

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROCESSO HÍBRIDO DE USINAGEM: JATO D'ÁGUA ABRASIVO COM USINAGEM POR DESCARGAS ELÉTRICAS (AEDM)

M. Sc. Luciano José Arantes
ljarantes@mecanica.ufu.br

Dr. 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: *Uma nova linha de pesquisa no campo da usinagem não tradicional é o da associação do desgaste erosivo com a usinagem por descargas elétricas.. Essa tendência mundial tem sido investigada a mais de uma década, porém, com a utilização de fluidos dielétricos hidrocarbonetados misturados com pós de abrasivos duros. Segundo Kozak & Oczos (2001), o avanço dos processo de fabricação tem tomado o rumo de processos híbridos de usinagem, ou seja, processos que associam dois ou até três processos de usinagem simultaneamente. No caso da Retificação por Descargas Elétricas (AEDG), estudos mostram que em todos os casos testados, a TRM (Taxa de Remoção de Material) é até 5 vezes maior com o processo híbrido, quando comparado com a Usinagem por Descargas Elétricas (EDM) isoladamente. Pode-se fazer uma associação relativamente precisa ao comparar o processo de Retificação por Descargas Elétricas com o processo de Usinagem Abrasiva por Descargas Elétricas, uma vez que Kozak et al (2001) mostra que os dois processos são térmica e mecanicamente similares.*

Outra grande vantagem do processo AEDM é que não há formação de camada refundida como no processo EDM. Com a aplicação do jato abrasivo simultaneamente ao processo de eletroerosão, mesmo que ocorra deposição de material na superfície usinada, esse material será instantaneamente removido pela ação erosiva do abrasivo (Kozak et al., 2001). O principal objetivo deste trabalho é de discutir e analisar os mais importantes fatores que influenciam no processo de desgaste erosivo combinado com a usinagem por descargas elétricas (EDM). Em especial, fazer uma investigação sobre algumas características dos fluidos dielétricos, sobretudo a capacidade diluidora de partículas abrasivas, com vistas à utilização como jato abrasivo. Espera-se, desta forma, encontrar alternativas de melhoria do processo e diminuição de seus custos.

Palavras-chave: EDM, Fluidos Dielétricos, Erosão e TRM.

1. INTRODUÇÃO

Uma nova linha de pesquisa no campo da usinagem não tradicional é o da associação do desgaste erosivo com a usinagem por descargas elétricas.. Essa tendência mundial tem sido investigada a mais de uma década, porém, com a utilização de fluidos dielétricos hidrocarbonetados misturados com pós de abrasivos duros (Kozak & Oczos, 2001). Segundo Kozak & Oczos (2001), o avanço dos processo de fabricação tem tomado o rumo de se tornarem, cada vez mais, processos híbridos de usinagem, ou seja, processos que associam dois ou até três processo de usinagem simultaneamente. No caso da Retificação por Descargas Elétricas (AEDG), estudos mostram que em todos os casos testados, a TRM (Taxa de Remoção de Material) é até 5 vezes maior com o processo híbrido, quando comparado com a Usinagem por Descargas Elétricas isoladamente (EDM). Isso se deve ao fato de que as partículas abrasivas, além de agirem mecanicamente no processo, arrancando material da peça, elas agem também como concentradoras das descargas elétricas, gerando menos perdas laterais e melhorando o controle das mesmas (Fernandes, 1999). Podemos fazer uma comparação relativamente precisa ao comparar-mos o processo de Retificação por Descargas Elétricas com o processo de Usinagem Abrasiva por Descargas Elétricas, uma vez que Kozak *et al* defende que os dois processo são térmica e mecanicamente semelhantes, e portanto, os resultados de um podem ser extrapolados para análise em outro.

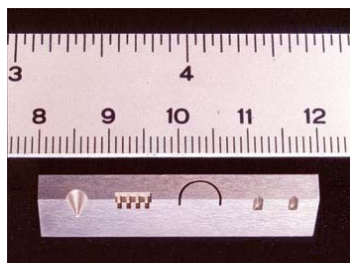
O principal objetivo deste trabalho é de discutir e analisar os mais importantes fatores que influenciam no processo de desgaste erosivo combinado com a usinagem por descargas elétricas (EDM). Em especial, fazer uma investigação sobre algumas características dos fluidos dielétricos, sobretudo a capacidade diluidora de partículas abrasivas, com vistas à utilização como jato abrasivo. Espera-se, desta forma, encontrar alternativas de melhoria do processo e diminuição de seus custos.

