



20° POSMEC

SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Comparação de desempenho entre os pós abrasivos de carbeto de silício (SiC) e alumina (Al₂O₃) no processo híbrido AJEDM

Autor(es)

Ernane Rodrigues da SILVA

Rogério Felício dos SANTOS

Lucas Boaventura Fonseca de SOUSA

Orientador:

Alberto Arnaldo RASLAN

Introdução

O processo EDM (Usinagem por Descargas Elétricas) ocorre entre dois materiais condutores elétricos. Um o eletrodo ferramenta e o outro eletrodo peça. Eles promovem a liberação de faíscas produzidas por descargas elétricas na presença de um líquido dielétrico. A ferramenta trabalha afastada da peça mantendo uma fenda de trabalho denominada *gap*. Um canal de plasma forma-se entre os eletrodos ferramenta e peça, localizado na região da fenda de trabalho. Esse canal mantém no seu interior uma pressão muito alta e um fluxo de elétrons e íons, que circulam livremente enquanto a corrente é ativada. No momento em que a corrente é desligada, a pressão cai bruscamente, promovendo o choque dos elétrons e íons contra as superfícies dos eletrodos (McGeough, 1988).

Segundo Fuller (1989), o fluido dielétrico tem um papel fundamental no processo ao controlar a potência de abertura da descarga. O fluido pode ser querosene, hidrocarbono aditivado (ambos derivados do petróleo), água deionizada ou certas soluções aquosas. O fluido dielétrico deve possuir uma alta rigidez dielétrica para permanecer não condutor eletricamente até que a voltagem de desequilíbrio seja alcançada e deve ionizar-se rapidamente depois que a descarga acontece, além de estar habilitado a suportar a repetição das centelhas estabelecidas. Deve possuir também boa capacidade de refrigeração com baixa viscosidade, o que permite a retirada dos resíduos de usinagem para fora da região do *gap* (McGeough, 1988).

Segundo Amorim (2002), para avaliação do rendimento tecnológico do processo são usualmente quantificados os seguintes aspectos:

- TRM (Taxa de Remoção de Material) – que caracteriza o volume de material removido da peça em um determinado tempo [mm³/min].

- TD (Taxa de Desgaste) – que representa o volume de material removido da ferramenta em um determinado tempo [mm³/min].

- DVR (Desgaste Volumétrico Relativo) – representa o desgaste volumétrico relativo entre os eletrodos ferramenta e peça, dado pela razão entre TD e TRM, Eq. 1, normalmente em valores percentuais.

$$DVR = \frac{TD}{TRM} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Considerando-se o desgaste relativo, quanto menor seu valor, melhor para o processo. O ideal seria um desgaste zero. Entretanto, isto não é possível, já que a superfície da ferramenta também é bombardeada no momento em que o canal de plasma é desfeito.

Segundo Fuller (1989), o processo AJM (Usinagem por Jato Abrasivo) remove material de uma superfície por meio da ação de partículas abrasivas misturadas a um fluxo de gás em alta velocidade. As micro partículas abrasivas transportadas por gás inerte, colidem contra a superfície e resulta na remoção de material. O processo pode ser utilizado para corte, decapagem, limpeza, rebarbação, polimento ou furação. A remoção de material ocorre devido ao mecanismo de erosão, especialmente eficaz quando aplicado a materiais duros e frágeis (Benedict, 1987).

Segundo Benedict (1987), as variáveis que afetam a TRM no processo AJM, são: distância da ponta do bico de saída do jato até a superfície da peça, vazão do fluxo abrasivo, pressão do gás, tipo e tamanho do abrasivo. Entre os abrasivos, o Al_2O_3 , é dos mais utilizados para corte. O SiC é aplicado quando a peça é de material muito duro. Os abrasivos são disponíveis em vários tamanhos, variando entre 10 a 50 μm . O tamanho do abrasivo tem influência sobre a TRM, maiores granulometria removem maior quantidade de material. Os abrasivos de menor tamanho são mais úteis para polimento e limpeza, enquanto os maiores são indicados para corte.

De acordo com Benedict (1987), o processo AWJM (Usinagem com Jato de Água Abrasivo) é uma combinação dos processos AJM e WJM (Usinagem com Jato de Água), que une a ação erosiva da água com o efeito abrasivo das partículas carregadas por um jato de água, para a aplicação em corte a perfuração de materiais duros.

A melhoria tecnológica dos processos de usinagem pode ser atingida pela combinação de diferentes propriedades físicas, em especial a ação mecânica que é utilizada pelos processos convencionais de remoção de material, combinada com as interações não convencionais aplicadas em processos de fabricação, como a Usinagem por Descarga Elétrica (EDM), Usinagem Eletroquímica (ECM) ou Usinagem com Raio Laser (MCM) (Kozak, 2008).

