

DESENVOLVIMENTO DE ELETRODOS PARA FABRICAÇÃO DE MICRO-FUROS PELO PROCESSO DE ELETROEROSÃO

Paulo Carlos Kaminski

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - 05508-900 - São Paulo - Brasil

Marcelo Neublum Capuano

Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC-SP, Departamento de Engenharia Mecânica
Pça Coronel Fernando Prestes, 30 - 01124-060 - São Paulo - Brasil

Resumo

A geração de microfuros pelo processo de eletroerosão por penetração se depara sempre com a dificuldade de obtenção dos microeletrodos. Para gerar o microeletrodo com diâmetro de 0,1 mm e erro de cilindridade inferior a 0,001 mm, foi necessária a utilização do processo de laminação e de acordo com o material também a usinagem química. Este artigo tem como objetivo descrever as técnicas utilizadas para a obtenção dos microeletrodos, além dos resultados obtidos na usinagem dos microfuros por eletroerosão com a utilização de máquinas convencionais.

Palavras-chave: eletrodos, microfuros, eletroerosão

1. INTRODUÇÃO

O princípio de usinagem por eletroerosão foi identificado inicialmente pelo cientista Inglês Joseph Priestley em 1750. Esse pesquisador conseguiu reproduzir em laboratório o fenômeno, concluindo que o consumo de material se dá em função da polaridade, dureza e condutividade térmica e elétrica do material do eletrodo. No entanto, o processo de usinagem por eletroerosão só foi utilizado em escala industrial pelos cientistas Soviéticos N.I. Lazarenko e B.R. Lazarenko, na Segunda Guerra Mundial (Medeiros 1981).

O princípio de usinagem por eletroerosão consiste em aplicar uma diferença de potencial (em corrente contínua) entre duas placas condutoras de eletricidade, separadas por uma pequena distância (10 μm a 500 μm) (Mc Gough 1988 e Guitrau 1997) denominada "GAP". Baseado nesses princípios desenvolveu-se um conjunto de ensaios visando qualificar e quantificar as grandezas que interferem na usinagem dos microfuros.

A característica física do microeletrodo (diâmetro 0,1 mm; comprimento 50 mm) é um dos fatores que gera a dificuldade de obtenção do microfuro.

Assim, o primeiro passo a ser analisado e desenvolvido foi o processo de fabricação dos microeletrodos. Após uma avaliação cuidadosa decidiu-se pelo processo de laminação mecânica e o processo de usinagem química como os mais promissores.

O material do eletrodo também é um item de grande importância a ser considerado. Para tanto foram pesquisados uma gama de materiais ou ligas que pudessem ser utilizados para os fins propostos. Algumas dessas ligas foram descartadas em função do alto custo e da dificuldade de obtenção, uma vez que o objetivo da pesquisa é o desenvolvimento do processo de usinagem de microfuros com máquinas convencionais e de baixo custo. As ligas analisadas foram: cobre/telúrio, cobre/prata, cobre/cromo, cobre/tungstênio e carboneto de tungstênio. Assim optou-se pelo cobre eletrolítico e a liga cobre/prata (30% / 70%) como materiais para esta pesquisa (Kaminski e Capuano 1999).

2. PROCESSO DE OBTENÇÃO DO MICROELETRODO

Para a obtenção dos eletrodos de cobre eletrolítico fez-se uso de 2 processos, ou até a combinação deles, sendo:

- mecânico (laminação)
- químico:
 - percloroeto de ferro;
 - ácido nítrico.

No processo mecânico, por laminação, o eletrodo é posicionado entre duas chapas de aço usinadas com baixa rugosidade. A geometria final é obtida por laminação "atritando" as chapas. O inconveniente deste processo está basicamente no fato de que o cobre, quando encruado, aumenta o número de discordâncias inter-cristalinas em seus planos. Como resultado torna-se frágil e quebradiço. Uma forma de garantir a continuidade desse processo de laminação é fazer um recozimento do microeletrodo para garantir a recristalização.

