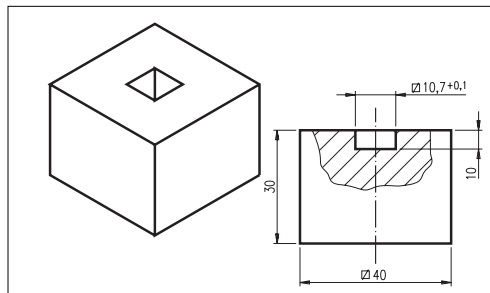


Um caso de eletroerosão

Na aula anterior, você ficou sabendo que a eletroerosão é um processo de usinagem que tem grande aplicação na confecção de matrizes de estampos de corte, matrizes para moldes de injeção e matrizes para forjaria, além de se prestar à usinagem de ferramentas de metal duro, com grande eficiência.

Para melhor compreender esse processo, nesta aula você vai acompanhar, passo a passo, a usinagem por eletroerosão de uma cavidade simples: um furo quadrado não passante, num bloco prismático de aço, como mostra a figura ao lado. Como se trata de uma cavidade não passante, usaremos a eletroerosão por penetração.



Para isso, é necessário que você conheça as partes principais da máquina de eletroerosão e identifique os procedimentos de preparação, os cuidados durante a operação e as medidas de conservação do equipamento, após o uso.

Pronto para começar? Então, vamos lá!

Conhecendo a máquina

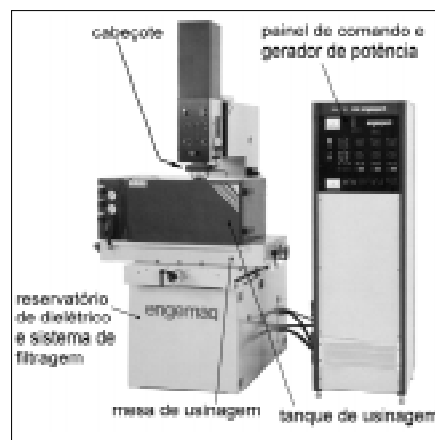
As máquinas modernas de eletroerosão por penetração apresentam a seguinte configuração básica:

O **painel de comando e gerador de potência** é o “cérebro” da máquina. Nele são determinados todos os parâmetros de usinagem.

O **cabeçote** é o local onde é fixado o eletrodo ou, eventualmente, a peça. Ele fica preso à **coluna** da máquina e tem movimentação vertical.

O **tanque de usinagem** é o recipiente onde a peça e o eletrodo permanecem submersos durante o processo de eletroerosão.

Nossa aula



A **mesa de usinagem** é o local onde a peça é apoiada. Permite fazer dois tipos de avanço: longitudinal e transversal.

O **reservatório de dielétrico** e **sistema de filtragem** é o recipiente onde fica armazenado o fluido isolante e onde é feita a limpeza dos resíduos gerados no processo.

A **base** é o conjunto que abriga motores e todos os sistemas de transmissão.

Você ficará sabendo mais detalhes sobre o funcionamento desses conjuntos à medida que formos avançando na usinagem do nosso bloco prismático.

A escolha do eletrodo

Para a usinagem do furo quadrado no bloco prismático, o eletrodo pode ser de cobre eletrolítico, um material apropriado para a eletroerosão do aço.

As **medidas nominais (mn)** do eletrodo são as mesmas da cavidade a ser produzida. Mas um eletrodo com as mesmas dimensões da cavidade produziria um desbaste maior que o desejado. Por isso, é necessário calcular as **medidas finais (mf)** do eletrodo levando em consideração:

- o comprimento da centelha (**GAP**);
- a rugosidade (**r**) desejada na superfície da peça em mm;
- o coeficiente de segurança (**cs**).

O **coeficiente de segurança** gira em torno de 10% do valor da tolerância dimensional da peça.

Dependendo do trabalho a ser realizado, dois tipos de eletrodo podem ser necessários: o eletrodo de **desbaste** e o eletrodo de **acabamento**.

A fórmula para cálculo da medida final do eletrodo de desbaste é:

$$mf = mn - (2 \text{ GAP} + 2r + cs)$$

Verificando o entendimento

No caso do nosso bloco prismático, com furo quadrado de 10,7 mm, o GAP é 30 μm , a rugosidade desejada é 13 μm e a tolerância dimensional é 0,1 mm. Calcule a medida final do eletrodo de desbaste.

Resposta:

Se você aplicou a fórmula anterior e fez os cálculos corretos, deve ter chegado à conclusão de que a medida final do nosso eletrodo de desbaste será **10,604 mm**. A medida da espessura do eletrodo não irá interferir na usinagem, uma vez que a profundidade do rebaixo será regulada pela descida do cabeçote.

A fórmula para cálculo da medida final do eletrodo de acabamento é:

$$mf = mn - (2 \text{ GAP} + 2r)$$

Antes de tudo, a limpeza

A **lavagem**, isto é, a **circulação do dielétrico** entre o eletrodo e a peça usinada, é muito importante porque, durante a usinagem, partículas erodidas tendem a acumular-se em pontos da superfície do eletrodo e da peça.