A interação térmica da Usinagem por Descargas Elétricas (EDM), cuja remoção de material ocorre por fusão e evaporação, com a interação da assistência mecânica da ação das partículas do abrasivo do processo de Usinagem com Jato de Água Abrasivo (AWJM), possibilitam a aplicação do processo híbrido de Usinagem por Descargas Elétricas e Erosão Abrasiva (AJEDM), desenvolvido e patenteado por Raslan e Arantes (2009). Este processo promove uma melhor dispersão das descargas elétricas com o aumento do *gap* e consequentemente uma maior remoção de material devido ao impacto das partículas abrasivas contra a superfície usinada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dos abrasivos carbeto de silício e óxido de alumínio no processo de usinagem híbrido AJEDM. Para tanto, foram analisadas a TRM, a TD e o DVR.

Metodologia

O trabalho de pesquisa de usinagem híbrida AJEDM foi realizado em uma máquina de EDM por penetração, modelo EDM 440NC, combinada com uma hidrojateadora de pressão nominal 250 bar, conforme ilustrado na fig. 1. O fluido dielétrico foi água deionizada. Como abrasivos, usou-se o SiC e Al_2O_3 , ambos na granulometria de 600 mesh. A Tabela 1 ilustra algumas características dos abrasivos. O material usinado foi barra de aço ABNT M2. Como eletrodo ferramenta, usou-se cobre eletrolítico com seção tubular de diâmetros: externo 19,05 e interno 6,35 mm e comprimento de 30 mm.

Tabela 1: Dureza e preço comercial (aproximado) dos abrasivos na granulometria de 600 mesh.

Abrasivo	Dureza (HV)	Preço de custo (R\$)/kg
SiC	2.100–2.600	20,00
Al_2O_3	1.800–2.000	10,00

O regime de trabalho selecionado foi de desbaste moderado. O Regime foi obtido de acordo com a regulagem dos parâmetros (Tabela 2) estabelecidos pelo manual da máquina EDM 440NC, para a condição de EDM em peça de aço com eletrodo ferramenta de cobre eletrolítico, obedecendo informações para essa combinação de materiais. O regime escolhido visa atingir uma condição satisfatória da combinação dos

processos de usinagem, EDM e AWJM, de modo que seja retirada uma quantidade maior de material da peça com baixo desgaste da ferramenta. Promove-se, então, uma alta taxa de remoção de material, uma das vantagens desta combinação, em relação ao processo único de EDM convencional. A pressão de trabalho ajustada foi de 240 bar. O consumo médio da quantidade de abrasivo foi de aproximadamente 300 gramas por teste, com duração de 5 minutos cada teste.

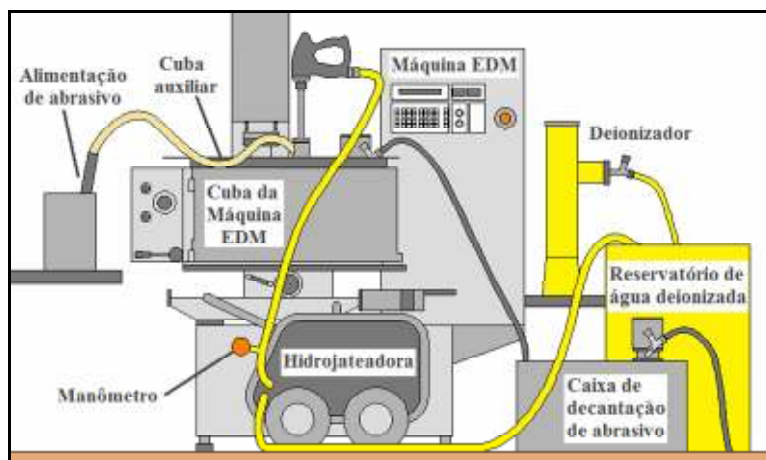


Figura 1: Desenho esquemático do processo de usinagem híbrido AJEDM.

Tabela 2: Parâmetros de usinagem estabelecidos para o regime de trabalho de desbaste moderado.

Parâmetro	Unidade	
Polaridade da ferramenta	Positiva	
Tensão	110	V
Corrente	18	A
T _{on}	200	μs
TS	6	
DT	70	%
Tempo de erosão	6	S
Afastamento periódico da ferramenta	0,4	mm
Intervalo entre erosão e afastamento	0	s

A polaridade indica a posição dos eletrodos, se anodo ou catodo, em relação às descargas elétricas, propiciando uma maior retirada de material de uma das superfícies, geralmente, do eletrodo peça, já que o eletrodo ferramenta deve sofrer o menor desgaste possível. A polaridade pode ser invertida na máquina.