No processo químico foram analisados o ataque químico através do ácido nítrico e do percloroeto de ferro. O processo em si é a disposição do eletrodo dentro de uma solução aquosa do ácido correspondente. O controle do tempo de imersão (tempo de ataque químico) permite a obtenção do diâmetro do eletrodo desejado.

- ácido nítrico: apesar de reagir muito bem com o cobre e demais ligas, o maior inconveniente é o "borbulhamento", que no caso de microeletrodos é prejudicial. Torna-se possível a utilização do ácido nítrico com concentração de 20% a menor.
- percloroeto de ferro: a reação química é mais lenta, e a não ocorrência de bolhas torna-o mais preciso; ou seja, a uniformidade do diâmetro é maior.

Os ensaios foram realizados com eletrodos de cobre e cobre/prata (30% / 70%) e para obter as dimensões de $0,1^{\pm 0,005}$ mm de diâmetro utilizou-se apenas o processo de laminação que proporcionou bom resultado, em termos de cilíndricidade, como mostra a figura 1.

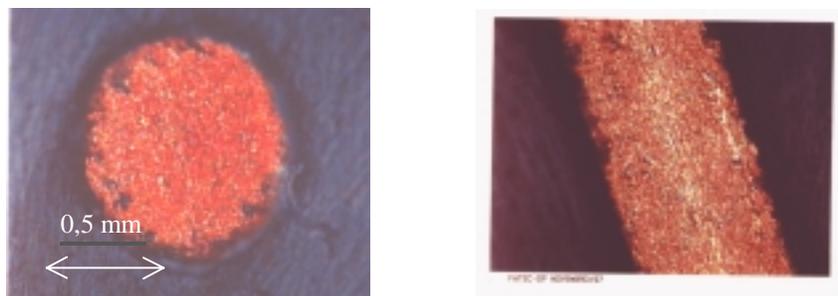


Figura 1. Foto do microeletrodo de cobre com diâmetro 0,1 mm

Para a obtenção dos eletrodos da liga Ag/Cu, conseguiu-se bons resultados também com apenas o processo de laminação. Porém foram realizados alguns testes com ácido nítrico obtendo-se resultados melhores. Entretanto foi necessária uma laminação no final do processo para garantir a cilindricidade do eletrodo.

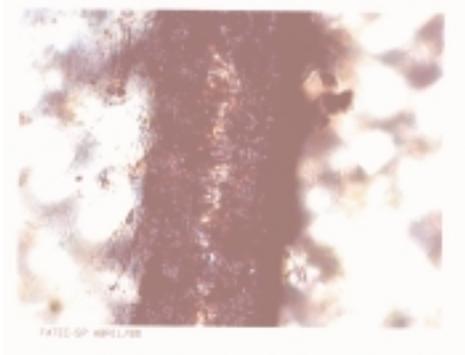


Figura 2. Foto do microeletrodo da liga Ag/Cu com diâmetro 0,1 mm

3. MICROFURO

Os microfuros são aplicados em válvulas hidro-pneumáticas na área da medicina, física óptica e indústria química. Para a geração de furos inferiores a 100 μm , o processo de usinagem é o mesmo que para dimensões superiores, o que se altera é a velocidade de erosão.

A velocidade de erosão é função de uma série de fatores, tais como:

- intensidade de corrente;
- características físicas do material;
- duração do pulso (Ton) e da pausa (Toff).

O tempo de pulso muito curto, leva a um rendimento baixo. Por outro lado, tempo muito longo, ao contrário do que se pode esperar, não leva a um rendimento alto. Assim existe um valor ideal para cada situação, em função dos materiais da peça e do eletrodo.

