

AValiação TOPOGRÁFICA E DE CAMADA REFUNDIDA DO AÇO RÁPIDO ABNT M2 USINADO POR ELETROEROSÃO COM A UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DIELÉTRICOS COMERCIALMENTE SIMILARES

Luciano José Arantes - ljarantes@mecanica.ufu.br

Antônio José Ferrão Morgado - amorgado@mecanica.ufu.br

Evaldo Malaquias da Silva - emalaqui@mecanica.ufu.br

Márcio Bacci da Silva - mbacci@mecanica.ufu.br

Alberto Arnaldo Raslan - ltm-raslan@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia - MG - 38400-902

Resumo. *A Usinagem por Descargas Elétricas é muito utilizada na usinagem de materiais de elevada dureza, difíceis de serem usinados por processos convencionais, além de permitir a confecção de geometrias bem complexas e de minúsculas dimensões. Um dos materiais mais largamente usinados por EDM (Electrical Discharge Machining) é o aço-ferramenta ABNT M2, que apresenta grande versatilidade, combinando excelente tenacidade, dureza e resistência a abrasão, muito indicado para confecção de matrizes de estampagem profundas e outras ferramentas de deformação plástica à frio. O objetivo principal deste trabalho é o estudo das superfícies usinadas pelo processo EDM analisando espessura da camada refundida gerada pelo processo e as microtrincas na superfície final com fluidos dielétricos comercialmente similares. Os diversos fluidos dielétricos utilizados possibilitam diferentes condições de usinagem apesar de serem vendidos com fluidos similares, com composição química muito parecida e promessa de desempenho igual, o que não foi comprovado. Foram feitos ensaios com cinco tipos diferentes de fluidos dielétricos e com uma ferramenta cilíndrica vazada de cobre eletrolítico. Verificou-se que há diferenças importantes quando usina-se com fluidos diferentes, mantendo-se constantes todas as demais condições de operação. Notou-se que há grandes variações na qualidade da peça usinada, variando-se apenas o fluido dielétrico, o que comprova que apesar dos fluidos serem muito semelhantes quanto às suas especificações, esse fato não garante uniformidade de usinagem.*

Palavras-chave: EDM, fluidos dielétricos, camada refundida.

1. INTRODUÇÃO

As maiores aplicações do processo EDM (*Electrical Discharge Machining*) estão em atender o setor de ferramentaria em geral e aos processos tradicionais de usinagem. A fabricação de matrizes para estampagem, forjamento, extrusão, fieiras para trefilação, moldes de injeção de plástico, usinagem de materiais de baixa usinabilidade e mesmo na afiação de ferramentas ultraduras (CBN e PCD) são realizados com sucesso por EDM, geralmente por meio de uma única operação (Cruz, 1999).

Os fluidos dielétricos especificamente desenvolvidos para o processo EDM são óleos hidrocarbonetos altamente refinados ou sintéticos. Existem inúmeras características físicas e químicas que podem ser usadas para definir e identificar o desempenho de cada fluido. Neste trabalho serão abordadas as características mais importantes no processo, mas aquelas que são fornecidas pelos fabricantes, já que não se trata de um trabalho com análises químicas, mas sim de desempenho (Intech EDM, 1996).

As características físico-químicas dos fluidos para EDM podem ou não influenciar o desempenho do processo. Dentre as características que têm influência decisiva estão: resistividade dielétrica, viscosidade, ponto de fulgor, estabilidade à oxidação. Outras características com pouca ou nenhuma influência no desempenho do processo são: odor, cor e ponto de fluidez. Atualmente, um fator importante quanto à escolha do fluido é a segurança quanto ao armazenamento e uso nas operações de EDM (McGeough, J. A.; 1988). Um fluido pode apresentar características químicas que proporcionam elevada qualidade no acabamento da superfície usinada e altas Taxas de Remoção de Material (TRM), mas ser nocivo à saúde do operador. A questão da qualidade do ambiente de trabalho e da saúde ocupacional deve ser levado em consideração devido à legislação ambiental e trabalhista, uma vez que os fluidos dielétricos mais tóxicos podem causar problemas sérios de dermatites e intoxicações pela inalação do produto evaporado (Intech EDM, 1996). A Fig. (1) apresenta dois exemplos de aplicação do processo EDM na fabricação de moldes de materiais de elevada dureza.

