



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE EM ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA PENDULAR

Marcília Batista Amorim Finzi, marciliafinzi@gmail.com
Arthur Henrique Rezende Vieira, arthurhenrique_rezende@hotmail.com
Matheus Pereira Carvalho, matheusmecufu@hotmail.com
Bruno Henrique Candido, bruno30009@yahoo.com.br
Alisson Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1M. Uberlândia-MG, Brasil

Resumo: A operação de esclerometria é um processo que simula de forma simplificada o desgaste abrasivo de um material em condições similares as reais de usinagem (velocidade alcançada de 4,1 m/s (246 m/min)), tornando o processo apropriado para investigar o desempenho lubri-refrigerante dos Fluidos de Corte (FC). Neste trabalho utilizou-se esta técnica realizando riscos com um penetrador piramidal truncado, em superfícies polidas de aço inoxidável ABNT 304 com o objetivo de caracterizar o desempenho de dois fluidos de corte (um de base mineral e outro de base vegetal). Para tanto as amostras desse aço foram, submersas nos fluidos de corte e testadas também na condição seca, para comparação. A profundidade de riscamento (profundidade de penetração do penetrador) foi variada de 24 a 168 μm para permitir a construção da curva característica de Energia Específica pela perda de massa para cada condição testada. A massa de material removida foi determinada através da pesagem dos corpos de prova antes e depois do ensaio (diferencial de massa perdida). Os resultados mostraram que a condição a seco apresentou menor energia específica de riscamento que na condição úmida, para pequenas perdas de massa (até 1,0 mg), com o fluido de base vegetal sendo melhor que o de base mineral. Para valores maiores, os fluidos de corte apresentaram menores energias específicas de riscamento, com desempenhos muito similares entre os dois fluidos.

Palavras-chave: Fluidos de corte, esclerometria pendular, desempenho lubrirefrigerante, energia específica de riscamento

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis austeníticos (AIAs) são assim chamados devido a adição de níquel, manganês e nitrogênio (estabilizantes da austenita mesmo em temperatura ambiente). Possuem estrutura CFC, são não magnéticos na condição recozida e podem ser endurecidos por conformação a frio principalmente (Davis, 1994). A série 300 (mais conhecida entre os AIAs) pode conter até 35% de cromo, 16 a 26% de níquel e até 2% de manganês (Davis, 1994). Dentre os AIAs da série 300, destaca-se o aço ABNT 304 por suas propriedades de resistência à corrosão (principalmente a corrosão intercrystalina), conformabilidade, soldabilidade e menor teor de carbono (Chiaverini, 1986; New 200 series steels, 2005). Trata-se de um aço de baixa usinabilidade, pois apresenta alta tendência ao encruamento, baixa condutividade térmica (o calor gerado fica concentrado na região de corte aumentando o desgaste da ferramenta, principalmente por processos termicamente induzidos), alta ductilidade e alta resistência ao cisalhamento (Korkut et al, 2003; Shokrani et al, 2012).

A escolha da técnica de esclerometria pendular para os testes de riscamento ganha importância pelas situações dinâmicas, onde a remoção de matéria ocorre com elevadas deformações e sob altas taxas de deformação plástica (Korkut et al, 2003). O princípio de funcionamento da esclerometria pendular consiste na liberação do pêndulo, onde o penetrador é fixado, para gerar na amostra, fixa na parte inferior da trajetória, um risco cuja geometria depende da forma do penetrador utilizado e da profundidade de riscamento ajustada (Figura 1). A energia dissipada para produzir o risco é determinada pela variação da energia potencial do pêndulo, de maneira similar ao ensaio Charpy (Chiaverini, 1986).

A energia específica de riscamento é definida como sendo a energia consumida por unidade de massa de material removido. Este parâmetro representa a resistência à abrasão dos materiais (Bryggman, 1985; Korkut et al, 2003; New 200 series steels, 2005). Com isto, um material com elevada energia específica de riscamento deve apresentar uma boa resistência ao desgaste (Franco, 1989). O 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 de usinagem. As temperaturas geradas durante o risco também são elevadas (Davis, 1994).

