

USINAGEM DE MICROFUROS PELO PROCESSO DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO EM MÁQUINA EDM CONVENCIONAL.

Prof. Dr. Paulo Carlos Kaminski

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-EPUSP
Rua Professor Mello Moraes, 2231
CEP:05508-900
São Paulo-SP-Brasil

Prof. Marcelo Neublum Capuano

Faculdade de Tecnologia de São Paulo-FATEC-SP
Pça Cel. Fernando Prestes, 30
CEP: 01124-060
São Paulo-SP-Brasil

***Resumo.** Este trabalho visa qualificar e quantificar as grandezas que interferem no processo de usinagem de microfuros (diâmetro menor que 0,100mm) pelo processo de eletroerosão por penetração em chapas metálicas. Para a execução dos microfuros em máquinas convencionais foi necessária a construção de dois dispositivos, um mecânico e um óptico. Conclui-se que o processo é viável tecnicamente, sobretudo se comparado com a furação mecânica com broca pois apresenta vantagens em relação ao custo por ferramenta, número de furos por ferramenta, comprimento de furação, e precisão da dimensão furada.*

Palavras-chave: EDM, Micro EDM, Eletroerosão, Microfuros, Micro eletroerosão

1. INTRODUÇÃO

O princípio de usinagem por eletroerosão já é conhecido há mais tempo do que se imagina. Os homens das cavernas quando viam assustados as gigantescas descargas elétricas das tempestades, já estavam diante do princípio utilizado pela eletroerosão.

Joseph Priestley, em uma de suas experiências, por volta de 1750, conseguiu reproduzir em laboratório o fenômeno e detectou o consumo de material em função da polaridade, dureza do material, condutividade térmica e elétrica. O processo de eletroerosão só foi utilizado em escala industrial

pelos pesquisadores soviéticos N. I. Lazarenko e B.R. Lazarenko, na Segunda Guerra Mundial.

2. PROCESSO DE USINAGEM POR ELETROEROSÃO

Aplicando-se uma diferença de potencial (em corrente contínua) entre duas placas condutoras de eletricidade, chamadas de eletrodo e peça, separadas por uma pequena distância (de 10µm a 500µm)[Mcgough, 1988], [Medeiros,1981] denominada “GAP”, ocorrem descargas elétricas entre elas.

Na verdade, neste espaço entre a peça e o eletrodo, circula o fluido dielétrico que se torna eletrolítico na forma gasosa.

No instante da descarga elétrica, o eletrodo e a peça não estão em contato devido ao meio dielétrico que os envolve.

Ao iniciar o ciclo de erosão, na pequena região de descarga elétrica, a potência despendida por unidade de área pode chegar até 10^{17}W/m^2 , a temperatura até 15.000°C, assim o fluido dielétrico evaporará, tornando-se eletrolítico e no meio gasoso, a pressão poderá alcançar as marcas de até 200atm.[Mcgough, 1988]

Esta descarga elétrica durará alguns milionésimos de segundo. Este período é denominado de Ton. Cessada a descarga elétrica, inicia-se, por alguns milionésimos de segundo, o período Toff, período que ocorrerá a emersão dos gases eletrolíticos. Os espaços ocupados pelo gás serão preenchidos pelo fluido dielétrico em temperatura muito abaixo do que a do ponto em usinagem, assim, com o choque térmico, ocorrerá uma micro explosão e o desagregamento das partículas fundidas da peça, dando início ao processo de usinagem.

2.1 Microfuros

Os microfuros são aplicados em válvulas hidro-pneumáticas, na área da medicina, na física óptica e na indústria química.

Para a geração de furos inferiores a 100µm, o processo de usinagem é o mesmo que se compararmos com 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).

Os diagramas a seguir demonstram a evolução da corrente e da tensão.

v-Tensão para abertura de arco
vt-Tensão média de trabalho
vd-Tensão de descarga
te-tempo de descarga
ti-tempo para Ton
to-tempo de intervalo entre pulsos
Toff
tp-ciclo total de pulso
fp-frequência
tf-período de queda de corrente
ta-período de elevação da corrente
td-período de retardo da ignição
ii-corrente de ignição
i-pico de corrente