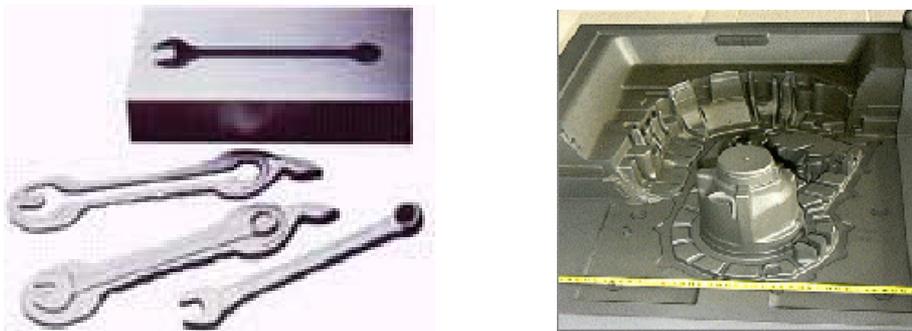


Figura 1. Exemplos de moldes fabricados pelo processo EDM (Intech EDM, 1996).

A principal justificativa para realização deste trabalho se baseia no fato de existir a necessidade de uma literatura voltada para a indústria no sentido de orientar qual o fluido dielétrico mais indicado para cada aplicação (acabamento, desbaste, semi-acabamento, tipo diferente de material). Além disso, muitas vezes uma rugosidade maior não está intimamente relacionada a uma camada refundida mais espessa, o que pode gerar erros de avaliação quanto à qualidade dos fluidos empregados no processo, uma vez que uma camada refundida muito acentuada pode levar a dificuldades de se atingir a qualidade de acabamento e precisão das superfícies usinadas. Portanto, espera-se que esse trabalho contribua tanto para a indústria quanto para orientação de novos estudos acadêmicos.

2. TEXTURA E INTEGRIDADE SUPERFICIAL

Qualquer processo de remoção de material produz alterações superficiais e sub-superficiais na região usinada. Essas alterações influem decisivamente no desempenho da peça em trabalho, o que é agravado quando essas peças estão sujeitas à esforços dinâmicos, ou devem resistir a altos esforços estáticos além daquelas expostas a ambientes agressivos e altamente corrosivos (Fuller, 1989). Essas alterações, em geral, se subdividem em alterações nos aspectos de textura superficial e integridade superficial (Bhattacharyya; 1973).

No caso específico do processo EDM, de acordo com, as principais alterações encontram-se esquematizadas da Fig (2). Estas alterações decorrem das altas temperaturas geradas no processo e de possíveis reações químicas que podem ocorrer na microregião usinada, uma vez que altas temperaturas agem como agente catalisador dessas reações e promove o aumento do processo de difusão de átomos (Field et al, 1989).