2. PROCESSOS NÃO TRADICIONAIS DE USINAGEM

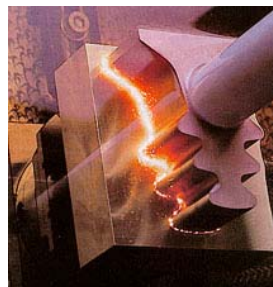
Para entendermos melhor o processo híbrido AEDM, devemos conhecer os princípios físicos de funcionamento de alguns processo não tradicionais de usinagem.

2.1. Usinagem por Descargas Elétricas (EDM)

A usinagem por descargas elétricas, ou EDM (*Electrical Discharge Machining*), ou como é conhecido ainda na indústria, usinagem por eletroerosão, é um processo indicado na usinagem de formas complexas em materiais condutores elétricos, especialmente aqueles de alta dureza, difíceis de serem usinados por processos tradicionais de usinagem.



(a)



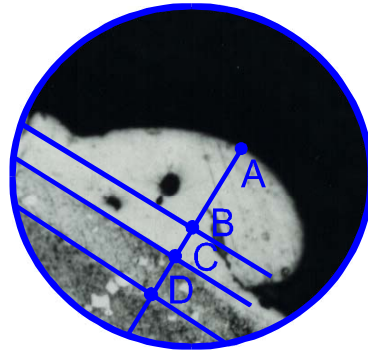
(b)

Figura 1: Exemplos de produção com o processo EDM: (a) pequenas dimensões e (b) peças de grande porte e geometria complexa (Intech EDM, 1996).

2.1.1. Limitações do Processo EDM

O Processo de Usinagem por Descargas Elétricas possuem algumas limitações, dentre elas, as que mais motivam a investigação desse processo híbrido, podemos citar:

- a) Sempre ocorre a formação da Camada Refundida (Camada Branca), e ZAC (Zona Afetada pelo Calor), devido à natureza térmica do processo (Figura 4). Por esse motivo, quase sempre é necessária uma ou mais operações de jateamento para remoção dessa camada indesejada (Arantes, 2001).



Legenda:

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

Figura 2: Micrografia mostrando as camadas distintas no material usinado por eletroerosão (Fernandes, 1999).

- b) É um processo lento, com baixas TRMs (Taxa de Remoção de Material) quando comparando com outros processo não tradicionais de usinagem, inclusive Usinagem por Jato d'água ou Usinagem por Jato Abrasivo. Esse fator torna o processo caro, devido ao excessivo número de horas para operação.

2.2. Usinagem por Jato Abrasivo (AJM)

A Usinagem por Jato Abrasivo é um processo de remoção de material de uma superfície através da ação erosiva de partículas de grãos abrasivos que se chocam contra a mesma a alta velocidade. Para se obter altas velocidades, as partículas são forçadas a passar por um bico com gás comprimido, usualmente ar.

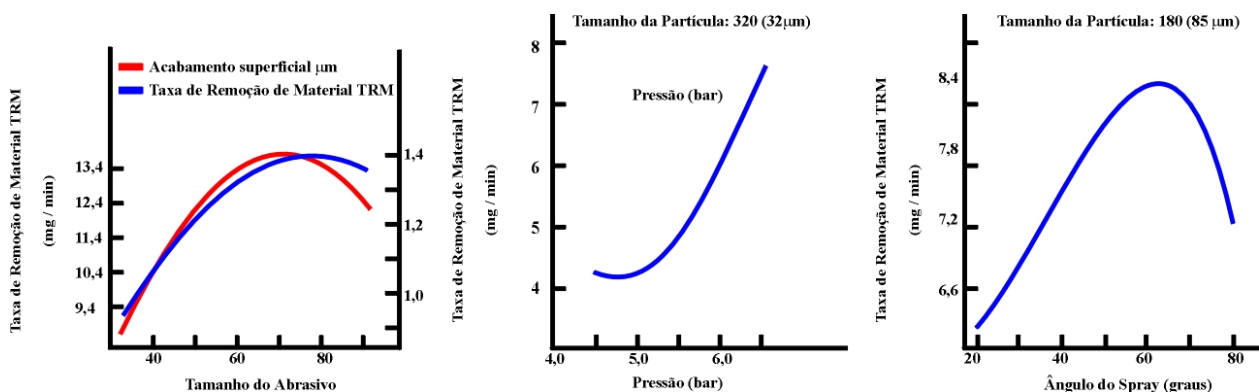


Figura 5: Efeito de vários parâmetros de usinagem na Taxa de Remoção de Material (TRM), Tamanho do abrasivo, pressão do ar e ângulo do spray (Ramachandran, 1992).