Para a usinagem dos microfuros pelo processo de eletroerosão por penetração, deve-se considerar alguns dos parâmetros variáveis do processo, pois influenciam diretamente na geração do microfuro: executável ou não e na qualidade (circularidade) do furo. São eles:

- frequência do ciclo de descarga elétrica;
- tempo de pausa para limpeza;
- tipo de limpeza.

A frequência dos ciclos elétricos influenciam basicamente o tempo de usinagem e o consumo de eletrodo. Os períodos dos ciclos de descarga elétrica (Ton) influenciam o consumo de eletrodo.

4. ENSAIOS

Foram utilizados ensaios com chapas em aço ABNT 1010, espessura de 2,4 mm e eletrodos de cobre eletrolítico e da liga cobre/prata todos com diâmetro $0,100^{\pm 0,005}$ mm. Os ensaios foram realizados em uma máquina de eletroerosão por penetração convencional, de pequeno porte (até 25 A), de fabricação nacional.

Para o desenvolvimento destes ensaios foram necessários três dispositivos (Capuano 1999);

- dispositivo porta eletrodo;
- dispositivo de alinhamento mecânico;
- dispositivo óptico de alinhamento do eletrodo.

4.1 Dispositivos

O dispositivo porta eletrodo é composto basicamente de uma barra cilíndrica, com uma das pontas roscadas para a fixação na máquina de eletroerosão. Na outra extremidade é fixado o microeletrodo por meio de solda à base de estanho.

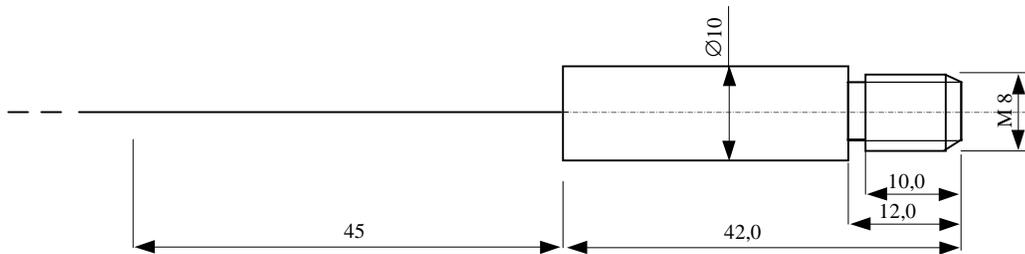


Figura 3. Dispositivo porta eletrodo

O dispositivo de alinhamento mecânico é composto basicamente de um prisma e um contraprisma, sendo o prisma móvel fixado numa base (apoio móvel). Quando posicionados comprimem o eletrodo deformando-o plasticamente e por consequência alinhando-o.

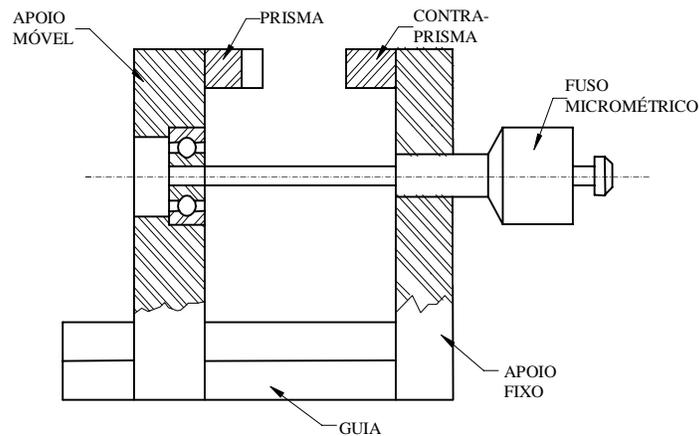


Figura 4. Dispositivo de alinhamento mecânico

Terminada esta etapa, o eletrodo será aferido por um sistema óptico de projeção, composto por dois lasers de baixa potência que posicionados ortogonalmente, projetam o perfil do eletrodo em um padrão ortogonal ao feixe (figura 5). Desta forma pode-se aferir o alinhamento do eletrodo em relação ao padrão.

