida, por meio de um penetrador de geometria conhecida e controlada. O penetrador é fixado na extremidade de um pêndulo, com massa previamente ajustada, e liberado de uma determinada altura. O sistema possui inicialmente, uma energia potencial armazenada. Após a execução do risco, o êmbolo atinge determinada altura. Uma escala graduada no instrumento registra diretamente a energia consumida no ensaio. A superfície da amostra está submersa em uma camada de fluido de corte. A amostra é pesada antes e após o risco. Calcula-se a energia específica, que é a relação entre a energia gasta para riscar e a perda de massa.

Uma amostra de 12 mm de espessura foi cortada de uma barra de aço ABNT NB 8640 com seção circular de 102 mm de diâmetro. Da amostra foram seccionados paralelepípedos de $11 \times 11 \times 60 \text{ mm}^3$, por meio de corte com um disco abrasivo de SiC, com a utilização de fluido de corte emulsionável. As faces dos paralelepípedos foram retificadas em uma retificadora tangencial Netzsch, MPS1. Em seguida foram lapidadas, em uma lapidadora Lapmaster, nos abrasivos SiC 80 mesh seguida pela 600 mesh. As faces foram polidas em pasta de diamante de $3 \mu\text{m}$.

De uma barra de seção quadrada de 5 mm de aresta, sinterizada de WC e Co, foi fabricado um penetrador piramidal de base quadrada.

As faces retificadas sofreram lapidação até o abrasivo SiC 600, seguido de polimento em pasta de diamante $3 \mu\text{m}$. Para impedir a fragilização da ponta, foi feito um truncamento, de forma que esta apresentasse uma base quadrada de 0,48 mm de lado, medidas em um sistema analisador de imagens. A Figura 2 mostra o desenho esquemático da ponta do penetrador.

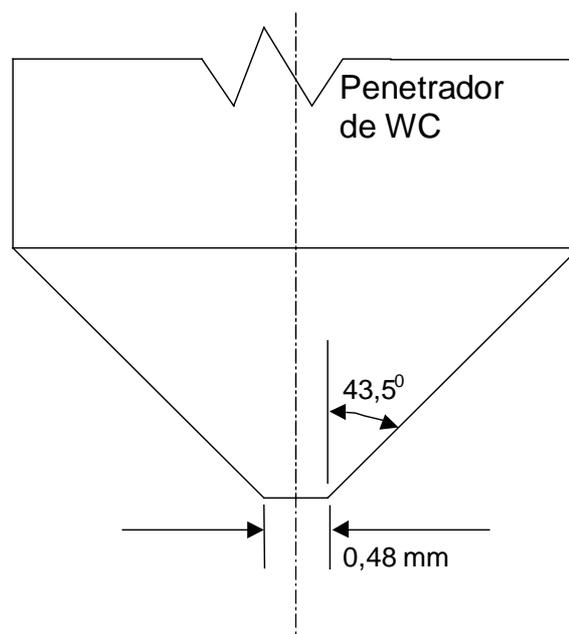


Figura 2 - Detalhes da ponta do penetrador.

Após cada risco, a face de ataque do penetrador era analisada com uma lupa, com capacidade de ampliação de 25 vezes. Na existência de material aderido, ou pequeno desgaste na ponta do penetrador, a face era novamente polida com pasta de diamante 3 micra.

Com o objetivo de riscar a superfície imersa em óleo, o corpo de provas foi envolvido por uma fita adesiva até 3 mm da superfície a ser riscada. Uma fita adesiva contornava a amostra

formando um reservatório de fluido. O fluido era colocado sobre a superfície cobrindo-a totalmente. A Figura 3 mostra detalhes da amostra submersa com o fluido de corte em estudo.

Foi utilizado um pêndulo com uma massa de 2,860 Kg , liberado a um ângulo de 154° , com energia de 19 J e velocidade de percussão de 4,1 m/s . A profundidade máxima do risco foi variada por meio de um parafuso com passo de rosca micrométrico, que eleva ou abaixa a mesa com a amostra, entre 40 e 250 μm . A energia consumida no risco é lida diretamente no instrumento em uma escala devidamente calibrada.

