

**ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO FUNCIONAL PARA  
USINAGEM ELETROQUÍMICA COM SUCATA ELETRÔNICA.**

Alagoinhas/BA

2017

# **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO FUNCIONAL PARA USINAGEM ELETROQUÍMICA COM SUCATA ELETRÔNICA**

ROBERTO RICARDO DE SOUZA RABÊLO

NILMAR DE SOUZA

TED SILVA SANTANA

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um equipamento para usinagem eletroquímica a partir de sucata eletrônica, com o intuito de proporcionar o aproveitamento do lixo eletrônico, que agride o meio ambiente. O produto visa atender as demandas domésticas no que tange à gravação de metais, sendo uma alternativa de baixo custo e de fácil utilização. Além disso, o instrumento pode ser utilizado como material didático para apresentação de um processo não convencional de usinagem.

**Palavras-chave:** Eletroquímica; usinagem; meio ambiente.

## 1 INTRODUÇÃO

A usinagem é um processo que modifica as dimensões e características superficiais de um material a partir do desbaste mecânico ou da ação de descarga elétrica, com o intuito de dar forma a uma peça, seja ela metálica ou não (Almeida, 2015). A indústria no século XIX teve o seu introito marcado pela impulsão da indústria metalomecânica, que utilizava vapor e água como fonte energética, trazendo um ciclo de construção de máquinas (McGEOUGH, 1998).

Durante a segunda guerra houve escassez de mão de obra e para que a produção continuasse em crescimento com o mínimo de desperdício, passou-se a utilizar o processo não tradicional denominado eletroerosão. As pesquisas envolvendo este processo evoluíram até chegar à usinagem eletroquímica.

A evolução dos materiais, com o intuito de atender demandas cada vez mais específicas, conduziu ao desenvolvimento de materiais mais resistentes e mais difíceis de serem usinados através dos processos convencionais. Essa dificuldade tornou necessária a utilização de processos de fabricação não-convencionais (Freitas et al., 2007).

Usinagem eletroquímica é um processo não tradicional muito utilizado em materiais de altíssima dureza e de difícil usinagem, onde a aplicação dos processos tradicionais não é adequada. Tem-se como resultado desse processo uma maior taxa de usinagem, melhor precisão e controle, e uma ampla gama de materiais que podem ser usinado, sendo uma técnica ideal para usinagem de precisão (Bhattacharyya et al, 2004; Zhan, 2017). Segundo Kirchner (2001), é possível se obter usinagem de microestruturas independentes diretamente em uma chapa metálica, utilizando-se eletrodos adequados. Devido à remoção suave do material, a estrutura do grão do material é revelada sem modificações químicas ou mecânicas.

Neste processo, um fluido eletrolítico é bombeado entre a ferramenta e a peça e é utilizada uma fonte de energia com baixa tensão e alta potência para forner corrente de alta densidade através da célula eletrolítica, proporcionando a dissolução do material da peça (Freitas et al. 2007). O polo positivo é ligado à peça (anodo) e o polo negativo é ligado à ferramenta (catodo). Eletroerosão trata-se da associação da usinagem eletroquímica com outros processos não tradicionais, tendo como objetivo incorporar as vantagens deste processo, melhorando o desempenho da usinagem eletroquímica (Malaquias, 2000).

Esse processo de usinagem ocorre a partir da remoção eletroquímica, a qual obedece à lei de Faraday da eletrólise, que corresponde à dissolução anódica de um metal condutor numa solução salina (McGeough, 1988). Este processo de dissociação é função da intensidade da corrente, sendo assim, quanto maior a intensidade de corrente elétrica, maior será a remoção do material (Silva Neto e Cruz, 2000).

Com o avanço da tecnologia e o forte incentivo ao consumo de equipamentos, a produção de lixo eletrônico é inevitável. São geradas mais de 50 milhões de toneladas de entulho tecnológico, o que representa 5% da produção mundial de lixo. E como o volume de lixo eletrônico é o que mais cresce, estimasse que nos próximos três anos essa quantidade triplique (Nunes Cleide, 2009). A partir do exposto, é importante o apoio à iniciativas que reutilizem o lixo eletrônico, que justifica a criação desta máquina de usinagem eletroquímica que causa eletroerosão com uma tensão acima de 10 V e solução NaCl.