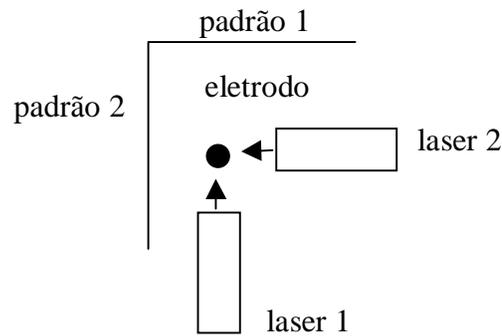


Figura 5. Montagem do dispositivo óptico de alinhamento do eletrodo.

No equipamento onde os ensaios foram realizados, o cabeçote porta eletrodo possui um sistema de acoplamento esférico que possibilita a correção do alinhamento em relação ao padrão. Após fixados nos dispositivos porta eletrodos (figura 3), caso haja necessidade, deverá ser feito o alinhamento no dispositivo mecânico de posicionamento (figura 4) que efetuará a deformação plástica, corrigindo o alinhamento do eletrodo. A posição final do microeletrodo é avaliada por meio do dispositivo óptico de alinhamento (figura 5).

4.2 Resultados dos ensaios

As figura 6 e 7 apresentam um resumo dos resultados obtidos.

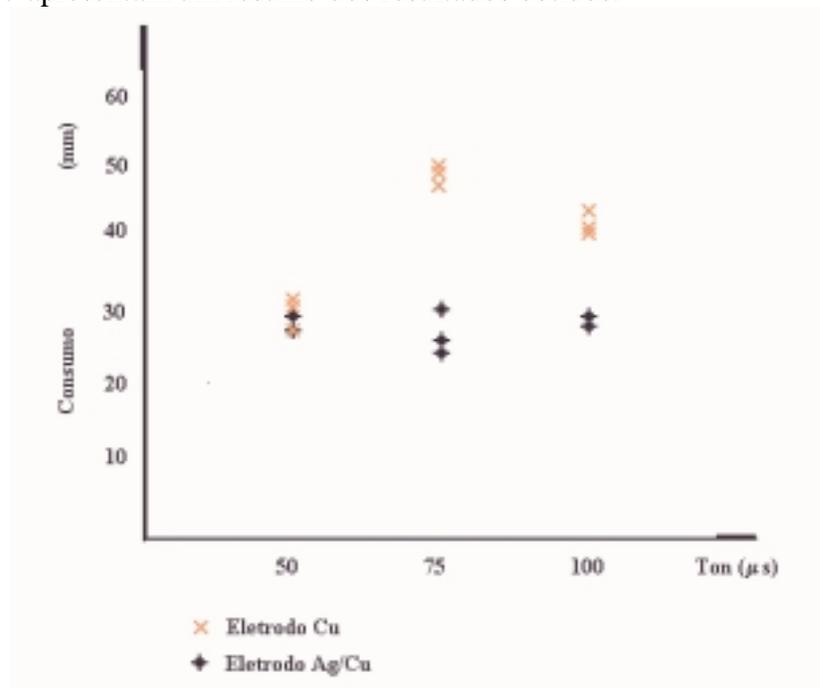


Figura 6. Diagrama do período de descarga(Ton)/Consumo de eletrodo

O consumo de microeletrodo de cobre mostra-se superior em todos os eventos, porém, no caso de Ton = 50 μs , esse consumo assemelha-se ao da liga Ag/Cu.