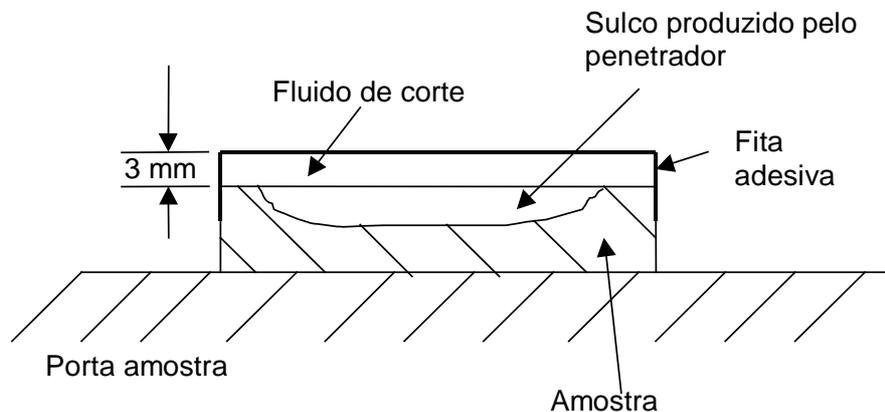


Figura 3 – Amostra utilizada nos ensaios de riscamento.

O corpo de provas era pesado antes e após o ensaio, por meio de uma balança Sartorius, modelo MC210P, com resolução de 10^{-8} Kg . Após o ensaio, o corpo de provas era colocado submerso em um reservatório com acetona e lavado durante 5 minutos em uma máquina de limpeza ultra-sonora Mini-som. Em seguida, era secado com um jato de ar quente. Só então era pesado. A partir da energia consumida no risco e da perda de massa respectiva, a energia específica era calculada.

Os riscos com perda de massa próxima de 5,0 mg tiveram seus cavacos coletados nas diversas condições analisadas. Foram embutidos a frio seguindo-se o lixamento até a lixa de SiC mesh 1000 e polimento em pasta de diamante de granulometria 3 μm . Por meio do micro durômetro Carl Zeiss foram medidas microdurezas Vickers, carga de 50 g. Na seção longitudinal do cavaco foi selecionada a região de maior espessura e realizadas três medidas na região mediana. A microdureza apresentada é o valor médio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 mostra o comportamento da energia específica consumida nos riscos, de amostras de aço ABNT NB 8640 imersas, 3 mm de coluna, em diversos fluidos de corte.

A Figura 5 mostra as curvas dos pontos experimentais obtidos, ajustadas por um modelo de potência sugerido por Franco (1989).

A análise das Figs. 4 e 5 mostra que a energia específica de riscamento aumenta rapidamente com a redução da profundidade do risco, independente da condição de lubrificação utilizada. Franco (1989) atribui isto a dois fatores: efeito de escala (Backer *et al.*, 1974) e aos mecanismos de formação do cavaco (Brygman *et al.*, 1985).

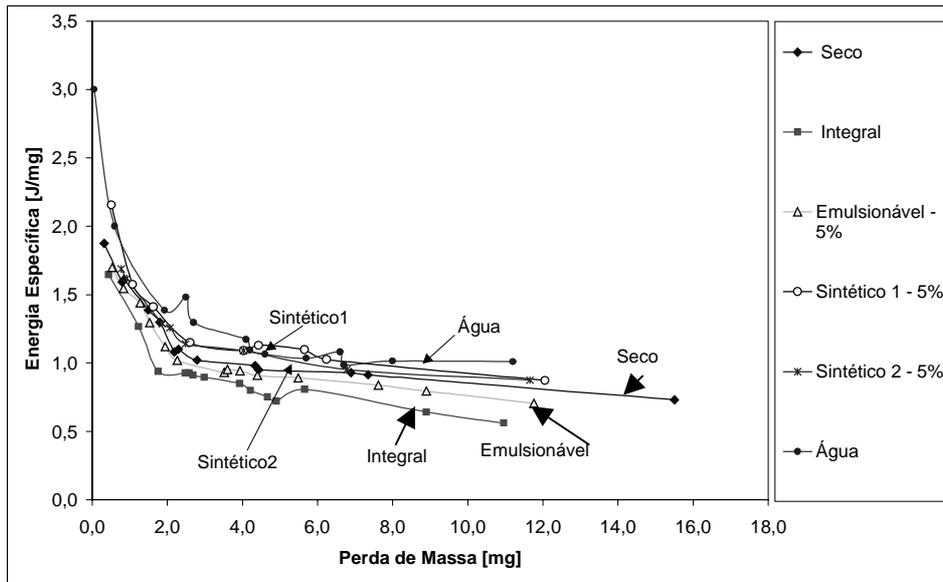


Figura 4 - Energia específica consumida em amostras aço ABNT NB 8640 submersas em fluidos de corte. Pontos experimentais.