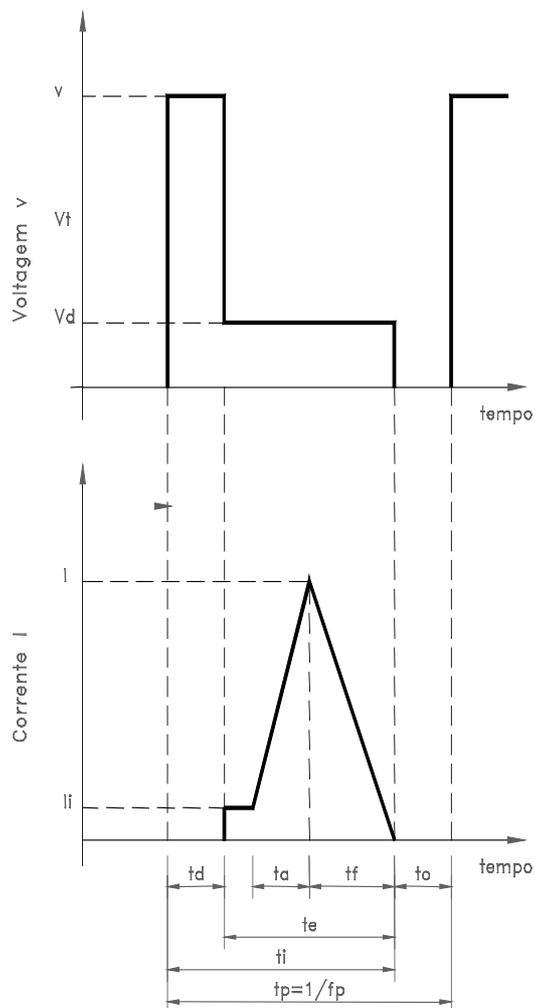


Figura 1 – Diagrama de Tensão e Corrente

Variando apenas Ton, mantendo constantes os demais parâmetros variáveis teremos:

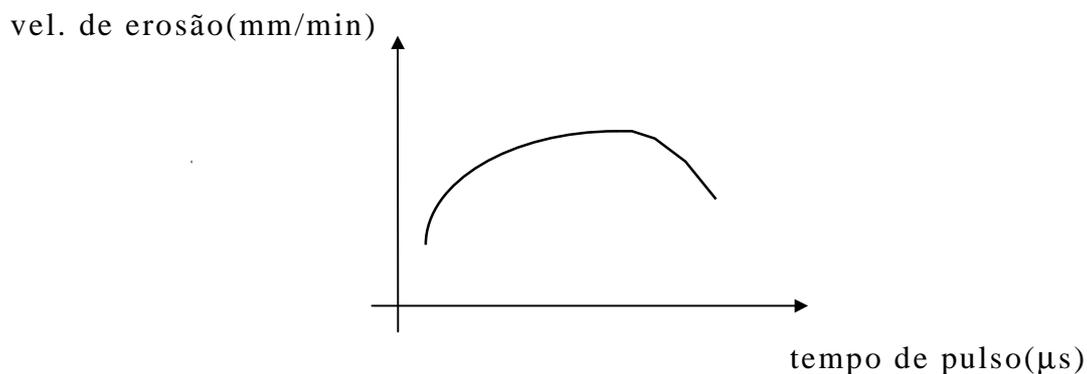


Figura 2 - Diagrama Velocidade de erosão/ tempo de pulso

Como pode-se notar, o tempo de pulso muito curto, leva a um rendimento baixo, por outro lado, tempo muito longo, ao contrário do que se

imagina, não leva a um rendimento muito alto. 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, deveremos considerar alguns dos parâmetros variáveis do processo, pois influenciam diretamente na geração do microfuro.

- Frequência do ciclo Ton;
- 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 elétricos (Ton) influenciam o consumo de eletrodo.

2.2 Ensaios

Foram utilizados ensaios com chapas em aço ABNT 1010, espessura de 2,4mm e eletrodos de cobre eletrolítico e da liga prata/cobre 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 25A), de fabricação nacional.

Para o desenvolvimento destes ensaios foram necessários três dispositivos;

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

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.

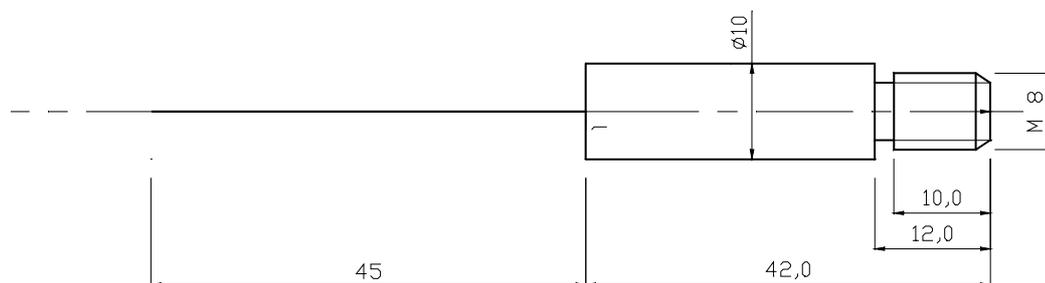


Figura 3 - Dispositivo porta eletrodo

Dispositivo de alinhamento mecânico é composto basicamente de um prisma e um contraprisma, sendo o prisma móvel em uma base. Quando posicionados comprimem o eletrodo deformando-o plasticamente e por consequência alinhando-o.