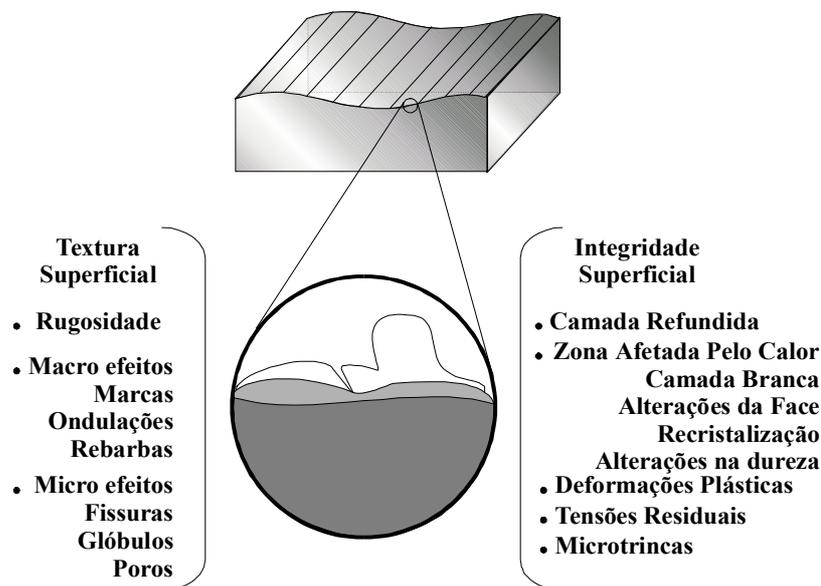
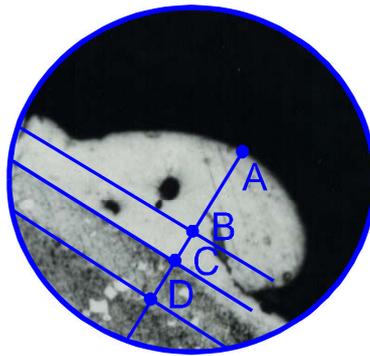


Figura 2. Efeitos Superficiais e Sub-superficiais (Field et al., 1989).

2.1. Camada Refundida

A camada refundida é intrínseca ao processo EDM, e apesar das novas tecnologias empregadas, a natureza térmica do processo EDM impede a sua total eliminação. A Fig. (3) mostra a disposição das camadas distintas de um material usinado por eletroerosão (Allison; 2000).

A formação da camada refundida ocorre segundo explicação a seguir. Depois de uma descarga, forma-se uma cratera e uma certa quantidade de material fundido vai se redepositar na superfície da cratera devido à tensão superficial e efeitos de resfriamento. Esse material vai se resfriar devido às paredes frias da cratera e ao poder de refrigeração do fluido dielétrico. Essa camada tende a ser bem carbonetizada e é chamada de material refundido ou ainda “camada branca”. Abaixo da camada branca fica a área chamada de “zona afetada pelo calor” (ou ZAC). Essa área é apenas parcialmente afetada pelas altas temperaturas. A dureza da camada refundida e da ZAC, imediatamente abaixo, dependem da corrente e da frequência usadas durante a usinagem, e da capacidade de condução de calor do próprio material. A camada refundida pode afetar a estrutura e/ou a integridade da superfície usinada por EDM (Kaminski & Capuano; 1999).



Legenda:

- A - camada refundida discreta
- B - camada refundida uniforme
- C - ZAC
- D - material base

Figura 3. Micrografia mostrando as camadas distintas no material usinado por eletroerosão

(Fernandes, 1999).

Óleos dielétricos mudam as características microestruturais do material de base pela produção de um tratamento térmico não controlado – aquecimento do metal a uma temperatura muito alta e depois resfriamento em um óleo. O calor excessivo quebra o óleo em outros hidrocarbonetos e resinas (Weller, E. J; 1984). O metal fundido reage com os átomos de carbono do óleo dielétrico e depois se depositam na camada refundida, criando uma superfície “carbonetizada”. Mesmo quando usinando materiais pré-endurecidos, a camada refundida produzida pelo óleo possuirá geralmente dureza mais elevada que o material de base. Esse efeito pode ser percebido facilmente quando se deve polir uma cavidade usinada por EDM (Guitral, 1997).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os regimes de usinagem utilizados nos ensaios foram três regimes diferentes de usinagem: Desbaste Severo, Médio e Leve. Para cada regime, teoricamente espera-se que qualidades diferentes dos óleos dielétricos promovam rendimentos diferenciados nas TRMs, RDs e acabamento superficial. Utilizou-se do manual da máquina EDM para determinação das variáveis mais adequadas para nossa pesquisa. As variáveis estão detalhadas na Tab. (1) a seguir:

Tabela 1. Parâmetros empregados nos ensaios definitivos.

