

ESTUDO DE DESGASTE, TAXA DE REMOÇÃO E RUGOSIDADE SUPERFICIAL EM ELETRODOS DE LATÃO, BRONZE E COBRE NA ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO¹

Gustavo Maiochi Mendonça²
Alceri Antônio Schlotefeldt³
Vilmar Senger⁴

Resumo

A eletroerosão tem como principais vantagens proporcionar a usinagem em metais tratados termicamente e reproduzir superfícies complexas. O objetivo deste estudo é analisar o desempenho de eletrodos de latão e bronze quanto à taxa de remoção, desgaste e rugosidade superficial em comparação com eletrodos convencionais de cobre. Para os ensaios de eletroerosão por penetração será utilizado o aço AISI P20 tratado termicamente, onde serão mantidos constantes os seguintes parâmetros de eletroerosão: potência (TS), tempo de descarga (Ton), tempo de pausa (Toff) e sensibilidade da usinagem. O estudo dos resultados de desgaste foi feito através de análise dimensional, a taxa de remoção de material por meio de cálculo de volume removido e a rugosidade superficial da usinagem por meio de rugosímetro. Neste estudo verificou-se uma razoável viabilidade técnica e econômica do uso de eletrodos de bronze e latão, já que são materiais de boa usinabilidade para a construção dos eletrodos e proporcionaram neste estudo uma baixa rugosidade da peça erodida.

Palavras-chaves: Eletroerosão por penetração; Desgaste; Taxa de remoção; Rugosidade superficial.

¹ Trabalho apresentado no 4º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 2 a 5 de maio de 2006, Joinville, SC.

² Graduado Tecnólogo em Eletromecânica, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, R. Arno Waldemar Döhler 957, 89218-155 - Joinville - Santa Catarina

³ Mestrando em Educação, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, R. Arno Waldemar Döhler 957, 89218-155 - Joinville - Santa Catarina

⁴ Especialista em Gestão Estratégica em Recursos Humanos, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, R. Arno Waldemar Döhler 957, 89218-155 - Joinville - Santa Catarina

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve um considerável aumento do uso de máquinas de eletroerosão por penetração, especialmente para a produção de ferramentas. A eletroerosão tem como principais vantagens proporcionar a usinagem em metais tratados termicamente e reproduzir automaticamente superfícies complexas.^(1,2)

O principal material utilizado para a construção de eletrodos para eletroerosão continua sendo o cobre. No entanto, o cobre apresenta dificuldade na sua construção, pois sua ductilidade interfere no momento da sua usinagem com ferramentas de corte, tornando-se assim, um processo moroso e dispendioso.

Outro material muito utilizado pela indústria para a construção de eletrodos é o grafite, que é um material amorfo e condutor de energia.⁽³⁾ No entanto, eletrodos usinados em grafite apresentam restrições no que diz respeito a integridade das máquinas, pois o pó resultante da sua usinagem é muito fino e acaba penetrando nas partes componentes da máquina.

Este pó proveniente da usinagem do grafite acaba danificando partes das máquinas, especialmente os fusos, em função da ação da corrosão. Em máquinas com comando numérico computadorizado (CNC), o pó penetra no painel eletrônico da máquina e gera pequenos curtos-circuitos provocando queima de componentes.

Sendo assim, este estudo busca encontrar materiais alternativos para a construção de eletrodos para eletroerosão, com o objetivo de facilitar a usinagem e diminuir custos.⁽⁴⁾

O objetivo geral deste estudo é analisar o desempenho de eletrodos de latão e bronze quanto a taxa de remoção, desgaste, rugosidade superficial e precisão da usinagem em comparação com os convencionais eletrodos de cobre.

São objetivos específicos deste estudo:

- Conhecer as características dos materiais estudados;
- Aquisição dos materiais necessários;
- Usinagem dos eletrodos;
- Realizar os ensaios de eletroerosão;
- Avaliação da viabilidade técnica e econômica do uso de materiais alternativos para eletrodos;
- Estudos dos resultados obtidos;
- Divulgação dos resultados;

Os materiais que se pretende utilizar neste estudo serão o latão, o bronze e o cobre, que são materiais metálicos não ferrosos e encontrados facilmente no mercado.