O acúmulo de grandes quantidades de partículas acarreta diminuição da resistência elétrica, facilitando a formação de descargas anormais, que danificam a peça e o eletrodo.

Para obter maior rendimento, melhor acabamento e menor desgaste do eletrodo, um sistema eficiente de limpeza deve remover essas partículas da zona de trabalho.

No início da usinagem, o dielétrico encontra-se limpo, isento de partículas e resíduos carbonados, pois foi filtrado no reservatório de dielétrico.

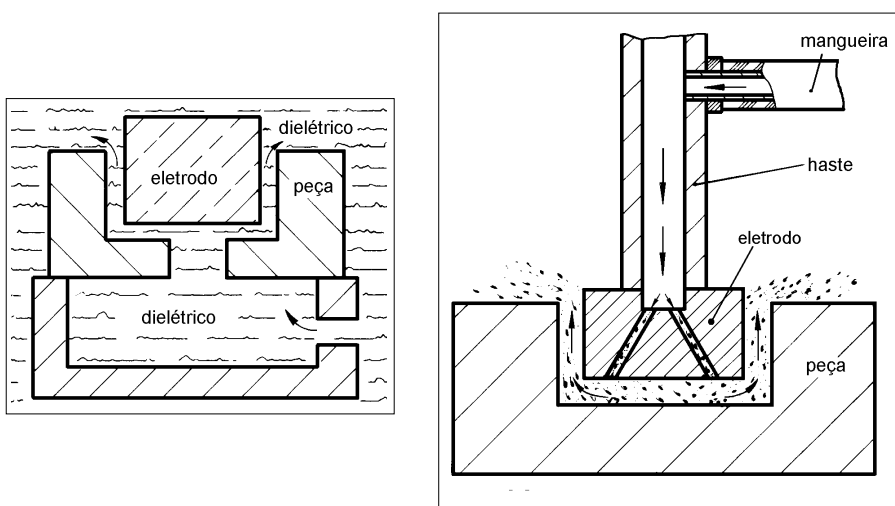
A resistência do dielétrico limpo é maior do que se ele estiver carregado de partículas. Portanto, para romper esta resistência, de modo a permitir que a primeira descarga ocorra, é necessário um tempo maior.

As partículas criadas pelas primeiras descargas reduzem as resistências do dielétrico, melhorando as condições de trabalho. Por isso, a pressão de limpeza não pode ser muito leve, nem muito potente, pois o melhor rendimento da máquina é obtido com uma certa porcentagem de contaminação do dielétrico.

Como você verá a seguir, há vários processos e dispositivos de limpeza. A escolha do processo apropriado depende das características da peça e do eletrodo.

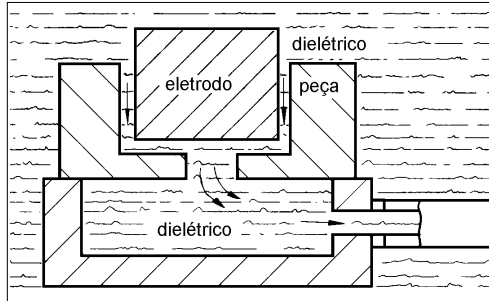
Limpeza por injeção

Nesse processo, a injeção do líquido dielétrico é feita com pressão localizada abaixo da peça, por intermédio de um depósito (caneca) ou por dentro do eletrodo. No primeiro caso, a peça tem de ser furada e, no segundo caso, o eletrodo tem de ser furado, para possibilitar a passagem do dielétrico.



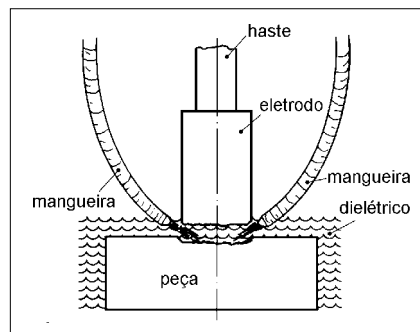
Limpeza por aspiração ou sucção

O dielétrico é aspirado por baixo da peça, através de um recipiente ou do eletrodo.



Limpeza por jato lateral

Este processo de limpeza deve ser utilizado se não for possível fazer pelo menos um orifício no eletrodo ou na peça. A injeção do líquido é feita por bicos posicionados de forma que garantam alcance de toda a superfície de trabalho.



Limpeza por agitação do dielétrico

É obtido por meio de pulsação do eletrodo. Quando o eletrodo é afastado, o volume de dielétrico na zona de trabalho aumenta rapidamente, provocando a entrada de líquido limpo que se mistura ao contaminado. Quando o eletrodo se movimenta, as partículas são eliminadas.

Limpeza por fluxo transversal

Usado quando o eletrodo for rígido e a situação permitir a realização de vários furos para limpeza.

Limpeza combinada

Combina o processo de aspiração e o de injeção. Permite o escoamento dos gases e das partículas gerados no processo e proporciona a circulação do dielétrico em toda a zona de usinagem.

Pare! Pesquise! Responda!

Analise os processos de limpeza apresentados anteriormente e indique o que você acha mais adequado para a usinagem do nosso bloco prismático.