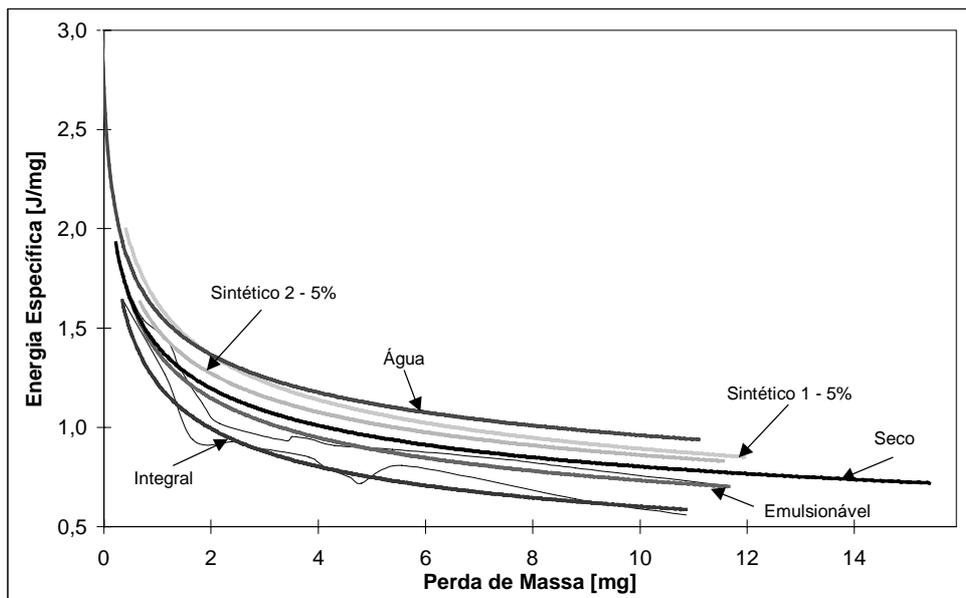


Figura 5 - Curvas ajustadas por um modelo de potências.

O modelo de potência ajustado é dado pela Eq. (1), como segue:

$$e = K \cdot V^q \quad (1)$$

onde K e q são coeficientes característicos dos materiais e V é a variação volumétrica média no ensaio.

A Tabela 1 mostra os coeficientes K e q da Eq. (1), só que considerando a perda de massa Δm no lugar da variação volumétrica, V, para os diversos fluidos e o coeficiente de correlação "r". A Equação 1. é alterada, e fica na forma da Eq. (2).

$$e = K \cdot \Delta m^q \quad (2)$$

Tabela 1 - Parâmetros característicos do ajuste em modelo de potência.

Fluido	K	Q	r
Água	1,6132	-0,2242	0,9802
Integral	1,2592	-0,3192	0,9787
Emulsionável	1,417	-0,285	0,9820
Seco	1,444	-0,254	0,9871
Sintético 1	1,6667	-0,2699	0,9790
Sintético 2	1,5283	-0,2482	0,9790

A análise dos parâmetros característicos do ajuste mostra uma boa correlação com o modelo proposto pela Eq. 2.

Observa-se que a condição com o fluido mineral integral foi a que menos consumiu energia por unidade de massa retirada, durante toda a faixa de perdas de massa experimentada. A água e o sintético 1 foram os que apresentaram maiores valores de energia específica.

A condição a seco ficou numa faixa intermediária de energia específica. Acima dela, estão os fluidos sintético 2 e sintético 1, e água em ordem crescente. Abaixo, estão o emulsionável e o integral.

Como anteriormente citado, o ensaio de esclerometria pendular apresenta velocidades de percussão da ordem de 4,1 m/s, o que corresponde a 246 m/min (Franco, 1989). Esta é uma velocidade de corte comumente encontrada na prática, na usinagem de aços com ferramentas de metal duro. O ensaio realizado possibilitou profundidades dos riscos até 300 μm (0,3 mm). Com estas características, o ensaio se aproxima dos ensaios reais de usinagem. As temperaturas geradas na interface cavaco-amostra são elevadas. Isto pode ser verificado pela coloração azul do cavaco.