REGIME	T_{on} [μs]	D_T [%]	T_S	Corrente [A]	Tensão [V]
Desbaste Severo	400	95	6	20	60
Desbaste Médio	200	95	4	15	50
Desbaste Leve	75	90	3	10	40

Utilizando os parâmetros selecionados na Tab. (1), iniciou-se a 3ª Etapa, onde foram avaliados quanto a Rugosidade Média Aritmética (R_a) e análise Topográfica. O total de peças usinadas ou Número total de ensaios é igual Número de regime de usinagem ($NR=3$) vezes o Número de fluidos dielétricos ($NFD=5$) vezes o Número de repetições ($NR=5$), dando um total de 75 operações de usinagem.

Um número de repetições igual a cinco gera uma maior confiabilidade nos resultados, uma vez que o processo EDM é influenciado por vários fatores, tais como umidade no fluido dielétrico, temperatura ambiente e do fluido, grau de contaminação por partículas erodidas, grau de degradação do fluido, etc.; o que modifica sensivelmente os valores de TRM e RD.

4. ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Rugosidade Média Aritmética (Ra) e Espessura da Camada Refundida

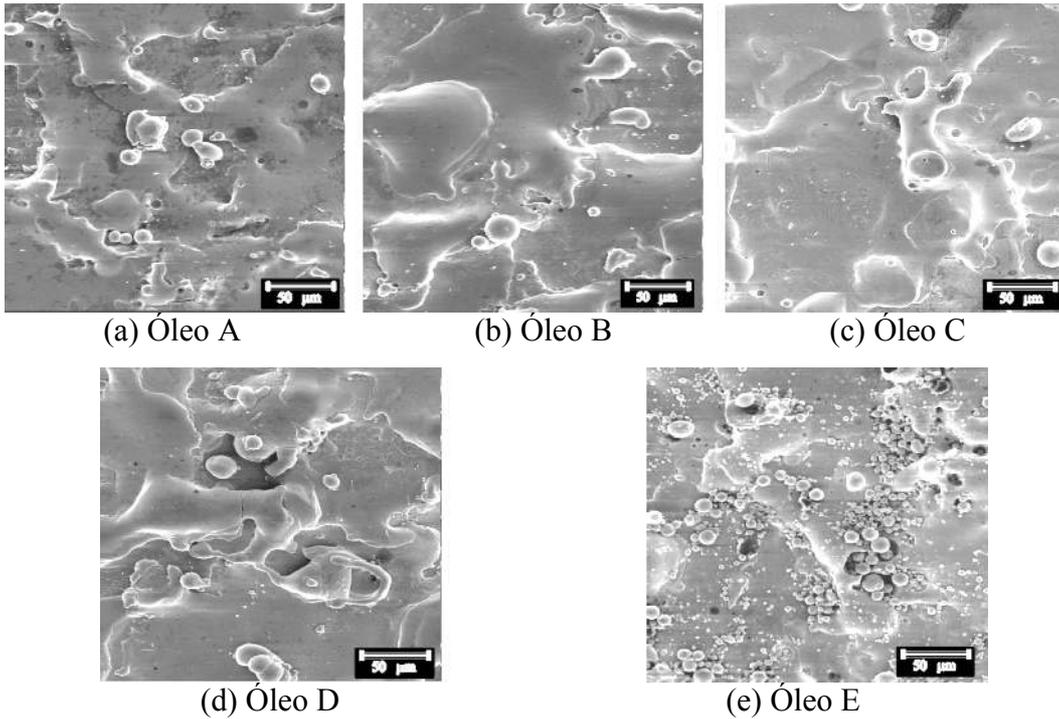
As Figuras 4 e 5 apresentam as topografias obtidas por MEV das superfícies usinadas e os gráficos da espessura da camada refundida (f) e rugosidades médias aritméticas (g) para os regimes de desbaste leve e médio. Analisou-se a região usinada com um comprimento de 4mm. O comprimento de amostragem adotado foi 2,5 mm. Para cada amostra, foram feitas 12 leituras no sentido do eixo central da mesma.