A Figura 6 apresenta um esquema ilustrando o mecanismo de remoção de material da peça pelo impacto das partículas abrasivas a altas velocidades.

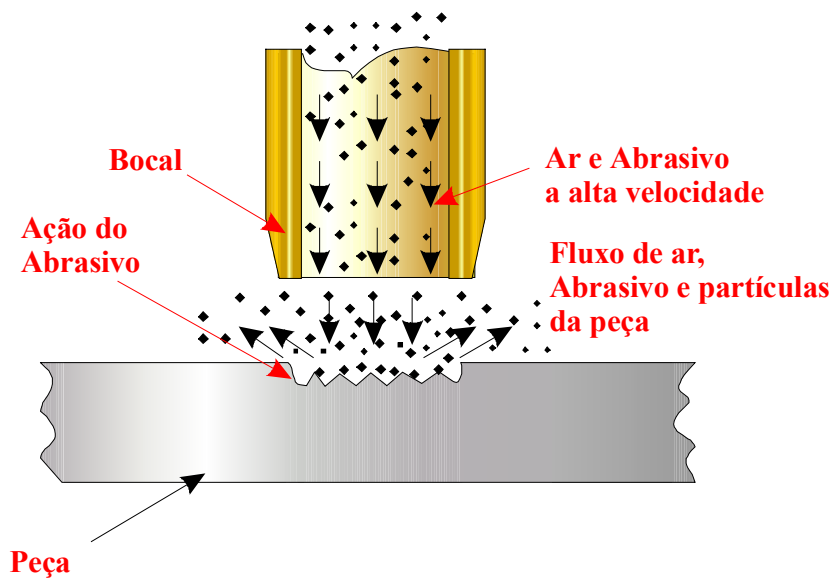


Figura 6: Princípio da Usinagem por Jato Abrasivo (Tuersley et al, 1994).

2.3. Usinagem por Jato d'Água Abrasivo (AWJM)

A introdução de partículas abrasivas no processo de Usinagem por Jato d'água no início dos anos 80 formou o processo de Usinagem por Jato d'água Abrasivo (AWJM), o que abriu um novo ramo na usinagem com aumento da taxa de remoção de material e recentemente na usinagem de precisão. A faixa de materiais que tem sido cortados por esse processo incluem materiais metálicos e tradicionais materiais de difícil corte, tais como vidro, cerâmicos e materiais compósitos. Entretanto, a adição de abrasivos no jato d'água a alta pressão gerou um processo de remoção de material muito complexo. O mecanismo de remoção de material em materiais duros pelo impacto das partículas abrasivas é uma combinação de microfatura, erosão, e fusão.

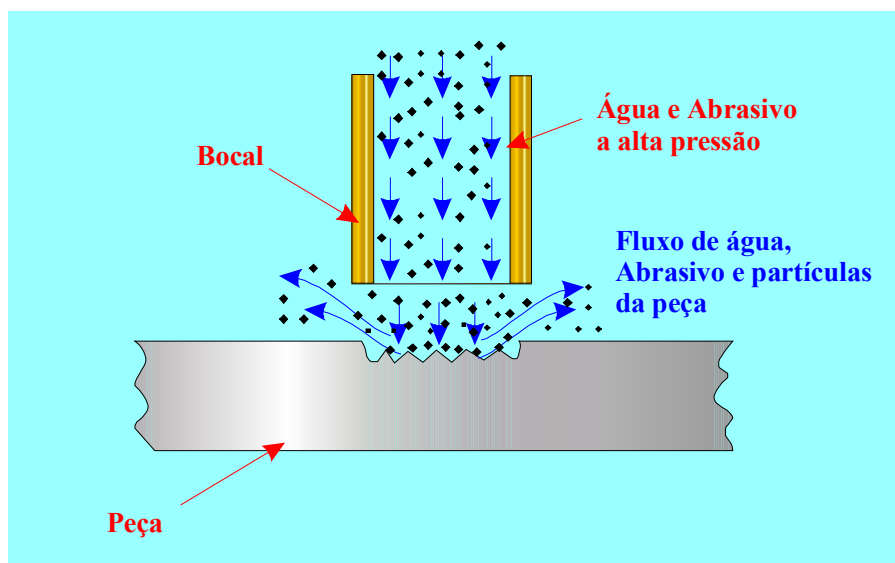


Figura 7: Princípio da Usinagem por Jato d'Água Abrasivo (Tuersley et al, 1994).