Para este estudo serão analisados os seguintes parâmetros:

- Taxa de remoção de material;
- Desgaste do eletrodo;
- Rugosidade superficial na usinagem ;
- Grau de precisão da usinagem.

Os materiais bibliográficos publicados nesta área do conhecimento são escassos e geralmente provenientes de manuais dos fabricantes das máquinas, o que dificulta sua acessibilidade e consulta. Portanto, busca-se também, a criação de material didático que possa ser utilizado como fonte de consulta teórica.

Com o término deste estudo espera-se conseguir resultados relevantes no ponto de vista prático, para posterior utilização nos laboratórios de usinagem na unidade do Senai de Joinville e estendido para a comunidade em geral.

MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo serão utilizados eletrodos de latão, bronze e cobre na usinagem por eletroerosão do aço AISI P20 tratado termicamente, cuja composição química do aço é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química média do aço AISI P20.

Aço	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)
AISI P20	0,38	1,47	0,31	1,82	0,24	0,94

O aço AISI P20 utilizado neste estudo foi fornecido em placa quadrada no estado beneficiado com dureza de 28 HRC (150 Kgf). O aço foi tratado termicamente sob condições de têmpera a 860°C e revenimento a 560°C durante duas horas obtendo dureza final de 46 HRC.

Os materiais utilizados como eletrodos nos ensaios foram fornecidos em barras redondas e com as dimensões iniciais expostas na Tabela 2, onde D é o diâmetro, C é o comprimento dos eletrodos e EI são os eletrodos, medidos em mm.

As barras de latão, bronze e cobre foram usinadas em torno convencional para a construção de 3 eletrodos de cada material com comprimentos de aproximadamente 20mm, os eletrodos foram identificados em I, II e III.

Tabela 2. Dimensões iniciais dos eletrodos de cobre, latão e bronze

Cobre			Latão			Bronze		
EI	D	C	EI	D	C	EI	D	C
I	12,70	22,85	I	12,70	20,35	I	13,40	20,99
II	12,70	19,92	II	12,70	20,67	II	13,40	19,99
III	12,70	20,90	III	12,70	20,67	III	13,40	21,65

O estudo será realizado em máquina de eletroerosão por penetração Engemaq NC40A, onde os parâmetros de usinagem serão mantidos fixos da seguinte forma:

- Potência em 6 TS (aproximadamente 21 ampéres);
- Tempo de descarga Ton 300 μ s;
- Tempo de pausa Toff 75%;
- A sensibilidade da usinagem também foi mantida fixa.

O tempo total do processo de eletroerosão para cada ensaio foi mantido constante em 8 minutos para todos os eletrodos.

O estudo do resultado de desgaste será feito através de análise dimensional, a taxa de remoção de material por meio de cálculo de volume removido e a rugosidade superficial da usinagem por meio de medição com rugosímetro.

Os eletrodos, após os ensaios, foram submetidos a limpeza em máquina de ultrassom durante 60 minutos para posterior análise ao microscópio ótico, conforme figura localizada nos resultados.

RESULTADOS

O aço AISI P20 utilizado como material base para a eletroerosão foi tratado termicamente antes dos ensaios para incremento da sua dureza e condicionamento da microestrutura. A dureza obtida após o tratamento térmico de têmpera e posterior revenimento foi de 46 HRC.