Sales *et al.* (1998) formularam uma metodologia experimental para avaliar as características refrigerantes dos fluidos de corte. Eles estudaram e mediram o poder refrigerante desses fluidos e encontraram em ordem decrescente do coeficiente de troca de calor: seco, mineral integral, emulsionável, sintético 2 e sintético 1. Segundo eles o fluido sintético 1 refrigera 10,9 vezes mais que a seco e, 2,6 vezes mais que o emulsionável.

Conforme mostrado na Fig. 5 os fluidos com maior capacidade de retirada de calor foram os que apresentaram maiores energias específicas. Os que possuíam uma maior capacidade de lubrificação, apresentaram uma menor energia.

Durante o riscamento a seco, uma parcela considerável da energia necessária para riscar é convertida em energia térmica. Isto ocorre em uma região extremamente localizada, o que sugere uma elevação repentina da temperatura e promove o amolecimento do material da amostra.

Como os fluidos sintéticos e a água apresentam excelentes propriedades relacionadas à retirada de calor, o riscamento ocorre sempre em baixas temperaturas. Isto impede o amolecimento e faz com que estes fluidos apresentem elevados valores de energia específica. Já com o fluido integral, a sua lubrificidade aliada a uma pobre capacidade de retirada de calor, promove uma redução no coeficiente de atrito e o corte ocorra em temperaturas elevadas e de certa forma facilitando o corte do metal, reduzindo o consumo de energia.

Com a condição a seco, não há troca de calor com nenhum fluido. Isto faz com que somente a condução no material da amostra e a convecção com o meio não promovam trocas de calor relativamente elevadas, comparadas com as condições com fluidos. Com isto, o corte

ocorre sempre em elevadas temperaturas e o efeito amolecimento é fortemente dominante, o que reduz bastante a energia específica.

O fluido emulsionável apresenta propriedades lubrificantes e refrigerantes intermediárias. Com isto, os efeitos de amolecimento e redução do atrito são também intermediários. Isto justifica ele ter apresentado um consumo médio de energia nos riscamentos, abaixo da condição a seco e acima do integral.

Para análise dos riscos no microscópio eletrônico de varredura foram selecionados 3 riscos, efetuados nas seguintes condições: com o óleo mineral integral e o sintético 1, que foram as condições extremas de energia específica e a seco que ficou na posição mediana mostrada na Fig. 4. Eles foram selecionados em condições de perda de massa bem próximas de 5,0 mg, já que o controle rígido desta perda não é conseguido no esclerômetro pendular.

A Figura 5 mostra o risco produzido na condição a seco.

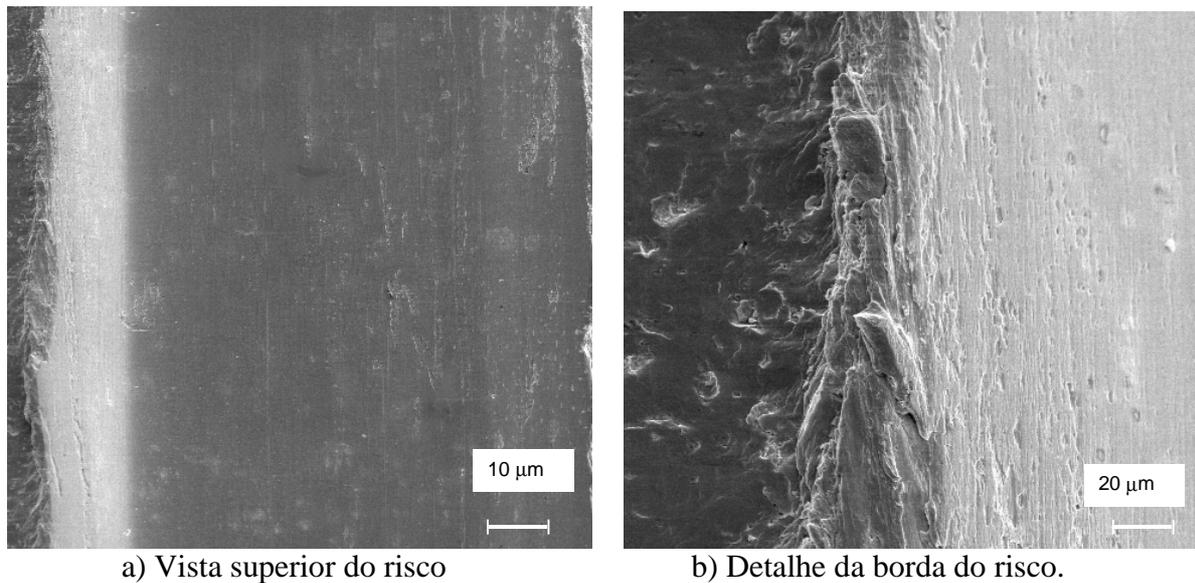


Figura 5 - Risco produzido a seco.