No regime de desbaste leve, Figura 4, notou-se uma pequena diferença de rugosidade, da ordem de 15% a diferença de rugosidade com o óleo de melhor desempenho (óleo B) com o de pior desempenho (óleo D). Isso pode ter ocorrido pelo fato de que alguns óleos produzem mais vapor que os outros, lembrando que maior vaporização pode resultar também em maior quantidade de bolhas formadas durante as descargas elétricas, o que gera uma piora no acabamento da superfície usinada, no que diz respeito a rugosidade (Ra). Porém, fazendo uma observação detalhada das topografias das Figura 5, ou seja, uma vista superior da superfície usinada, pode-se analisar que entre os óleos A, B, C e D não houve uma considerável diferença visual, enquanto que o querosene, apesar de ter apresentado menor rugosidade que o óleo D, mostrou-se com topografia inferior, com um número muito alto de bolhas de metal re-depositado. Esse fato se deve ao fato já mencionado de excessiva evaporação do dielétrico, em que quanto maior o número de bolhas durante cada descarga, associado ao fato de habilidade inferior de lavagem e remoção rápida do calor das partículas implodidas após a descarga elétrica, pior será qualidade da superfície usinada.

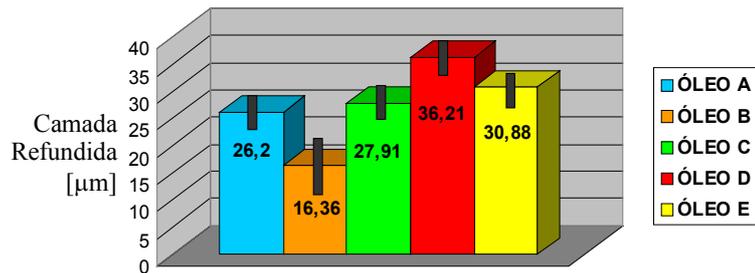
Já para o regime de desbaste médio, Figura 5, notou-se uma diferença maior entre os óleos, que chegou a 36% entre o óleo A e o óleo E. Confirma-se uma tendência importante: quanto mais severo o regime, mais discrepante é o desempenho dos fluidos. Comparando esses resultados com os resultados das topografias, fica claro que o melhor desempenho foi do óleo A, pois além de apresentar menor rugosidade, apresentou uma camada refundida ainda mais homogênea que a dos outros óleos, B, C e D.

Quanto à espessura da camada branca, observou-se que quanto mais severo o regime de usinagem (maior potência de usinagem e maior T_{on}), mais espessa é a camada refundida. Esse fenômeno ocorre porque quanto mais severo o regime, maiores são as TRMs (Taxa de Remoção de Material), ou seja, maior é o volume de material removido por unidade de descarga elétrica; conseqüentemente, maior é a quantidade (volume) de material que volta a se depositar sobre a superfície usinada, o que acaba por gerar uma camada refundida mais espessa.

Embora o óleo A tenha sido o de melhor resultado quanto à topografia e rugosidade, gerando uma camada refundida mais homogênea e com menor número de bolhas, os resultados para espessura de camada são piores que os obtidos pelo óleo B, Figura 5(f), de topografia muitas vezes inferior. Esse resultado deve ser cuidadosamente analisado, pois nesse caso, não se deve avaliar somente a espessura da camada refundida, mas em conjunto, com os resultados de topografia e rugosidade. Um leitor descuidado poderia citar o óleo B como melhor que o óleo A, caso sua análise fosse somente buscando a mínima camada refundida possível, uma vez que sua total eliminação, no processo EDM é quase impossível (a não ser com um processo posterior de acabamento, com por exemplo, retificação).