O teste de esclerometria pendular pode, também, ser utilizado para avaliar o desempenho lubri-refrigerante de Fluido de corte (FC), pois ele influencia na energia consumida no riscamento. O princípio básico da utilização de FC é para providenciar lubrificação (em baixas velocidades e altas tensões de corte) e refrigeração (em altas velocidades de corte) (Davis, 1994). Nos processos de usinagem o FC traz benefícios quando o mesmo é escolhido e aplicado apropriadamente. Entre esses benefícios, estão o aumento da vida da ferramenta, redução das forças de corte, melhora no acabamento superficial da peça, além de facilitar a remoção do cavaco e aumentar a precisão dimensional da peça, dentre outros (Machado, 2015). Pode-se ainda considerar o uso de lubri-refrigerantes para reduzir a quantidade de calor gerado através da redução do atrito que é reduzido em cerca de 30% quando de sua utilização (Alves, 2005).

A superfície metálica recém usinada e altamente reativa é protegida pelo FC, pois o fluido interage com essa superfície, evitando assim o contato com os gases do ar. Porém a usinagem dos materiais também pode ocorrer em ambiente seco (o ar atmosférico envolve o sistema peça-ferramenta-cavaco) onde a utilização de um FC é contra indicada. Este estudo propõe investigar o desempenho lubri-refrigerante de dois FC, miscíveis em água, um de base vegetal emulsionável e outro de base mineral semissintético, em testes de esclerometria pendular (figura 1), tendo como parâmetro a determinação da energia específica em cada ensaio. Foram comparados os ambientes: úmido (utilizando os dois FCs) e seco.

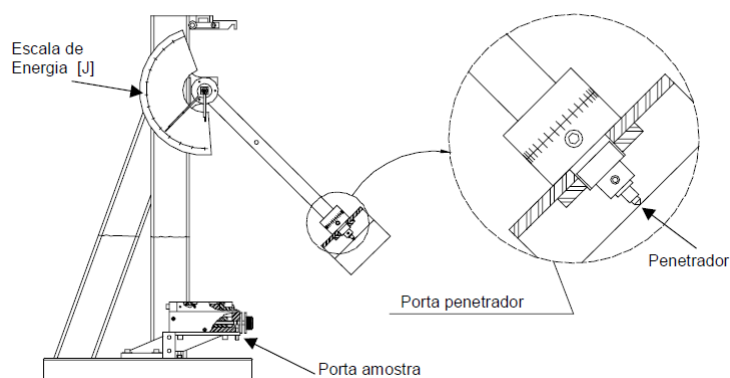


Figura 1 - Diagrama do esclerometro pendular, mostrando os diversos componentes do instrumento (Franco, 1989 apud Santos et al., 2007).

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Preparo dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados a partir do aço inoxidável ABNT 304, em formato de paralelepípedos, com dimensões de 9 mm x 9 mm x 45 mm. Foram retificados em uma retificadora tangencial com rebolo de alumina com grana 46, apresentando uma rugosidade média R_a de 0,17 μm .

Preparo do penetrador

O penetrador foi projetado em formato piramidal, a partir de metal duro (WC - Carboneto de tungstênio na matriz de Co – Cobalto), apresentando ponta truncada (0,48 mm de lado) (Figura 2a). Após cada risco, a face de ataque do penetrador foi analisada com uma lupa, com capacidade de ampliação de 25 vezes. Na existência de material aderido ou pequeno desgaste/lascamento na ponta do penetrador, o mesmo era descartado e substituído.

Preparo do Fluido de corte

Os dois FCs utilizados neste estudo eram emulsões, sendo um de base vegetal (macro-emulsão) e outro de base mineral (micro-emulsão/semisintético). A concentração final de cada fluido testado após diluição em água destilada estéril foi de 8% verificado em refractômetro digital (modelo PDR50B com taxa de medição de 0 a 50% BRIX e precisão de $\pm 0,1\%$ BRIX).

Testes de Esclerometria Pendular

A metodologia utilizada por Franco (1989) foi adaptada considerando-se também a metodologia de Sales e colaboradores (1999). Resumidamente, as amostras, após fixadas no porta amostras da mesa do esclerômetro pendular, passaram pelo ajuste micrométrico de altura para que a origem fosse estabelecida entre o penetrador e a superfície do corpo de prova. Após o

procedimento de referenciamento, a altura da mesa foi ajustada de acordo com a profundidade desejada, em relação a base truncada na ponta do penetrador e a superfície do material. Essa profundidade de riscamento foi variada, totalizando sete dimensões nominais (24, 48, 72, 96, 120, 144 e 168 micrometros). O ajuste da profundidade do risco foi feito por meio de um parafuso com passo de rosca micrométrico existente na máquina.