A Figura 6 mostra o risco produzido na condição com fluido integral.

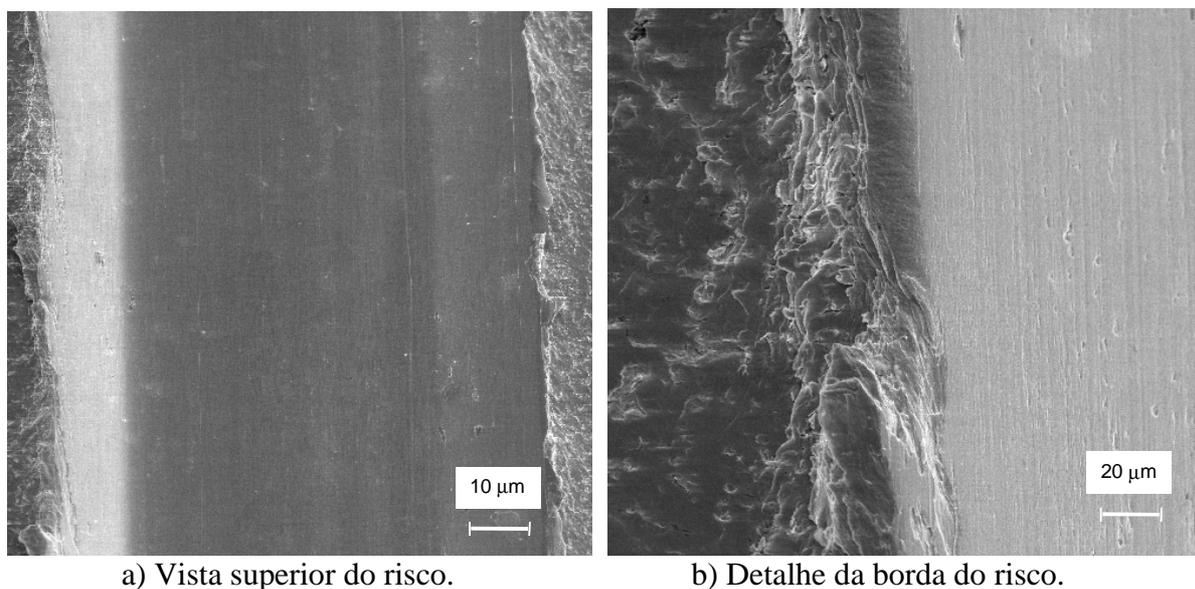


Figura 6 - Risco produzido com o fluido integral.

A Figura 7 mostra o risco produzido na condição com fluido sintético 1.