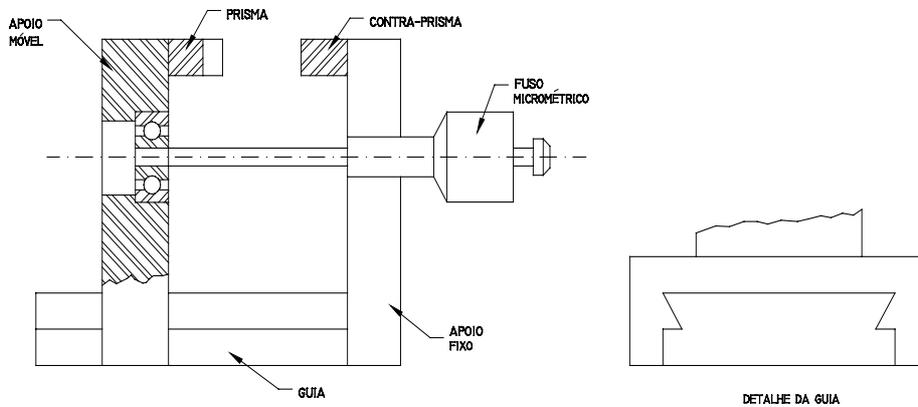


Figura 4– Dispositivo de alinhamento mecânico

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 (fig.5).

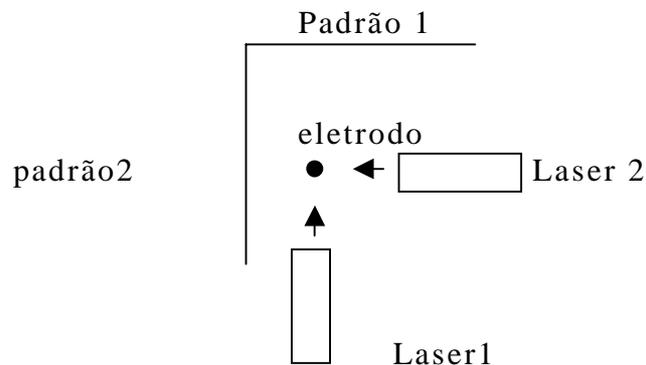


Figura 5 – Montagem do dispositivo óptico de alinhamento do eletrodo.

Desta forma poderemos aferir o alinhamento do eletrodo em relação ao padrão.

No equipamento que efetuamos os ensaios, 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 (fig.3), caso haja necessidade, deverá ser feito o alinhamento no dispositivo mecânico de posicionamento (fig.4) que efetuará a deformação plástica, corrigindo o alinhamento do eletrodo e por fim será avaliada a posição do microeletrodo por meio do dispositivo óptico de alinhamento.

Caso haja algum erro de posicionamento poderemos corrigir por meio do cabeçote da máquina.

2.3 Resultados dos ensaios

Em suma obtivemos os seguintes resultados:

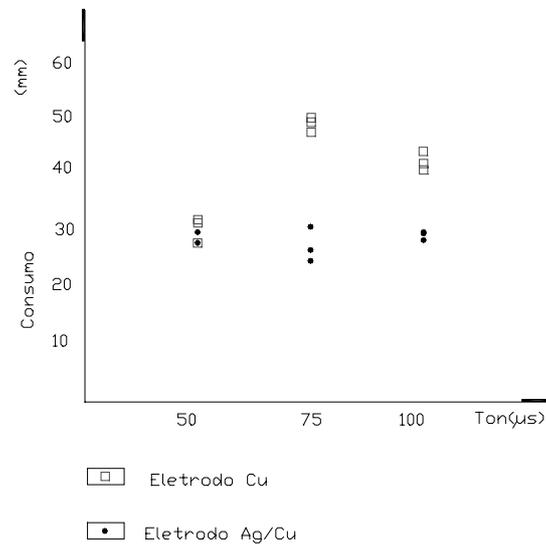


Fig.6 Diagrama do período de descarga(Ton)/Consumo de eletrodo

O consumo de microeletrodo de cobre mostra-se superior em todos os eventos, porém, no caso de $T_{on} 50\mu\text{s}$, esse consumo assemelha-se ao da liga Ag/Cu.