Foram realizados três riscos para cada profundidade e condição de teste (seco, FC de bases vegetal e mineral) totalizando 63 riscos. O risco foi produzido a partir da liberação do pêndulo, com massa de 0,877 Kg, posicionado inicialmente a um ângulo de 154°, com energia de 4,24 J e velocidade de percussão de 4,9 m/s (Franco, 1989). A máquina foi novamente referenciada antes de cada novo risco.

Quando do riscamento em ambiente úmido, a superfície do corpo de prova foi submersa em uma camada contendo 1,2 mL de FC, retido por fita adesiva, formando um pequeno reservatório (Figura 2B). Após cada ensaio, o corpo de prova testado foi limpo em água e depois imerso em acetona e colocado para vibrar, durante 5 minutos em um equipamento Mini-som ultrassônico. Na sequência foram secados com jato de ar e pesados (antes e após o risco) por meio de uma balança Sartorius, modelo MC210P, com resolução de 10^{-5} g.

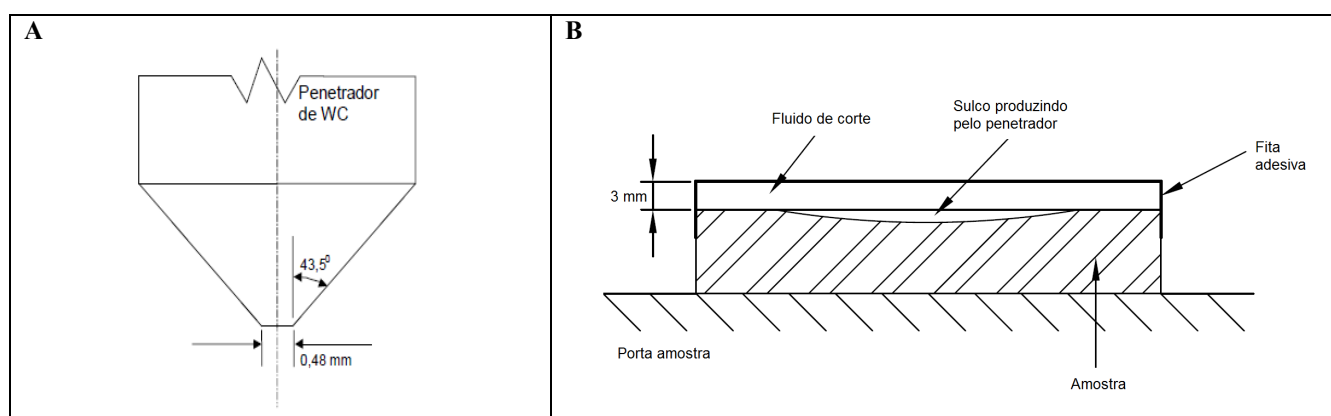


Figura 2 – (A) Detalhes da ponta do penetrador; (B) sulco produzido pela trajetória do penetrador no corpo de prova (Sales et al, 1999).

Calculo da energia específica

É possível determinar a resistência ao riscamento do sistema (corpo de prova, fluido de corte e penetrador), através do cálculo da energia específica necessária para promover o risco, obtida através do registro dessa energia e do diferencial de massa perdida, utilizando a Eq. 1 (Franco, 1989).

$$e = \frac{E}{\Delta m} (J / mg)$$

1

Sendo:

e – Energia específica de riscamento (J/mg)

E – Energia consumida na produção do risco (J)

Δm – diferencial de massa perdida (mg)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados experimentais obtidos de energia específica para cada ambiente testado são mostrados na Fig. 3. Estas curvas foram ajustadas por um modelo dado pela Eq. 2.