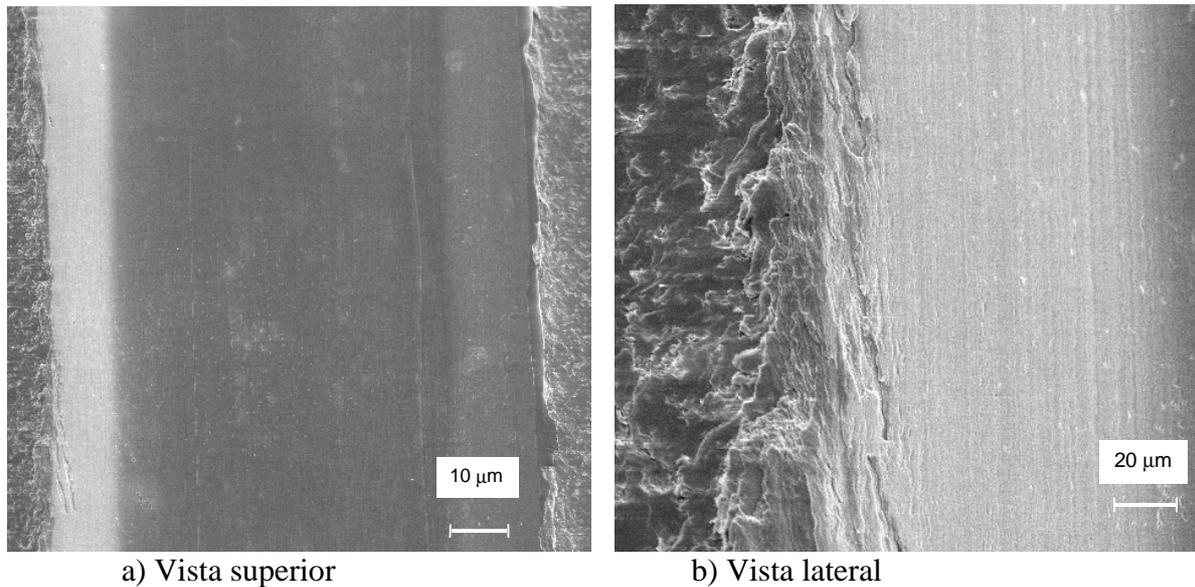


Figura 7 - Risco produzido com o fluido sintético 1.

A análise das Figs. 5 a 7 mostra que visualmente o risco produzido com o óleo integral processou-se de forma mais suave. Enquanto a seco as características de severidade são mais evidentes. Com fluido sintético 1 o grau de severidade apresenta-se intermediário. Nestas figuras observa-se as laterais dos riscos com intensas deformações plásticas e o sulco produzido, com grande quantidade de material removido.

A Figura 8 mostra os valores de microdureza Vickers realizados com carga de 50 g .

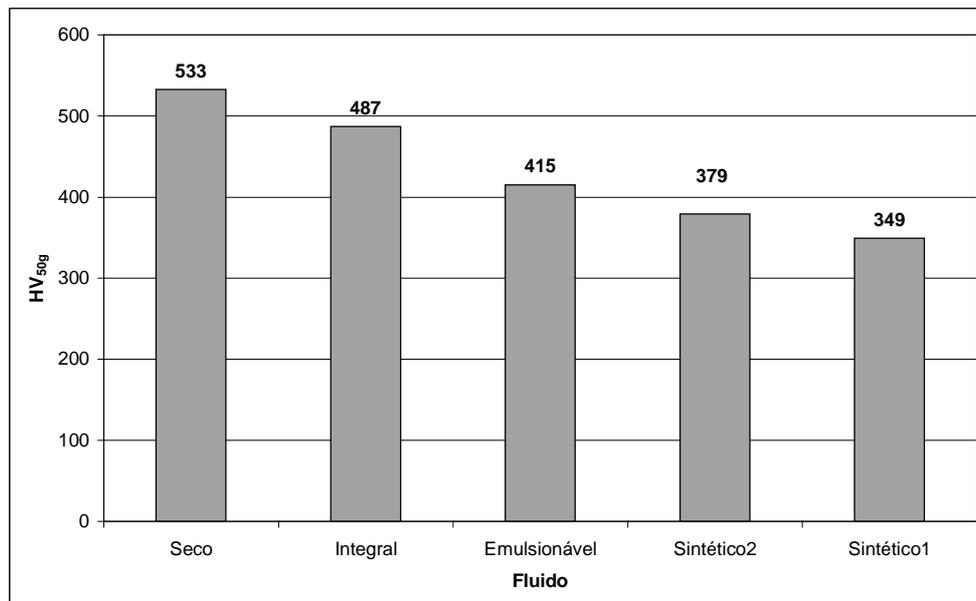


Figura 8 - Microdureza Vickers da seção dos cavacos. Carga de 50 g .

A Figura 8 mostra que a microdureza encontrada em ordem crescente foi: sintético 1, seco, sintético 2, emulsionável e integral.

Segundo El-Khabeery *et al.* (1991), elevadas velocidades de corte aumenta a temperatura nas zonas de cisalhamento e na interface cavaco-ferramenta, promovendo o aquecimento da superfície de saída da ferramenta e favorecendo as condições de aderência. Isto estende o fluxo de deformações plásticas à subsuperfície do cavaco e da peça. Quanto maior a taxa de deformação, maior o nível de temperatura e da abrangência do fluxo plástico, contribuindo para a elevação dos níveis de microdureza. Na esclerometria pendular a superfície de teste fica submersa e, as condições de elevada taxa de refrigeração promovem a retirada de material a níveis de temperatura inferiores às demais. Isto conduz a níveis de deformações e de microdurezas inferiores. Isto pode explicar os baixos valores de microdureza encontrados nos cavacos dos sintéticos (Fig. 8).