A tensão para ionização e formação do canal de plasma foi mantida constante, de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo manual da máquina. A corrente de descarga consumida no processo, tem influência direta na qualidade da superfície e no rendimento da operação. Com isso, uma melhor qualidade implica em corrente baixa e pouca quantidade de material removido com um tempo maior de usinagem. No caso da máquina utilizada no experimento, esse valor da corrente depende do parâmetro TS, regulado na máquina. A corrente vale 3 vezes TS. T_{on} é o tempo total de duração do pulso, no regime de trabalho. DT está relacionado com o tempo de pausa, t_{off}. No caso da máquina usada no experimento o DT é dado em porcentagem relacionada com o tempo t_{on}. A Eq. 2 determina seu valor.

$$DT = \frac{t_{on}}{(t_{on} + t_{off})} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (2)$$

onde: t_{on} = tempo de pulso [μs] e t_{off} = tempo de intervalo [μs].

Foram ajustados também o *gap* e sensibilidade do *gap* de modo a promover o melhor desempenho do processo junto aos demais parâmetros aplicados durante as operações de usinagem.

Resultados e discussão

Os resultados da TRM, TD e DVR obtidos na usinagem com água deionizada como fluido dielétrico e abrasivos SiC e Al_2O_3 no regime de trabalho de desbaste moderado com pressão de 240 bar no processo híbrido AJEDM, estão apresentados na Fig. 2.

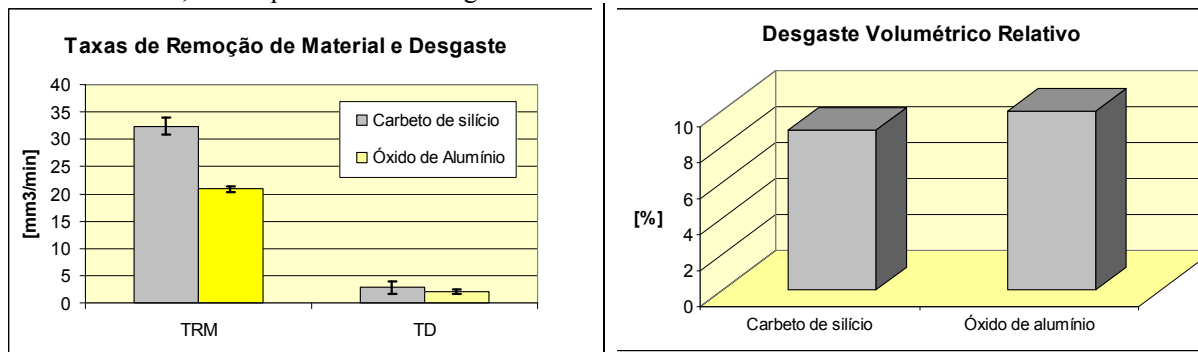


Figura 2: Resultados de TRM, TD e DVR da usinagem com água deionizada no processo híbrido AJEDM.

Nota-se que o abrasivo carbeto de silício apresentou maior TRM em relação ao óxido de alumínio, com pouca variação entre os resultados da TD. Os valores dos DVR ficaram muito próximos, na faixa de 10%: 8,9% para o SiC e 9,9% para Al_2O_3 .

Conclusões

O processo de usinagem híbrido AJEDM com SiC com abrasivo e pressão de trabalho de 240 bar, promoveu melhor desempenho, já que a TRM obtida com o mesmo foi 50% maior, quando comparado desempenho do Al_2O_3 , ambos com 600 mesh.

Não ocorreu variação significativa do DVR durante a aplicação do processo AJEDM com os dois tipos de abrasivo SiC e Al_2O_3 .

Agradecimentos

À FAPEMIG, pela liberação de recursos do projeto TEC APQ 01481/09. À Capes pelo auxílio financeiro aos doutorandos Ernane Rodrigues da Silva e Rogério Felício dos Santos. Ao CNPQ pela bolsa de estágio de iniciação científica do estudante Lucas Boaventura Fonseca de Sousa.

Referências

- AMORIM, F. L. **Tecnologia de eletroerosão por penetração da liga de alumínio AMP 8000 e da liga de cobre CuBe para ferramentas de moldagem de materiais plásticos**. 2002. 147f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.
- BENEDICT, G. F. **Nontraditional manufacturing processes**. New York: Marcel Dekker, 1987. p.207-229.
- FAPEMIG, Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (Belo Horizonte); UFU, Universidade Federal de Uberlândia (Uberlândia). RASLAN, A. A.; ARANTES, L. J. **Método de Usinagem Híbrida Combinando Descargas Elétricas e Erosão Abrasiva**. BR n. PI0703468-7, 06 set. 2007, 24 mar. 2009.
- FULLER, J. E. **Electrical Discharge Machining, Metals Handbook**. 9.ed. 1989. v.16, p.557-564.
- KOZAK, J.; RAJURKAR, K. P. **Hybrid Machning Process Evaluation and Development**. Lincoln. Disponível em: <http://www.mrl.columbia.edu/ntm/CrossProcess/hybrid_machining.htm>. Acesso em: 20 set. 2008.
- MCGEOUGH, J. A. **Advanced methods of machining**. London: Chapman and Hall, p. 128-152, 1988.