Os resultados dos testes de rugosidade Ra dos eletrodos de latão, bronze e cobre e também as rugosidades Ra das cavidades erodidas estão nas Tabelas 3 e 4, respectivamente:

Tabela 3. Rugosidade Ra dos eletrodos utilizados neste estudo

Cobre		Latão		Bronze	
Ensaio	Ra (μm)	Ensaio	Ra (μm)	Ensaio	Ra (μm)
I	1,70	I	2,57	I	4,03
II	1,78	II	3,70	II	3,64
III	2,04	III	4,34	III	4,83
Média:	1,84	Média:	3,53	Média:	4,16

Tabela .4. Rugosidade Ra das cavidades no aço AISI P20 após eletroerosão

Eletrodo de Cobre		Eletrodo de Latão		Eletrodo de Bronze	
Ensaio	Ra (μm)	Ensaio	Ra (μm)	Ensaio	Ra (μm)
I	12,34	I	7,18	I	4,00
II	12,52	II	6,24	II	3,64
III	11,32	III	6,51	III	5,33
Média:	12,06	Média:	6,64	Média:	4,32

Verifica-se na Tabela 5 as dimensões em milímetros dos eletrodos de cobre, latão e bronze após o processo de eletroerosão.

Tabela 5. Dimensões finais dos eletrodos após eletroerosão.

Cobre		Latão		Bronze	
Ensaio	C (mm)	Ensaio	C (mm)	Ensaio	C (mm)
I	22,62	I	19,94	I	20,58
II	20,12	II	20,18	II	19,52
III	21,11	III	21,20	III	21,14

Na Tabela 6 estão alocados os cálculos dos volumes de material removido durante o processo e a respectiva média geral de volume para cada eletrodo.

Tabela 6. Volume removido durante o processo de eletroerosão:

Eletrodo de Cobre		Eletrodo de Latão		Eletrodo de Bronze	
Ensaio	V (mm^3)	Ensaio	V (mm^3)	Ensaio	V (mm^3)
I	286,26	I	102,94	I	71,04
II	376,41	II	115,81	II	76,95
III	368,23	III	109,38	III	71,15
Média:	343,64	Média:	109,38	Média:	73,05

Na Figura 1 são apresentadas as micrografias dos eletrodos de cobre, latão e bronze após o processo de eletroerosão. A análise foi feita através de microscópio ótico com aumento de 200X.