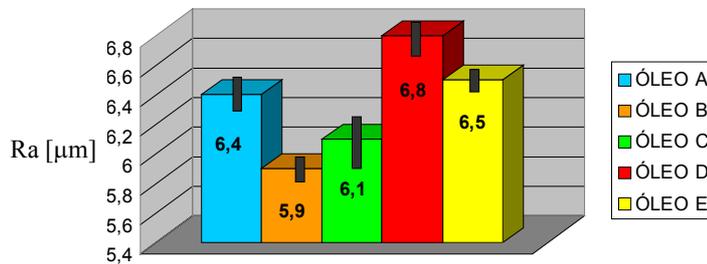


DESBASTE LEVE



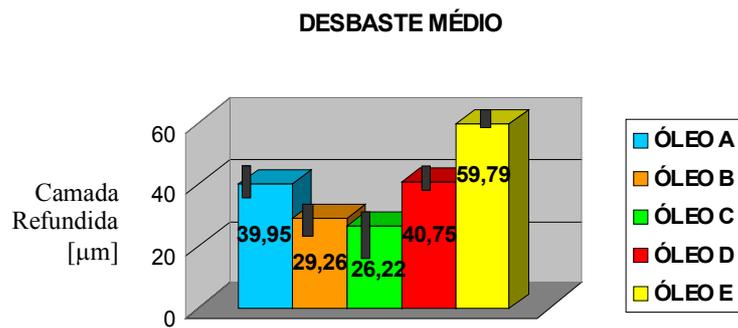
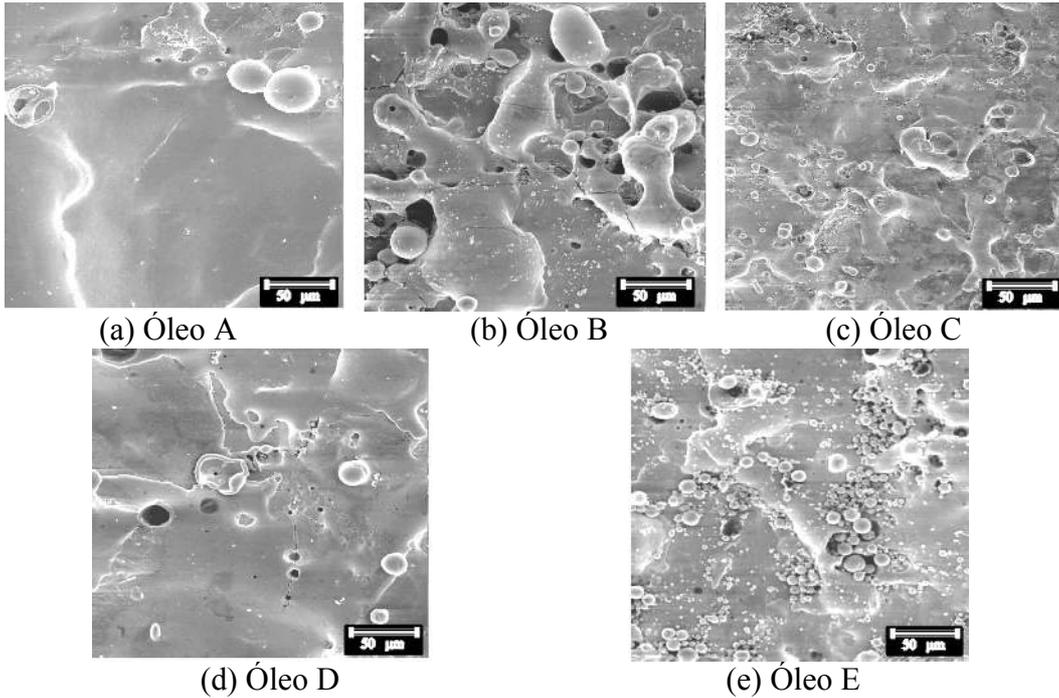
(f) Espessura de Camada Refundida [µm] no regime de desbaste leve