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

Sendo “K” e “q” coeficientes característicos dos materiais e “ Δm ” é a variação da massa média no ensaio. A análise dos parâmetros característicos de ajuste das curvas de energia específica mostra uma boa correlação com o modelo proposto pela Equação 2, na qual os coeficientes de correlação “R²” são próximos de 1 (Tabela 1). As curvas ajustadas são apresentadas na Fig. 4.

Assim como Sales et al. (1999) no riscamento do aço ABNT NB 8640 utilizando esclerometria pendular, observou-se no aço inoxidável ABNT 304 e condições de teste investigadas que, independentemente do ambiente testado, ocorreu uma rápida redução da energia específica com o aumento da profundidade. A diferença encontrada entre as energias consumidas para os dois ambientes testados (seco *versus* úmido) é bem relatada na literatura (Sales et al., 1999; Santos et al., 2007; Machado et al., 2015) e confirma a propriedade que os FCs possuem de diminuir as forças de atrito e a tensão de cisalhamento do material. Entretanto características inerentes aos próprios FCs (como viscosidade, tipo de emulsão, tipo de base do óleo - mineral/vegetal, etc.) podem justificar os diferentes valores de massa perdida encontrados para ambos, em comparação ao ambiente seco.

Os resultados apresentados nas Figs. 3 e 4 mostram comportamento bastante similar entre as diferentes condições de teste investigadas. Diferenças significativas são observadas apenas quando se utilizou profundidades de riscamento muito pequenas (perda de massa menor que 0,4 mg). Para profundidades de riscamento maiores (perda de massa maior que 0,4 mg), a energia específica de riscamento para o óleo de base vegetal e base mineral e a condição a seco se confundem ou se intercalam na posição de menor energia, dependendo da massa perdida no teste.

Dentre os pontos experimentais, os valores máximos das energias específicas obtidas para as três condições testadas foram: i.) 43,52 J/mg (utilizando FC de base vegetal), ii.) 37,44 J/mg (para o FC de base mineral) e iii.) 24,68 J/mg (condição sem fluido). Apesar do maior valor de energia específica inicial obtido para o FC de base vegetal, observa-se uma maior redução em sua curva de energia aproximando-se do comportamento observado para o ambiente sem FC no trecho em que a perda de massa esteve entre 0,3 mg e 0,9 mg aproximadamente. Analisando ainda o ambiente úmido, os resultados de energia específica obtidos podem confirmar dados da literatura quanto as propriedades lubri-refrigerantes dos FC vegetais devido a presença de polaridade das moléculas, quando comparado aos FCs minerais apolares.

Essa característica polar dos FCs fabricados a partir de óleos de bases vegetais, possibilita que o filme de fluido em contato com a superfície do material, confira ao mesmo propriedades anti-desgaste. A forte interação intermolecular fornece um coeficiente de viscosidade estável ou superior, pois é resistente às mudanças de temperatura (Lawal et al, 2012). Já os FCs de base mineral possuem a característica de serem apolares em contato com a superfície recém usinada do material, portanto as moléculas neste estreito contato comportam-se de forma desorganizada, conferindo uma capacidade lubrificante inferior a dos óleos de base vegetal (Wood, 2005).