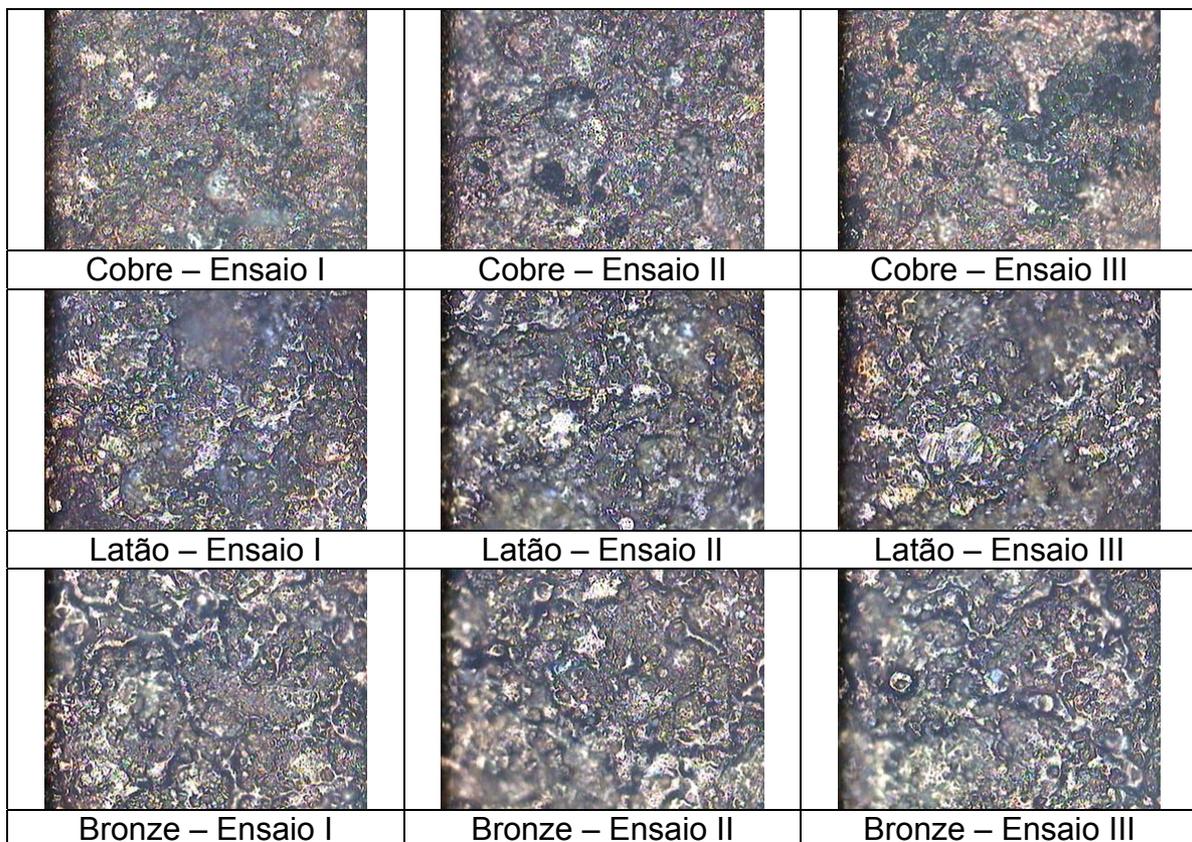


Figura 1. Micrografias dos eletrodos após os ensaios de eletroerosão.

DISCUSSÃO

Concluída a etapa de ensaios com os eletrodos e depois de feita a análise dos resultados obtidos, verificou-se que o desempenho dos eletrodos de cobre é superior ao desempenho dos eletrodos de latão e bronze no que diz respeito à taxa de remoção.

Nos ensaios com os eletrodos de cobre, o volume total de material removido ficou numa média de $343,64\text{mm}^3$, enquanto que os eletrodos de latão removeram em média $109,38\text{mm}^3$. Os eletrodos de bronze foram os que menos removeram material, numa média de $73,05\text{mm}^3$.

Fazendo uma análise do volume removido nos ensaios com os eletrodos de cobre, sua taxa de material removido por minuto também foi superior aos eletrodos alternativos de latão e bronze. A taxa com os eletrodos de cobre foi de $42,95\text{mm}^3/\text{min}$. A taxa de remoção de material por minuto nos ensaios com os eletrodos de latão e bronze foram, respectivamente, $13,67\text{mm}^3/\text{min}$ e $9,13\text{mm}^3/\text{min}$.

Entretanto, ao analisar os resultados dos ensaios de rugosidade das cavidades erodidas no processo, verificou-se que a rugosidade das cavidades usinadas com os eletrodos de cobre foram as maiores entre os três eletrodos (em média $12,06\mu\text{m}$), enquanto que a rugosidade das cavidades feitas pelos eletrodos de latão foi de $6,64\mu\text{m}$ e pelos eletrodos de bronze foram de $4,32\mu\text{m}$.

A alta rugosidade da cavidade feita pelos eletrodos de cobre pode ser explicada pela maior facilidade que este material tem para conduzir eletricidade e calor, isto acaba potencializando a quantidade de volume removido, proporcionando uma qualidade inferior na peça e uma rugosidade maior em função da remoção abrupta de material e melhor direcionamento da faísca na peça.

Ao analisar os resultados dos ensaios de rugosidade dos eletrodos, verificou-se que foram menores nos eletrodos de cobre (em média $1,86\mu\text{m}$) e as rugosidades médias dos eletrodos de latão e bronze foram $3,53\mu\text{m}$ e $4,16\mu\text{m}$, respectivamente. A rugosidade do eletrodo de cobre pode ter sido menor devido à sua excelente condutividade elétrica e térmica, o que permite que a corrente elétrica obtenha bom desempenho na sua descarga.

O fato dos eletrodos de latão e bronze não ter removido tanto material durante a eletroerosão, pode ser explicado por uma possível baixa condutividade elétrica e térmica destes materiais, o que acarreta faiscamento desigual e baixa potência, removendo pouco material, conseqüentemente.