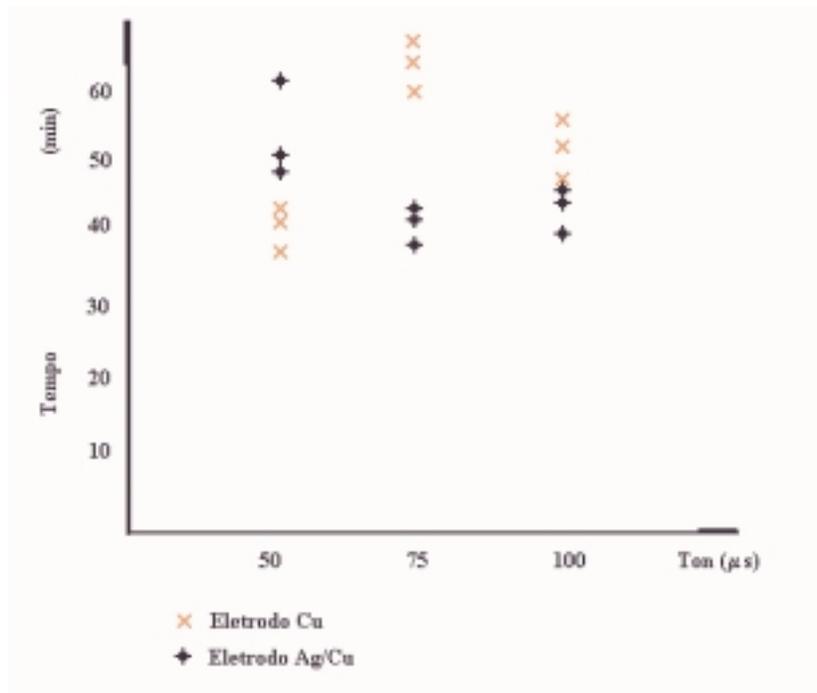


Figura 7. Diagrama do período de descarga tempo de usinagem / Ton

Quando relacionado o tempo de usinagem com período de descarga (Ton), a condição mais favorável é para Ton = 75 µs com eletrodo da liga Prata/Cobre.

No transcorrer dos ensaios pode-se detectar que a limpeza é de suma importância para a realização do microfuro. Se ela não for eficiente, ocorrerá a deposição de material carbonizado no fundo da cavidade em usinagem, impedindo a condução elétrica e por consequência o desalinhamento do eletrodo, uma vez que o sistema hidráulico de avanço do eletrodo reage ao contato elétrico. Para a execução de microfuros deve-se prever uma limpeza contínua na ponta do eletrodo para a retirada do metal fundido, a fim de manter também o apontamento do eletrodo. É natural que ocorra um consumo maior de eletrodo em função da necessidade de mantê-lo apontado, para evitar deformações no furo devido à fundição do eletrodo.

Como o material do microeletrodo é cobre ou prata/cobre (dúctil), há necessidade de tratá-lo para ocorrer o encruamento em sua estrutura cristalina, fato este de grande valia no posicionamento do microeletrodo.

Ao se analisar as fotos apresentadas a seguir pode-se observar que em todo o contorno do microfuro há deposição de escórias decorrentes do processo de usinagem. Essa escória depositada nas paredes dos furos seria de volume muito menor se o processo de limpeza tivesse sido mais eficiente. Essa escória, se por um lado, é maléfica ao produto final (ou até ao processo, se ela estiver presente no fundo do furo em usinagem), por outro lado, é benéfica quando depositada durante o processo nas paredes laterais, pois como é isolante, as descargas elétricas dirigem-se somente para o fundo do furo, tornando mais eficiente a furação.

A figura 8 mostra um microfuro executado com Ton = 50 µs em chapa (aço ABNT 1010) de 2,4 mm de espessura com eletrodo da liga Ag/Cu. Observando o contorno interno do furo, nota-se a deposição da escória decorrente do processo de usinagem, fazendo com que o furo tenha sua circularidade alterada.