O processo de Usinagem por Jato d'água Abrasivo é um processo de usinagem que envolve o poder de impacto de partículas abrasivas na remoção de material da superfície da peça. Geralmente, esse processo é muito utilizado em operações de corte, limpeza de superfícies já usinadas por outro processos e trepanação de furos largos, mas vários trabalhos em diferentes materiais tem mostrado que também pode ser utilizado como ferramenta de corte para operações de torneamento, fresamento e furação com razoável sucesso.

Um dos parâmetros de maior influência é a especificação da pressão do jato de água, a distância entre a peça e o bocal de injeção e o tipo de abrasivo, tamanho e fluxo. Essas escolhas são, entretanto, afetadas significativamente por outros fatores tais como material e geometria do bocal de jateamento. A seguir, encontra-se detalhamento dos principais parâmetros do processo.

Pressão do Jato: A pressão da água utilizada geralmente na usinagem de materiais cerâmicos é da ordem de 200-300 MPa, provavelmente porque a grande maioria dos pesquisadores utilizam equipamentos desenvolvidos pelos mesmos fabricantes, *Flow Systems Inc., Kent, Washington, USA*, a empresa líder nesse ramo. Uma notável exceção para esse trabalho foi reportado por *Hashish*, que desenvolveu trabalhos com uma variedade de compósitos, utilizando pressões acima de 400 MPa.

Distância de Trabalho: O efeito da variação da distância bocal-peça tem sido o assunto de vários trabalhos, usualmente em conjunto com estudos de acabamento superficial. O trabalho de *Freist et al (1989)*, que utilizou alumina como abrasivo, mostra que aumentando a distância de trabalho ocorre primeiro um crescimento na TRM, até um valor ótimo; após o qual começa a decrescer com o aumento da distância.

Material do Abrasivo: A especificação de material do abrasivo tem a maior influência no processo. Para as cerâmicos de menor resistência, alumina, garnet e carbetto de silício são igualmente efetivos. Para materiais cerâmicos mais avançados, muitas vezes o melhor abrasivo pode ser o carbetto de boro.

Fluxo do Abrasivo: O fluxo do abrasivo fica em torno de 0,1-1,5 Kg/s, com a eficiência do corte crescendo a medida que aumenta o fluxo até um valor crítico, donde a partir desse ponto os valores de TRM começam a cair.

3. PROCESSO HÍBRIDO DE USINAGEM: EDM + AWJM

O avanço dos processos de fabricação tem se tornado, cada vez mais, processos híbridos de usinagem, ou seja, processos que associam dois ou até três processo de usinagem simultaneamente. No caso da Retificação por Descargas Elétricas (AEDG), estudos mostram que em todos os casos testados, a TRM (Taxa de Remoção de Material) é até 5 vezes maior com o processo híbrido (Figura 8), quando comparado com a Usinagem por Descargas Elétricas isoladamente (*Kozak & Oczos, 2001*).

Esse efeito se deve ao fato de que as partículas abrasivas, além de agirem mecanicamente no processo, arrancando material da peça pelo processo erosivo, elas agem também como concentradoras das descargas elétricas, gerando menos perdas laterais e melhorando o controle dessas descargas (*Fernandes, 1999*). Podemos fazer uma comparação relativamente precisa ao compararmos o processo de Retificação por Descargas Elétricas com o processo de Usinagem Abrasiva por Descargas Elétricas, uma vez que *Kozak et al (2001)* defende que os dois processo são térmica e mecanicamente semelhantes, e portanto, os resultados de um podem ser extrapolados para análise em outro.

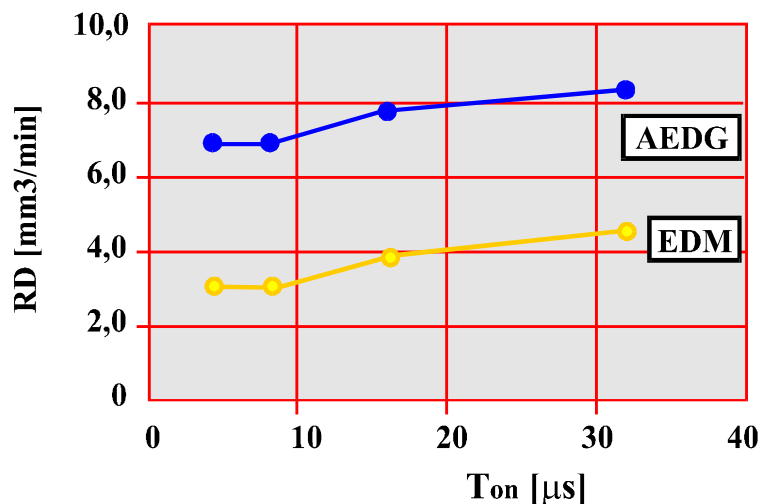


Figura 8: Comparação das RDs (Relação de Desgaste) dos processos AEDG e EDM (Kozak & Oczos, 2001).