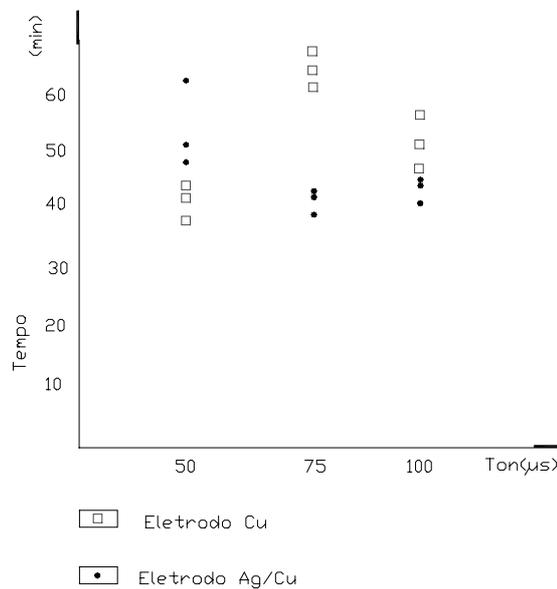


Fig.7 Diagrama do período de descarga(Ton)/tempo de usinagem

Quando relacionado o período de descarga (Ton) com o tempo de usinagem, a condição mais favorável é para $T_{on} 75\mu\text{s}$ com eletrodo da liga Prata/Cobre.

No transcorrer dos ensaios pudemos detectar que a limpeza é de suma importância porque se ela não for eficiente, ocorrerá a deposição de material

carbonizado no fundo da cavidade em usinagem, impedindo a condução elétrica e por conseqüência 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, afim de manter também o apontamento do eletrodo.

É natural que ocorra um consumo maior de eletrodo em função da necessidade de mante-lo apontado, para evitar deformações no furo devido a 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.

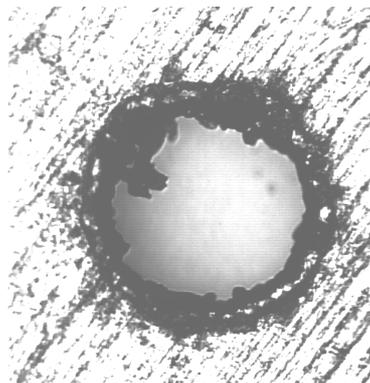
Se analisarmos as fotos, poderemos observar o contorno do microfuro, em todo o perímetro, há deposição de escórias decorrentes do processo de usinagem. Se a limpeza tivesse maior eficiência, essa escória depositada nas paredes dos furos seria de volume muito menor.

Essa escoria, 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.

Como a escória decorrente do processo de usinagem, tanto pode ser considerada benéfica como maléfica ao processo, devemos definir um processo de limpeza eficiente para cada caso.

A figura 8, mostra um microfuro executado com $T_{on} 50\mu s$, em chapa de 2,4mm de espessura, em aço ABNT 1010 e eletrodo da liga Ag/Cu.

O contorno interno do furo, nos mostra a deposição da escória decorrente do processo de usinagem, fazendo com que o furo tenha sua circularidade alterada.



0,1mm

Figura 8 - Microfuro executado com $T_{on} 50\mu s$ (Ag/Cu)

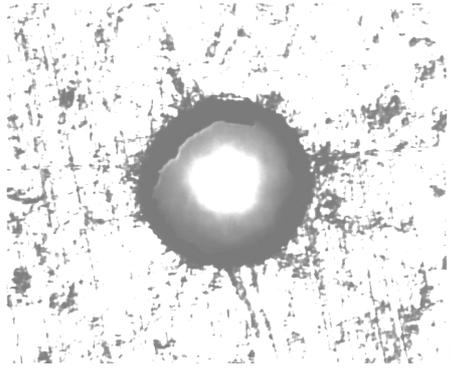


Figura 9 - Microfuro executado com $T_{on} 75\mu s$ (Ag/Cu)

A figura 9, nos proporciona a visualização de um microfuro, executado com eletrodo de Ag/Cu e $T_{on} 75\mu s$, em chapa de aço ABNT 1010 e espessura 2,4mm. Neste caso também podemos visualizar a deposição de escória em todo o contorno da cavidade, além da projeção de sombra decorrente da profundidade do furo e posicionamento da iluminação.