Na condição a seco, a convecção natural não é suficiente para promover o resfriamento. Portanto as temperaturas e as deformações desenvolvidas na superfície e subsuperfície são elevadas e, conseqüentemente, a microdureza é maior que as demais condições. O fluido integral é pobre condutor de calor (Sales *et al.*, 1998). Mas, as trocas de calor são ligeiramente superiores que a seco. Com isto, os níveis de microdureza são menores que a seco, contudo maiores que nos outros fluidos. O fluido sintético 1, que é um excelente refrigerante promove o risco em temperaturas e deformações a níveis reduzidos, e a microdureza dos cavacos é baixa, apenas um pouco superior à encontrada na matriz (H_V290).

O fluido sintético 2 apresenta capacidade refrigerante ligeiramente superior ao emulsionável (Sales *et al.*, 1998), o que promoveu níveis de deformações menores.

4. CONCLUSÕES

- A esclerometria pendular é um ensaio dinâmico realizado em bancada que permitiu classificar os fluidos de corte em ordem crescente de energia específica em: integral, emulsionável, seco, sintético 2, sintético 1 e água.
- As condições de maior capacidade de retirada de calor e menor qualidade lubrificante como o sintético 1 e a água, apresentaram maiores níveis de energia específica.
- As condições com menores capacidades de retirada de calor e maiores qualidades lubrificantes como o óleo integral, apresentaram menores níveis de energia específica.
- A microdureza dos cavacos, em ordem crescente foi: sintético 1, sintético 2, emulsionável, integral e seco.
- A condição a seco apresentou cavacos com maiores valores de microdureza enquanto o fluido sintético 1, os menores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Uberlândia, Departamentos de Engenharia Mecânica e de Ciências Físicas pelo suporte técnico dispensado, à FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

Backer, W.R.; Marshall, E.R. and Shaw, M.C., 1952, The Size Effect in Metal Cutting; Transactions of ASME, 74, pp. 61-72.

- Bryggman, V.; Hogmark, S. and Vingsbo, O., 1985, Mechanisms of Gouging Abrasive Wear of Steel Investigated With The Aid of Pendulum Single Pass Grooving; Annals of Int. Conf. On Wear of Materials, Canada, 324-331.
- El-Khabeery, M.M.; Salch, S.M. and Ramadan, M.R., 1991, Some Observations of Surface Integrity of Deep Drilling Holes; Wear, 142, pp. 331-349.
- Franco, S. D., 1989, Contribuição ao Estudo do Desgaste Abrasivo de Materiais Polifásicos; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, MG, Brasil, 115p.
- Machado, A..R. e Da Silva, 1993, Usinagem dos Metais; Editora UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, Brasil.
- Sales, W.F.; Barbosa, M.F. e Machado, A.R., 1998, Método Experimental para Medir a Capacidade de Refrigeração de Fluidos de Corte, V Congresso Brasileiro de Eng, Mecânica, pp. 332-339.
- Säynätjoki, M. and Routio, M., 1992, Drilling Test - A Method for Cutting Fluid Evaluation, Nordic Symposium on Tribology, vol. 1, pp. 30-38.
- Söderberg, S. and Vingsbo, O., 1981, Performance and Failure of High Speed Steel Drills Related to Wear; Int. Conf. On Wear of Materials, San Francisco, USA, April, 1.

THE USE OF PENDULAR SCRATCH TEST FOR STUDYING CUTTING FLUIDS PERFORMANCE

Abstract. *Scratch test technique was developed with the objective of simulating the abrasive wear. In this technique, the isolated abrasive particles are assimilated to a hard, simple geometry indenter that will scratch out polished surfaces. These conditions, although idealized, allow the use of simple models that could contribute to the understanding of fundamental aspects of the abrasive process. This technique were used in this work by making risks in steel workpieces surfaces submerged in several cutting fluids with the objective of classifying them regarding to its simultaneous coolant and lubricant qualities and evaluating the possibility of transferring the results to the machining processes. The specific energy needed to scratch out workpieces of ABNT NB 8640 steel is evaluated under several lubrication conditions. A modified Upsala's pendulum, producing an impact energy of 19J was used. The experimental tests were carried out with the following fluids: soluble oil, synthetic (2 types), in the concentration of 5%, and a neat mineral oil. Dry condition and water were also tested for comparative analysis. The neat mineral oil presented the lower scratching specific energy while highest was found for water.*

Keywords: Pendular scratch test, Cutting Fluids, Specific energy.