Outra grande vantagem do processo AEDG e consequentemente do processo AEDM, é que não há formação de camada refundida. No processo EDM, sempre ocorre a formação de uma camada branca, ou camada refundida, pois como a velocidade do fluido dielétrico nesse caso é pequena (chamamos de vazão de torneira), não se consegue evitar que algum material fundido volte a se solidificar por sobre a superfície usinada. Essa camada branca é prejudicial à peça, pois afeta as propriedades mecânica da superfície gerada. Com a aplicação do jato abrasivo simultaneamente ao processo de eletroerosão, mesmo que ocorra deposição de material na superfície usinada, esse material será quase que instantaneamente removido pela ação erosiva do abrasivo (Kozak et al, 2001).

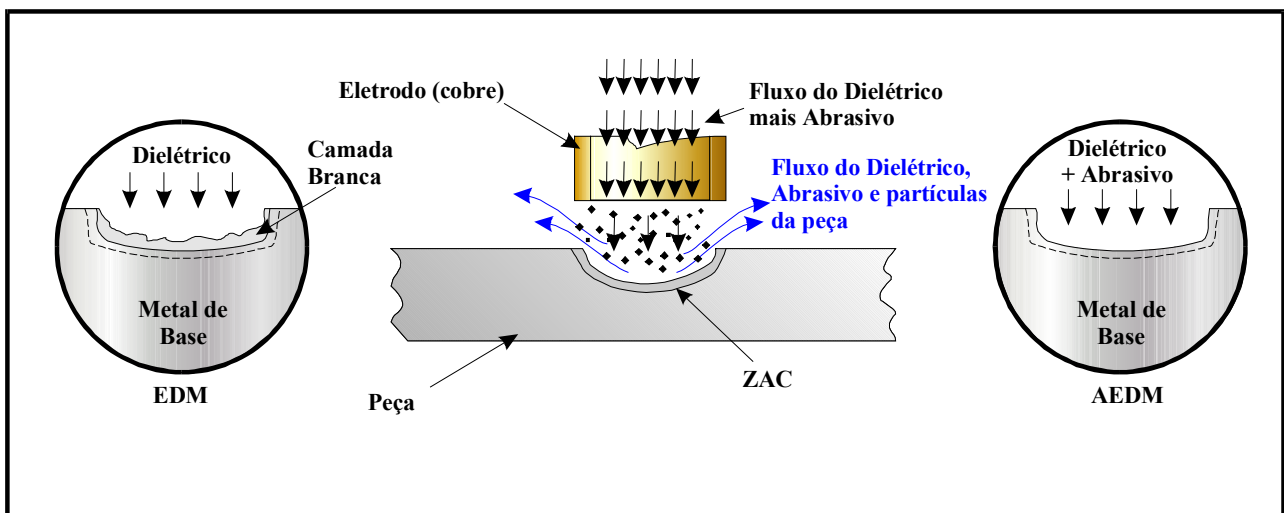


Figura 9: Princípio da Usinagem Híbrida (EDM + AWJM).

4. CONCLUSÕES

Como conclusões, podemos, nesse estágio de desenvolvimento do trabalho, somente apontar algumas Vantagens e Desvantagens do processo AEDM, a seguir:

4.1. Vantagens

- a) Não se faz necessário uma segunda operação de usiagem por jateamento (AWJM, WJM ou AJM) após o processo EDM, pois o processo Híbrido remove “constantemente” a camada branca, melhorando substancialmente o acabamento e diminuindo custos no processo.
- b) O processo híbrido pode ser até 5 vezes mais rápido que o processo EDM isoladamente, não somente pela aceleração causada pelos impactos das partículas abrasivas, mas também, pela melhoria do sistema de lavagem do material fundido e pelo fato de que pesquisas anteriores mostram que as partículas dispersas no fluido melhoram a concentração das descargas elétricas (Fernandes, 1999).
- c) O processo híbrido pode utilizar água deionizada misturada com partículas abrasivas. A água tem a desvantagem de não concentrar bem as descargas elétricas, o que diminui a eficiência do processo, deixando-o muito lento (Morgado, 2003). A presença do abrasivo diminui consideravelmente esse problema, tornando o processo mais rápido e diminuindo muito os custos com fluidos dielétricos (Fernandes, 1999).
- d) A utilização de água deionizada constitui numa das fontes de economia do processo AEDM, pois os fluidos dielétricos são muito caros e dependendo das condições de operação do equipamento EDM, se degradam rapidamente.
- e) Outra vantagem é quanto à saúde do operador, pois pesquisas mostram que ao longo dos anos, o manuseio de fluidos hidrocarbonetos derivados do petróleo podem causar até câncer de pele (Arantes, 2001).

4.2. Desvantagens

- a) As partículas abrasivas podem danificar partes importantes do equipamento EDM, portanto, as máquinas devem estar protegidas e o sistema de filtragem do fluido dielétrico + abrasivo deve ser adequado.
- b) A Ferramenta (Cobre) deve ser protegida internamente, provavelmente com algum revestimento, pois mesmo com um ângulo de ataque de 180°, o desgaste pode ser considerável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arantes, L. J., 2001; “*Performance Evaluation of Dielectric Fluids for Electrical Discharge Machining Process*”, Master’s Dissertation, Federal University of Uberlândia, MG-BR / MIT (Massachusetts Institute of Technology), MA, USA.
- Allison, Sam; 2000, *The Case For Additive Technology In EDM*, ONLINE ARTICLE From the Editorial Staff of Modern Machine Shop. Internet adress: www.mmsonline.com/articles
- Cruz, C., Malaquias, E. S., Fernandes, I. A., 1999, *Introdução à Usinagem Não Tradicional*, DEEME, UFU, Uberlândia-MG, pp. 7-19.
- 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.
- Intech EDM, 1996, *A Guide to Understanding and Selecting EDM Dielectric Fluids*, Broadview, IL.
- Kosak, Jerzy; Pajurkar, Kamlakar P., *Hibridy Machining Process Evaluation and Development*, University of Nebraska, Lincoln, U.S.A, 2001.
- Kosak, Jerzy; Oczos, Kazimierz; *Selected Problems of Abrasive Hybrid Machining*, Journal of Materials Processing Technology, 2001.
- Ramachandran, N.; Ramakrishnan, N.; *A Review of Abrasive Jet Machining*, Journal of Materials Processing Technology, 1993.

Tuersley, I. P.; Jawaid, A.; Pashby, I. R., Review: *Various Methods of Machining Advanced Ceramic Materials*, Journal of Materials Processing Technology, 1993.
Venkatesh, V. C.; Goh, T. N.; Wong, K. N.; Lim, M. J.; *An Empirical Study of Parameters in Abrasive Jet Machining*, Tools Manufacturers, Vol. 24, 1989.

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF AN HYBRID MACHINING PROCESS: ABRASIVE WATER JET MACHINING ASSOCIATED WITH ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING (AEDM)

M. Sc. Luciano José Arantes

ljarantes@mecanica.ufu.br

Dr. 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

Abstract: *Advanced manufacturing processes are increasingly hybridized with other conventional and nontraditional process to create entirely new techniques with superior manufacturing and control capabilities. The study reported in this paper explores the fundamental process, which occur during abrasive electrical discharge machining (AEDM), but not using dielectric fluids from oil, but distilled water with abrasive powder. The example of high effectiveness of the hybrid machining process is also seen in abrasive electrol discharge grinding (AEDG) process, where synergetic effect in respect to increased material removal rate can also be noted (Kosak et al, 2001). Researches has shown that the increase of MMR can be five times bigger than using electrical discharge machining process (EDM) alone. The AEDG process is similar as results compared to AEDM process.*

Other very important advantage of the AEDM process is in the fact that there is no Recast Layer, which always occurs during the EDM process and is very undesirable. Using the abrasive water jet simultaneously the EDM process, the recast layer formed will be removed from the finished surface by the impact power of the abrasive particles (Kozak et al., 2001). The main objective of this work is discuss and analyze the most important factors on the erosive wear combined with the electrical discharge machining process (EDM). Some reports indicate the hybrid process can make the EDM process better in terms of MMR and reduce costs.

Keywords: *EDM, Dielectric Fluids, Erosion and MRR.*