DESBASTE LEVE

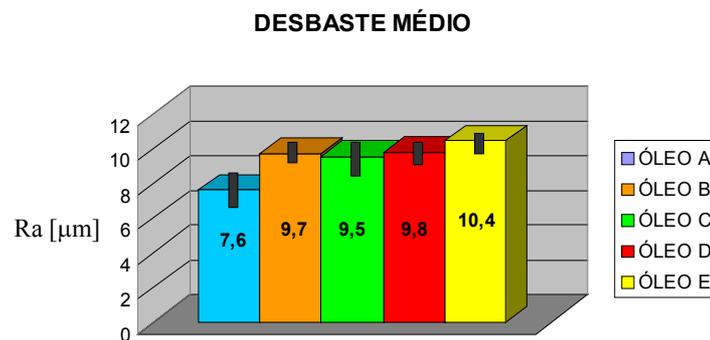


(g) Rugosidade média aritmética Ra [µm] no regime de desbaste leve

Figura 4. Topografias obtidas por MEV (aumento de 300x) das superfícies usinadas por EDM com fluidos dielétricos A (a), B (b), C (c), D (d) e E (e) em regime de Desbaste Leve com os gráficos de Camada Refundida (f) e Rugosidade Ra (g).



(f) Espessura de Camada Refundida [µm] no regime de desbaste médio



(g) Rugosidade média aritmética Ra [µm] no regime de desbaste médio

Figura 5. Topografias obtidas por MEV (aumento de 300x) das superfícies usinadas por EDM com fluidos dielétricos A (a), B (b), C (c), D (d) e E (e) em regime de Desbaste Leve com os gráficos de Camada Refundida (f) e Rugosidade Ra (g).

7. CONCLUSÕES

●Os fluidos dielétricos apresentaram uma grande inconsistência no desempenho nos 3 diferentes regimes de usinagem, o que mostra uma considerável diferença entre os mesmos, apesar de todos apresentarem propriedades razoavelmente dentro de uma mesma faixa tal como viscosidade e densidade;

●O fluido dielétrico E (querosene), ainda muito utilizado nas indústrias, apresentou um fraco desempenho em relação aos fluidos específicos para EDM, com relação todos os fluidos em todos os aspectos analisados (Ra e Topografia).

●Verificou-se que o desempenho não está relacionado com o custo, um óleo mais barato pode proporcionar melhor desempenho que um óleo mais caro, apesar de que o óleo de melhor desempenho ser o mais caro de todos;

●Quanto mais severo o regime de usinagem, mais espessa é a camada refundida porque quanto maior a potência, maiores são as TRMs, ou seja, maior é o volume de material removido por unidade de descarga elétrica e conseqüentemente, maior é o volume de material que volta a se depositar sobre a superfície usinada;

●O fluido dielétrico B apresentou na média os melhores resultados para espessura da camada refundida, porém, com topografias e rugosidade inferiores ao óleo A.

●Nem todos os fluidos dielétricos específicos para EDM são recomendados para substituir o querosene, ou por serem demasiadamente mais caros ou por apresentarem desempenho pouco melhor. Porém, os aspectos de toxicidade e perigo no manuseio do querosene reafirmam que seu uso como dielétrico para EDM deve ser limitado no Brasil, assim como já acontece nos Estados Unidos;

●A grande diferença de desempenho se deve muito ao processo EDM, que é altamente dependente de inúmeros fatores, onde até a umidade e temperatura ambiente podem afetar sensivelmente o processo.

6. REFERÊNCIAS

Arantes, L.J., 2001; “Performance Evaluation of Dielectric Fluids for Electrical Discharge Machining Process”, Master’s Dissertation, Federal University of Uberlandia, MG-BR / MIT (Massachusetts Institute of Technology), MA, USA.

Benedict, G.F.; 1987 Nontraditional Manufacturing Processes, New York, Marcel Dekker, pp.207-246.

Bhattacharyya, A.; 1973, “New Technology”, Hooghly Printing Company, Calcutá, pp. 144- 177.

Cruz, C., Malaquias, E.S., Fernandes, L.A., 1999, Introdução à Usinagem Não Tradicional, DEEME, UFU, Uberlândia-MG, pp. 7-19.