No caso do bronze, o seu teor de fósforo na sua microestrutura, pode influenciar na regularidade e potência de faiscamento, gerando uma remoção bem menor e explicando assim seu baixo desempenho no que diz respeito a taxa de remoção.

No processo de eletroerosão com os eletrodos de latão e bronze foram necessárias duas paradas para limpeza da cavidade erodida em função do acúmulo de materiais. Já nos testes com os eletrodos de cobre não foram necessárias paradas.

Quanto ao desgaste dos eletrodos através de análise dimensional, foi verificado que o desgaste do eletrodo de bronze foi o maior: 2,20%. Nos eletrodos de latão foi obtido o menor percentual de desgaste: 0,12%, enquanto que os eletrodos de cobre tiveram desgaste de 1,03%.

CONCLUSÃO

- Para este estudo, o eletrodo de cobre efetivamente possui o melhor desempenho na eletroerosão quanto à taxa de remoção de material, visto que sua performance foi muito superior em termos de remoção de material erodido, bem como o processo de eletroerosão, uma vez que não houve parada para limpeza da área erodida para remoção de carvão na usinagem;
- A rugosidade das cavidades erodidas com os eletrodos de latão e bronze foram inferiores às rugosidades das cavidades feitas pelos eletrodos de cobre;
- Os eletrodos alternativos de latão e bronze podem ser utilizados para fins didáticos e até comerciais, uma vez que são de fácil aquisição e usinagem. Pode se estabelecer uma relação proporcional de taxa de remoção e rugosidade entre os eletrodos a fim de facilitar o trabalho didático;
- Seria possível utilizar eletrodos convencionais de cobre para desbaste da peça e posterior acabamento superficial com eletrodos de bronze, em função da baixa rugosidade da cavidade erodida;

- As taxas de desgaste dos eletrodos foram baixas para todos os ensaios. Verificou-se que a taxa de desgaste do latão foi a menor entre os três eletrodos analisados neste estudo (0,58%), em seguida veio o cobre (1,03%) e por último o bronze (2,20%).

Agradecimentos

SENAI de Joinville

REFERÊNCIAS

- 1 ENGEMAQ. **Manual de instalação, programação e operação EDM 440 NC**. Caxias do Sul: Engemaq Eletroerosão S/A, 1998.
- 2 LIU, H.S.; YAN, B. H.; CHEN, C. L.; HUANG, F. Y. Application of micro-EDM combined with high-frequency dither grinding to micro-hole machining. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v.46, n.1, p. 80-87, Jan. 2006.
- 3 ENGEMAQ. **Manual de tecnologia**. Caxias do Sul, 1996.
- 4 ENGEMAQ. **Tecnologia de eletroerosão**. Caxias do Sul, 1997.

STUDY OF WEAR, METAL REMOVAL RATE AND SURFACE ROUGHNESS IN BRASS, BRONZE AND COPPER ELECTRODES ON ELECTRIC DISCHARGE MACHINING PROCESS

*Gustavo Maiochi Mendonça
Alceri Antônio Schlotefeldt
Vilmar Senger*

Abstract

Primary advantages of electric discharge machining are the machining of heat treated metals and reproduction of complex surfaces. The aim of this work is to investigate brass and bronze electrode performance about the metal removal rate, wear and surface roughness compared to conventional copper electrodes. Heat treated AISI P20 steel, was the material used to carryout the electric discharge machining experiments, in which were varied the process conditions such as power (TS), discharge time (Ton), pause time (Toff), however, machining sensitivity was kept constant. The study of wear results were supported on the dimensional analyze, material removal rate by evaluating the removed volume and the machining surface roughness controlled by a stylus instrument (Profilometer). It was achieved a reasonable technical and economic feasibility by using bronze and brass electrodes, taking into account their good machinability and manufacturing low cost.

Key words: Electric discharge machining; Wear; Removal rate; Surface roughness.