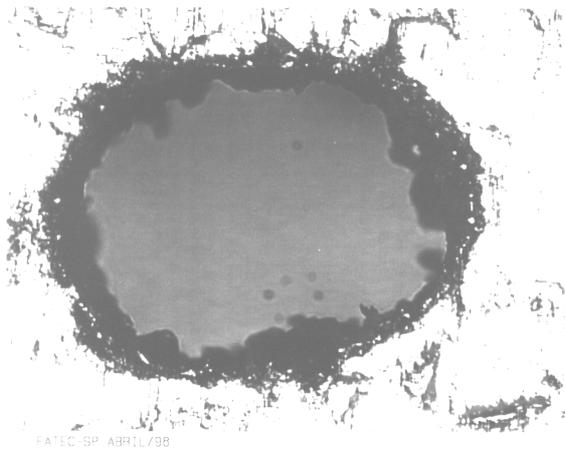


Figura 10 - Microfuro executado com $T_{on} 100\mu s$ (Ag/Cu)

A figura 10, mostra o perfil do furo e a deposição de escória em sua borda, para a usinagem de aço ABNT1010 com espessura de 2,4mm.

A irregularidade da espessura da escória depositada, se dá em função da microexplosão mais forte, fazendo com que haja a desagregação da escória da parede.

3. CONCLUSÕES

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

De acordo com o gráfico da figura 6, concluímos 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 Ton75 μ s, (Fig.7) concluímos 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.

Na utilização de Ton100 μ s (Fig.6), o consumo se mostrou mais uma vez superior quando do uso do Cu, e o menor tempo de usinagem, com eletrodos da liga Ag/Cu.

Quando comparamos os períodos de Ton com eletrodos da liga Ag/Cu, os rendimentos para Ton75 μ s e 100 μ s são muito próximos. O que difere é a qualidade do produto, ou seja, a circularidade do furo (fig.9 e fig.10).

O consumo de eletrodo, embora seja necessário para garantirmos a geometria do furo, está muito alto, cerca de 14 vezes maior que o consumo esperado(100% do volume da cavidade). O consumo esperado, muito embora seja superior ao recomendado, foi previsto em função da necessidade de consumirmos eletrodo para garantir a forma do furo.

Para contermos esse consumo exagerado há necessidade do desenvolvimento de um processo de limpeza das escórias de usinagem (já citado anteriormente) que deverá melhorar também o rendimento do processo.

Ainda quanto aos eletrodos, podemos 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.

Obtivemos os melhores resultados de geometria dos furos com Ton75 μ s, acreditamos que em função de uma microexplosão mais eficiente, gerando um processo de limpeza eficaz.

Após os ensaios, podemos concluir, de uma maneira genérica, que a melhor performance se obtém com Ton75 μ s com eletrodos da liga Ag/Cu.

4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Capuano, M.N.,1999, Usinagem de Microfuros pelo Processo de Eletroerosão por Penetração em Máquina Convencional, Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).
- Guitrau, E.B.,1997, The EDM Handbook, Ed. Hanser Gardner Publications, Cincinnati.
- Kaminski, P.C. & Capuano, M.N., 1999, 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.
- Machinability Data Center - Machining Data Handbook,1980, EDM Vol.2, 3^a Ed,.
- Masuzawa, T. & Tsukamoto, J. & Fujino, M., 1989, Drilling of Microholes by EDM, Annals CIRP Vol.38
- McGeough, J.A,1988,. Advanced Methods of Machining, Ed. Chapman and Hall, London,.
- Medeiros, J.T.N., 1981, Análise de Alguns Parâmetros Tecnológicos da Usinagem de Aço Carbono por Eletroerosão, Dissertação de mestrado EESC-USP, São Carlos,.
- Momma, C. & Chichkov ,B.N. & Noltes, S. & Alvensleben, F. & Tünnermann, A. & Wellig,H. & Welleghausen,B., 1996, Short-pulse Laser Ablation of Solid Targets, Optics Communications
- Weck, M., Machine Tools 1990 vol.1- Aachen, Ed. John Wiley & Sons.

DRILLING OF MICROHOLES BY CONVENTIONAL SINKING EDM

Abstract: The aim of this work is to qualify and to quantify the quantities that interfere in the drilling microholes (diameter less than 0,100mm) through EDM process by metallic foils penetration. To execute the microholes in conventional machines, two arrangements, an mechanical and another optical. One concludes that the process is technically and economically viable, specially if compared to the mechanical drilling with drill process as it presents advantages related to the cost by tool, number of holes by tool, drilling length and dimension hole precision

Key words : EDM, Micro EDM, Microholes, Micro EDM