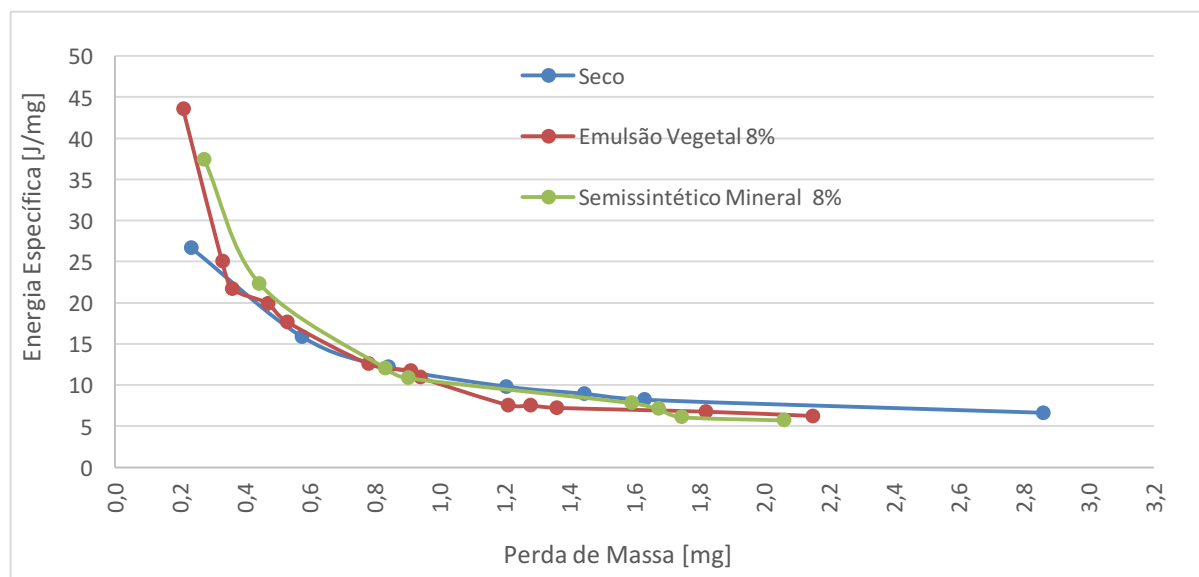


Figura 3 – Energia específica consumida durante riscamento de superfícies polidas de aço inoxidável ABNT 304 submersas em fluidos de corte. Pontos experimentais

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

Ambiente	k	q	R ²
Seco	11,299	-0,576	0,9925
Emulsão Vegetal 8%	10,224	-0,847	0,9848
Semissintético Mineral 8%	10,841	-0,909	0,9895

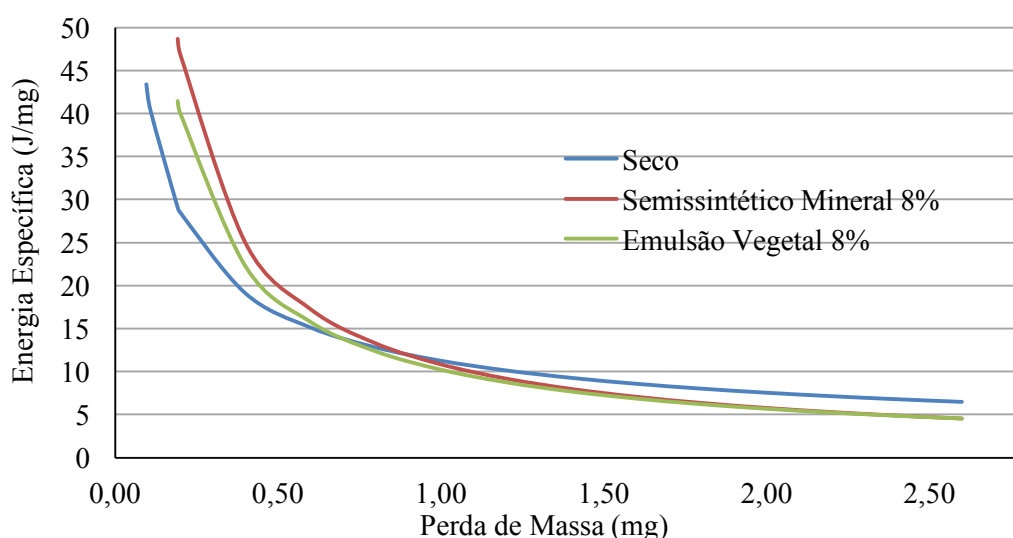


Figura 4 – Curvas ajustadas por um modelo de potências

Neste estudo, com pequenas profundidades de riscamento, onde a energia específica é elevada, influenciada pelo efeito escala, a deformação elástica/plástica foi favorecida no ambiente seco em comparação ao ambiente com FC, oferecendo ao material testado, uma menor resistência ao riscamento nestas condições. Isto pode ser explicado pela presença de maior parcela de energia térmica gerada pelo atrito causado pelo penetrador ao riscar a superfície do material (de difícil usinabilidade) na ausência de fluidos de corte lubri-refrigerantes. O calor gerado é responsável pela elevação repentina da temperatura local, promovendo o amolecimento do material, visto que trata-se de material pobre condutor de calor (o calor gerado fica concentrado na região de riscamento) e o ar retira menos calor do sistema tribológico estudado que o ambiente úmido. Somente a condutividade térmica do material da amostra e a convecção promovida pelo ambiente seco não promovem trocas de calor relativamente elevadas, como as observadas na condição de ambiente úmido. O riscamento, nesta condição, ocorre em elevadas temperaturas e o efeito de amolecimento é fortemente dominante, reduzindo a energia específica.