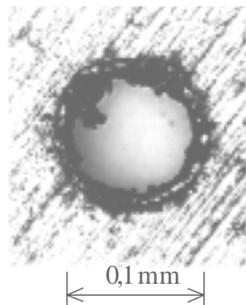


Figura 8. Microfuro executado com Ton 50 μ s (Ag/Cu)

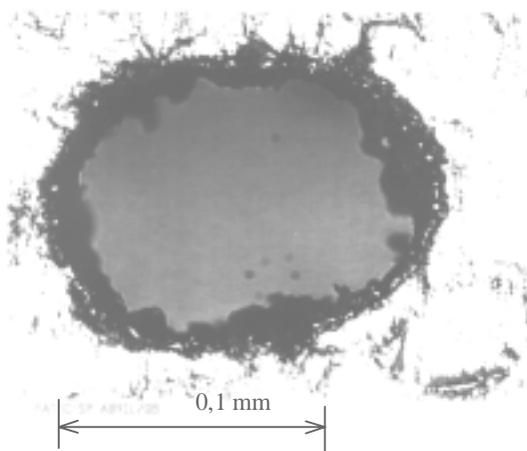


Figura 9. Microfuro executado com Ton 100 μ s (Ag/Cu)

A figura 9 mostra o perfil do furo e a deposição de escória em sua borda. Notar a perda de circularidade ocorrida. A irregularidade da espessura da escória depositada é devida a microexplosões mais intensas que provocam a desagregação da escória da parede.

5. CONCLUSÕES

Pelos experimentos desenvolvidos, pode-se concluir que o processo de eletroerosão por penetração na execução de microfuros com máquinas convencionais é tecnicamente viável.

A usinagem química para a confecção dos eletrodos é eficaz, porém para manter algumas características geométricas, tais como cilindridade ou até a circularidade depende-se da laminação mecânica, pois com o movimento imposto pode-se gerar um cilindro. Com a usinagem química com o percloro de ferro, por ser mais lenta, consegue-se maior precisão. Por outro lado, a usinagem com ácido nítrico é muito mais rápida. Entretanto, em função do borbulhamento e a fragilidade do eletrodo, gera-se um produto com muitas irregularidades na superfície.

De acordo com o gráfico da figura 6 conclui-se que o consumo de eletrodo é semelhante tanto para a liga de Ag/Cu como para os de Cu. O que fica claro, nesse diagrama, é que o tempo de usinagem se mostra comparativamente menor com eletrodo da liga Ag/Cu em relação ao eletrodo de cobre.

Nos ensaios realizados com Ton 75 μ s conclui-se que o tempo de usinagem com eletrodo de cobre é superior ao tempo com a liga Ag/Cu, e o consumo de eletrodo da liga é cerca de 40% menor quando comparado com o de Cu.

Ainda quanto aos eletrodos pode-se concluir que a liga Ag/Cu teve um rendimento superior aos de Cu, e que quanto maior o valor de Ton maior o consumo de eletrodo, independentemente do material.

6. REFERÊNCIAS

1. Capuano, M.N.; **Usinagem de Microfuros pelo Processo de Eletroerosão por Penetração em Máquina Convencional**, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Mecânica, 1999.
2. Guitrau, E.B., **The EDM Handbook**, Hanser Gardner Publications, 1997.
3. Kaminski, P.C., Capuano, M.N.; **Machining of Micro Holes by the Process of Electro-Erosion by Penetration. A Introductory Study.** Annals of Applied Mechanics in the Americas, Vol. 6 , pp.485-489, 1999.
4. Masuzawa, T., Tsukamoto, J., Fujino, M.; **Drilling of Microholes by EDM**, Annals CIRP Vol.38, 1989.
5. McGeough, J.A.; **Advanced Methods of Machining**, Chapman and Hall, London, 1988.
6. Medeiros, J.T.N.; **Análise de Alguns Parâmetros Tecnológicos da Usinagem de Aço Carbono por Eletroerosão**, Dissertação de Mestrado EESC-USP, São Carlos, 1981.
7. Momma, C. et all; **Short-pulse Laser Ablation of Solid Targets**, Optics Communications, 1996.
8. Weck, M.; **Machine Tools**, John Wiley & Sons, vol.1, 1990.