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

Os equipamentos usados na criação da máquina de usinagem eletroquímica foram:

- Fonte de 12 v; 2.3 A ;
- Fio de cobre;
- Parafuso;
- Lamina de corte;
- Fita isolante;
- Copo de um brinquedo;
- Solução salinizada;
- Material de metal aço inox;
- NaCl (sal de cozinha);
- Água;
- Algodão;

O primeiro passo no desenvolvimento do equipamento é a verificação dos terminais negativo e positivo para que seja feita a ligação do fio de cobre. A extremidade do fio positivo é ligada em uma garra fixada na peça que será usinada, neste caso uma faca de aço inox. A extremidade negativa é conectada a um parafuso condutor. Devido ao calor cedido para o parafuso, foi improvisada uma peça de plástico resistente à temperatura, funcionando como

uma base para estampagem.

A parte que não será usinada é coberta com fita adesiva, deixando exposto apenas a região onde será efetuado o processo. Em seguida o algodão foi banhado na substância salina, posto sobre a superfície a ser usinada e pressionado com a estampa que contém o parafuso. Os equipamentos utilizados no processo de usinagem estão sendo apresentados na figura 1.



Figura 1: Equipamentos necessários

### 3 FÓRMULAS USADAS

#### Leis de Faraday da Eletrólise:

$$dm = \frac{(A.I.dt)}{(z.F)} \quad (\text{eq 1})$$

onde:

A = Massa atômica da substância;

I = intensidade de corrente;

dt = tempo ;

z = valência do elemento químico do material da peça;

F = Constante de Faraday = 96500 Coulomb

#### A taxa do material removido:

A taxa de remoção do material depende a intensidade da corrente na cuba eletrolítica, da equivalente-grama e da massa específica do material a ser usinado, e pode ser expressão pela eq 2,

$$\text{TRM} = \frac{(E.I)}{\rho} \therefore I = \frac{V}{R} \quad (\text{eq 2})$$

Onde  $V$  é aproximadamente igual a tensão externa imposta ao circuito,  $E$  é a equivalente-grama,  $\rho$  corresponde massa específica do material a ser usinado,  $I$  representa a corrente aplicada no sistema e  $R$  a resistência ôhmica do mesmo circuito, que por sua vez é praticamente a resistência do espaço entre a ferramenta e peça, que se denomina gap.

### Resistência gap:

Sabendo que a resistência apresenta uma relação direta com o gap, para determinar a resistência deve-se identificar a distância ou vice-versa. A equação 3 apresentação a relação entre essas duas variáveis.

$$R = \frac{(h.r)}{s} \therefore I = \frac{(V.S)}{h.r} \quad (\text{eq 3})$$

Na equação três  $h$  representa a distância ferramenta-peça (gap), a variável  $r$  corresponde à resistividade do eletrólito e  $S$  é a área da seção transversal da peça.

Durante a usinagem, o gap ( $h$ ) tende a aumentar devido à perda do material da peça. Para que essa distância permaneça constante é necessário que a ferramenta avance rumo à peça. Dessa forma, ocorre uma variação do gap com o tempo, o que é expresso a partir da equação 4,

$$\frac{dh}{dt} = \frac{(A.k.V)}{(z.F.\rho.h)} - Va \quad (\text{eq 4})$$

nesta equação  $A$  representa a Massa atômica da substância,  $\rho$  é a densidade do material a ser usinado, a variável  $I$  corresponde a intensidade de corrente,  $dt$  indica a variação infinitesimal do tempo,  $k$  é a condutividade do eletrólito,  $z$  é a valência do elemento químico do material da peça,  $F$  corresponde a Constante de Faraday (96500 Coulomb),  $h$  é o gap e  $Va$  representa a velocidade de avanço.

Existem diversas abordagens específicas para determinar o avanço da ferramenta no processo de usinagem eletroquímica.