Comparando os dois fluidos de corte, a Fig. 4 mostra que a capacidade de lubrificar e de trocar calor do FC de base mineral ficou em desvantagem pois apresentou maior energia específica até próximo do índice 1,0 mg de perda de massa. A partir deste ponto, para maiores profundidades de riscamento, apresentou energia específica semelhante a do FC de base vegetal. A utilização de fluidos em processos onde a geração de calor por atrito é muito intensa reduz a temperatura na interface de contato, o que pode inclusive impedir o amolecimento do material dificultando o risco/corte. O maior poder lubrificante do fluido de base vegetal pode estar atuando melhor para garantir a redução do atrito, conjugando com a capacidade de refrigerar para garantir esta melhor performance.

Observa-se que na condição utilizando os fluidos (base vegetal e mineral) foi consumida menos energia por unidade de massa removida que a condição a seco, em maiores profundidades de riscamento (maiores que 1,0 mg). Com grandes profundidades de riscamento, o efeito lubrificante dos fluidos se sobressai sobre a capacidade refrigerante, diferentemente do que ocorre em pequenas profundidades de riscamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para pequenas profundidades de riscamento, o melhor ambiente neste estudo para o riscamento do aço ABNT 304 foi aquele com ausência de FC (ambiente seco), pois neste ambiente foi encontrada a menor resistência ao cisalhamento. Tal fato pode ser explicado pelas próprias características do material considerado na literatura de difícil usinabilidade. Para estas condições de riscamento, a capacidade de refrigeração é mais importante que a lubrificante, impedindo o amolecimento do material e, por isso, aumentando a energia necessária para cisalhá-lo. Na condição de riscamento a seco, o maior calor gerado diminui a resistência do material. Após a condição a seco, o fluido de base vegetal apresentou menor energia de riscamento que o fluido de base mineral. A maior capacidade lubrificante dos primeiros pode ter garantido esses resultados.