EDM Today, January/February, 1999, Issue, “The Electrodes Tell the Story”. Internet adress: www.edmtoday.org

Fernandes, A. Luciano; 1999, “Efeito da Adição de Pó de Carboneto de Silício nos Fluidos Dielétricos Sobre o Desempenho da Usinagem por Descargas Elétricas do Aço-Rápido ABNT M2”, Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia-MG, 72 págs.

Field, M., Kahles, J.F., Koster, W.P., “Surface Finish and Surface Integrity”, Metcut Research Associates Inc., Metals handbook – 9th Ed., Machining, Vol. 16, pp. 19-36.

Fuller, J.E., 1989, “Electrical Discharge Machining”, Metals Handbook, 9^a Ed. Vol. 16, machining, pp. 557-564.

Guitral, E. Bud, 1997, “The EDM Handbook”, Hanser Gardner Publication, Cincinnati, 306 pp.

- Intech EDM, 1996, "A Guide to Understanding and Selecting EDM Dielectric Fluids", Broadview, IL. Internet adress: www.edmtalk.com
- Kaminski, P. C.; Capuano, M. N.; 1999, Revista OESP Metal-Mecânica, Ano 4, nº 25, OESP Mídia, São Paulo, p.p. 42-47.
- Kurafuji, H. & Suda, K., 1965, "Study on Electrical Discharge Machining", Journal of the Faculty of Engineering, University of Tokyo, Vol. XXVIII, No 1, pg., 1-18.
- Lima, E.F., 1997, "Rugosidade e Integridade Superficial do Aço Rápido ABNT M2 Após Usinagem por Descargas Elétricas", Dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia-MG, 97 pgs.
- McGeough, J. A.; 1988, "Advanced Methods of Machining", London, Chapman and Hall, pp.128-152.
- Medeiros, J. T. N; 1985, "Aspectos Termodinâmicos do Processo de Usinagem por Eletroerosão", VIII COBEM, S. J. Campos, SP.
- Rodrigues, J.R.P., 1999, "Efeito da Adição de Carboneto de Silício em Pó na Geração de Microtrincas e na Topografia da Superfície Usinada por Descargas Elétricas do Aço Rápido ABNT M2", Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia-MG, 47 pgs.
- Weller, E. J.; 1984, "Nontraditional Manufacturing Processes", Dearborn, Michigan, Society of Manufacturing Engineers, pp. 162-201, 1984.

TOPOGRAPHY AND RECAST LAYER EVALUATION OF HIGH SPEED STEEL MACHINED BY ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESS USING COMMERCIALY SIMILAR DIELECTRIC FLUIDS

Luciano José Arantes - ljarantes@mecanica.ufu.br

Antônio José Ferrão Morgado - amorgado@mecanica.ufu.br

Evaldo Malaquias da Silva - emalaqui@mecanica.ufu.br

Márcio Bacci da Silva - mbacci@mecanica.ufu.br

Alberto Arnaldo Raslan - ltm-raslan@ufu.br

Federal University of Uberlândia – Faculty of Mechanical Engineering - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1M - Uberlândia - MG - 38400-902

***Abstract.** The Electrical Discharge Machining (EDM) is very used in the machining of materials of high hardness, difficult to be machined by conventional processes, besides allowing the confection of well complex geometry and very small dimensions. One of the materials more wide machined by EDM is steel-tool ABNT M2, which presents great versatility, hardness and abrasion resistance. The main objective of this paper is the study of machined surfaces for EDM process analyzing thickness of recast layer generated by the process and topography in the final surface with commercially similar dielectric fluids. The diverse used dielectric fluids make possible different conditions of machining although they are sell as similar fluids, with very similar chemical composition and promise of equal performance, what it was not proven. Assays with five different types of dielectric fluids and with a leaked cylindrical electrolytic copper tool was done. It was verified that it has important differences when this high-speed steel is machined with different fluids, remaining constant all the other parameters. One noticed that it has great variations in the quality of the machined part, varying only the dielectric fluid, what it proves that despite fluids being very similar how much to its specifications, this fact does not guarantee machining uniformity.*

Keywords: EDM, dielectric fluids, recast layer.