Uma delas surge quando a ferramenta não avança ,ou seja  $Va = 0$ , neste caso ocorre no processo de rebarbação ou polimento eletroquímico. Neste processo busca-se uma superfície bem polida a partir do desbaste corrosivo das camadas superficiais.

$$h^2(t) = h^2(0) + \frac{2(A.k.V.t)}{(z.F.\rho)} \quad (\text{eq 5})$$

Numa segunda análise, considera-se a velocidade de avanço da ferramenta como sendo constante, ou seja, a ferramenta avança e o valor do gap tende a se estabilizar após certo tempo.

$$t = \frac{1}{Va} \left[ h(0) - h(t) + he \cdot \ln \frac{h(0)-h(e)}{h(t)-h(e)} \right] \quad (\text{eq 6})$$

onde  $h_e$ , da equação 6, equivale a

$$h_e = \frac{(A.k.V)}{(z.F.\rho.Va)} \quad (\text{eq 7})$$

Outra análise propõe que o avanço da ferramenta seja controlado por um sistema que monitora a tensão e a corrente, evitando curto circuito quando a ferramenta toca a peça.

#### 4 RESULTADOS

Para usinagem caseira e remoção de material na peça que será desbastada a máquina funciona precisando de alguns ajustes. Observou-se ainda a necessidade da criação de uma cuba eletrolítica.

A máquina está funcionando como gravador através de erosão eletrolítica em peças metálicas, levando um tempo de dez minutos para erosão em um volume aproximado de  $0,3125 \text{ cm}^3$ , que já é um grande avanço tratando do uso de sucata eletrônica. Na figura 2 está sendo apresentada a superfície sendo preparada para passar pelo processo de usinagem. Nesta imagem é possível perceber que uma fita adesiva está sendo utilizada para isolar a região em que o processo de usinagem será aplicado.



Figura 2: Preparação da superfície a ser usinada

Na Figura 3 está sendo apresentada a superfície da lâmina já usinada. A partir desse

processo pode-se desenvolver um perfil de usinagem específico, entretanto, pode-se obter qualquer tipo de geometria a partir da mudança da ferramenta e da matriz e pode-se conseguir uma maior profundidade a partir do tempo de exposição da lâmina ao eletrólito.



Figura 3: Lâmina usinada

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O equipamento desenvolvido atende a aplicações domésticas e é extremamente útil como material de suporte didático. Na construção do protótipo, buscou-se minimizar a necessidade de treinamento para o uso da ferramenta. Em potenciais iguais ou superiores a 10 V, eletrólitos apresentaram taxas de remoção de material em soluções de NaCl (100g/L), servindo para gravação em metal. Faz-se necessário um aperfeiçoamento para o protótipo, podendo até chegar a uma máquina mais precisa, com dimensões menores do que as usuais no mercado.

#### **6 REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, P. S. **Processos de usinagem: utilização e aplicações das principais máquinas operatrizes**. – 1º ed. – São Paulo : Érica, 2015. 136 p.

- BHATTACHARYYA, B.; MUNDA, J.; MALAPATI, M. **Advancement in electrochemical micro-machining**. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. v. 44, n. 15, p 1577-1589, 2004.
- FREITAS, T. F. C.; PANZERA, T. H.; RUBIO, J. C. C. **Desenvolvimento de um prototipo de microusinagem eletroquímica**. *4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação*. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2007.
- KIRCHNER, V.; CAGNON, L.; SCHUSTER, R.; ERTL, G. **Electrochemical machining of stainless steel microelements with ultrashort voltage pulses**. *Applied Physics Letters*. v. 79 n.11, p. 1721-1723, 2001.
- MALAQUIAS, E. **Contribuição ao estudo da usinagem eletroquímica do aço rápido ABNT M2**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2000.
- MCGEOUGH, J. A. **Advanced Machining Processes**, London, Chapman and Hall, 1988.
- NUNES, Cleide, Os riscos da falta de controle sobre o descarte de material tecnológico; **Revista CREA BAHIA**, Bahia, Ed. 26 p. 24; 2009.
- SILVA NETO, J. C.; CRUZ, C. **Desenvolvimento de uma retificadora eletroquímica a partir de uma retificadora cilíndrica universal**. *CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2000.
- ZHAN, D.; HAN, L.; ZHANG, J.; HE, Q.; TIANA, ZHAO-WU; TIAN, ZHONG-QUN. **Electrochemical micro/nano-machining: principles and practices**. *Chemical Society Reviews*. v. 46, n 5, p. 1526-1544, 2017.