Para valores de massa perdido acima de 1,0 mg os fluidos de corte se mostraram mais efetivos em reduzir a energia específica de riscamento que os testes a seco. Com profundidades de riscamento maiores, o efeito lubrificante dos fluidos, diminuindo o atrito entre o riscador e a peça, sobressaiu sobre o efeito refrigerante, garantindo assim melhores desempenhos dos fluidos de corte que na condição a seco. Nestas condições, não houve diferença entre os dois fluidos de corte testados (de base vegetal e de base mineral).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Uberlândia, Departamentos de Engenharia Mecânica, à FAPEMIG, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Alves, S. M., 2005, “Adequação ambiental do processo de retificação através de um novo conceito de fluido de corte”, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Bataller, H. et al. “Cutting fluid emulsions produced by dilution of a cutting fluid concentrate containing a cationic /nonionic surfactant mixture”. *Journal of Materials Processing Technology* 152, 215-220. Pau, França. 2004.
- 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.
- Chiaverini, V. *Tecnologia Mecânica Vol. I – Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas*. 2ed. Makron Books. São Paulo: 1986. 280p.
- Davis, J. R., ed. *ASM International Handbook. Specialty Handbook: Stainless Steels*. Materials Park, ASM International, 1994. p. 20.
- 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.
- Korkut, I.; Kasap, M.; Ciftci, I.; Seker, U. Determination of Optimum Cutting Parameters Suring Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. *Materials and Design*. Turkey, v. 25, p. 303-305, out. 2003.
- Lawal, S.A., Choudhury, I.A., Nukman, Y., 2012. Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals e a review. *Int. J. Mach. Tool. Manu.* 52 (1), 1e12.
- Machado, A. R. et al., 2015, *Teoria da Usinagem dos Materiais*, Edgard Blucher, São Paulo, SP.
- New 200 series steels – *An opportunity or a threat to the image of stainless steel?* Belgium, ISSF, November 2005, 14p. Disponível em: <www.worldstainless.org>. Acesso em 01. dezembro.2009.
- Sales, W. F. et al., 1999. Utilização da Esclerometria Pendular no Estudo da Performance de Fluidos de Corte. Em: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA-COBEM.
- Santos, S. C. e Sales, W. F., 2007, Fundamentos Tribológicos da Usinagem dos Materiais, Atliber Editora, São Paulo. SP.
- Shokrani, A.; Dhokia, V.; Newman, S.T. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. United Kingdom, v. 57, p. 83 – 101, Fev. 2012.
- Woods, S. Vegetable oil-based metalworking fluids can provide better performance and environmental results than mineral oil-based fluids, *Cutting Tool Engineering Magazine*. U.S, v.57,n°2, p.47-53, fev.2005.
- Rossmoore, L. A.; Rossmoore, H. W. “Metalworking fluid microbiology”. In: Byers, editor. *Metalworking fluids*. New York, Marcel Decker Inc.; p. 247–271.1994
- Runge, P. R. F.; Duarte, G. N. “Lubrificantes nas indústrias. Fluidos de corte”. Cotia: Triboncept, 1990. cap.4, p.71-172
- Sales, W.F.; Fernandes, J. S. P.; Machado, A.R.; Mello, J. D. B. Utilização da esclerometria pendular no estudo da performance de fluidos de corte, XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1999.
- Santos, S.C; Sales, W.F. “Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais”. 1.ed. São Paulo: Artliber Editora, 2007. 246p.
- Sloyer J.L.; Novitsky T.J. “Rapid bacterial counts in metal working fluids”. *J Ind Microbiol Biotechnol* 29:323–324. 2002
- Tânio, F. “Usinagem Sem Refrigeração”. *Revista Usinagem Tech*, São Paulo, n.7, jan/fev/mar. 2012. Disponível em: <<http://www.calameo.com/read/0006322558f51dbf613c8>>. Acesso em: 02 out 2013
- Takahashi, D. F. “Nova metodologia para otimizar biocidas em fluido de corte”, *Revista Máquinas e Metais*, n.557, p.98-115, jun. 2012.
- Thomé, R.; Bianchi, E.C.; Arruda, O.S.; Aguiar, P.R. “Estudo Microbiológico das Micobactérias e Fungos Contaminantes dos Fluidos de Corte”. In: 6º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA. 6, out. 2007, Perú/Cusco.
- Van Der Gast, C. J.; Whiteley, A. S.; Lilley, A. K.; Knowles, C. J.; Thompson, I. P. “Bacterial community structure and function in a metalworking fluid”, *Environ Microbiol* 5:453–461. 2003.

7. RESPONSABILIDADES

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CUTTING FLUID EVALUATION BY SCLEROMETRY PENDULUM TESTS

Marcília Batista Amorim Finzi, marciliafinzi@gmail.com

Arthur Henrique Rezende Vieira, arthurhenrique_rezende@hotmail.com

Matheus Pereira Carvalho, matheusmecufu@hotmail.com

Bruno Henrique Candido, bruno30009@yahoo.com.br

Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1M. Uberlândia-MG, Brasil

Abstract. *The scratch test is a process that simulates, in a simplified manner, the abrasive wear of a material, similar to the actual machining conditions (speed reached 4.1 m / sec (246 m / min)), making the process suitable for investigating the lubrication and cooling performance of Cutting Fluid (CF). In this work this technique was used, making risks with a truncated pyramidal indenter on polished surfaces of AISI 304 stainless steel samples, with the objective of characterizing the performance of two cutting fluids (a mineral based and a vegetal based). Samples of this steel were submerged in the fluids tested and dry tests were also performed for comparisons. The scratching depth (depth of penetration of the indenter) was varied from 24 μm to 168 μm to enable the construction of the specific energy by mass loss characteristic curve for each condition tested. The mass loss of the material was determined by weighing the samples before and after the test (mass loss differential). The results showed that dry condition showed lower scratching specific energy than the wet conditions for small values of mass loss (up to 1.0 mg) with the vegetable-based fluid being better than mineral base. For higher values of mass loss the cutting fluids presented lower specific energy than dry, with no significant differences between the two fluids.*

Keywords: *Cutting fluids, scratching tests, lubrication and cooling performance, scratching specific energy.*