O processo de limpeza por jatos laterais é adequado, uma vez que nosso objetivo é usinar uma cavidade não passante e não seria desejável fazer furo na peça. Além disso, nosso eletrodo não apresenta furos, pelos quais o dielétrico poderia ser aspirado ou injetado.

Ajuste de polaridade

Em geral, a polaridade do eletrodo é positiva e a da máquina, negativa. Mas, dependendo do material do eletrodo e das características da peça, pode ser necessário inverter a polaridade, como mostra a tabela a seguir

POLARIDADE DO ELETRODO				
peça \ eletrodo	Cobre	Grafite	Cobre Tungstênio	Aço
aço	+	+	+	+
metal duro			-	
cobre	-	-	+	

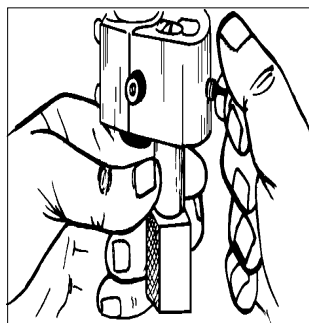
Outro caso de inversão de polaridade ocorre quando não é possível fixar a peça na mesa. Nesse caso, ela deve ser fixada no porta-eletrodo, que tem polaridade positiva.

No nosso exemplo, como se trata de um bloco de aço e o eletrodo será de cobre, vamos utilizar o esquema padrão: eletrodo positivo e peça negativa.

Preparação da máquina

Antes de ligar a máquina, é necessário fazer alguns ajustes nos parâmetros de usinagem, fixar corretamente o eletrodo no porta-eletrodo e a peça na mesa de coordenadas, e abastecer o tanque de usinagem de dielétrico.

Observe um detalhe **do gerador conjugado com painel de comando**, apresentado ao lado. Boa parte dos comandos para operação da máquina são transmitidos por meio dos botões deste painel.



A função do **seletor de amperagem** é regular a intensidade da corrente elétrica desejada, para cada tipo de trabalho, de acordo com: área de erosão, material do eletrodo e material da peça. Quanto maior a amperagem, maior o volume de material erodido.

A tabela a seguir traz os coeficientes para cálculo de amperagem, de acordo com o material do eletrodo e o material a ser usinado.

ELETRODO	MATERIAL A SER USINADO	COEFICIENTE PARA AMPERAGEM
Cobre eletrolítico	Aço	0,07 A/mm ²
Grafite	Aço	0,01 A/mm ²
Cobre e tungstênio	Aço	0,14 A/mm ²
Cobre	Cobre	0,07 A/mm ²
Cobre e tungstênio	Pastilha de metal duro	0,05 A/mm ²

Para cálculo da amperagem (I), utiliza-se a fórmula:

$$I = \text{área a ser erodida} \times \text{coeficiente para amperagem}$$

No nosso caso, aplicando a fórmula acima, teremos:

$$I = 10,7 \text{ mm} \times 10,7 \text{ mm} \times 0,07 \text{ A/mm}^2 \cong 8 \text{ A}$$

Os fabricantes de máquinas de eletroerosão fornecem tabelas práticas que permitem identificar os parâmetros de usinagem a partir da intensidade de corrente aplicada.

Vamos usar um extrato de uma dessas tabelas para determinar os parâmetros de usinagem do nosso bloco prismático.

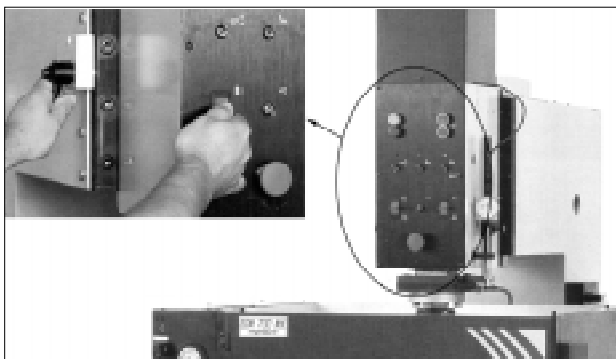
Considerando que a rugosidade desejada é 13 μm e que vamos trabalhar com uma intensidade de corrente equivalente a 8 ampères, basta localizar, na tabela, os parâmetros associados a estes valores.

Tabela prática usando eletrodo de cobre e peças de aço

Intensidade da corrente	Tempo de impulso	Tempo de pausa	GAP (μm)	Capacidade de erosão (mm^3 / min)	Desgaste do eletrodo (%)	Área mínima de erosão (mm^2)	Rugosidade (μm)	$\neq$ entre medida final e medida do eletrodo (mm)
8 A	1	1	17	1	40	5	7	0,048
	2	2	20	2	30	5	8	0,056
	3	2	25	2	20	5	10	0,070
	4	2	30	3	15	5	13	0,086
	5	3	35	5	10	5	18	0,106
	6	3	40	6	7	5	20	0,120
	7	3	45	5	5	5	22	0,134
	8	3	50	5	4	5	28	0,156
	9	3	55	4	4	5	30	0,170

Na quarta linha da tabela, você encontra todos os parâmetros associados à rugosidade de 13 μm , que são:

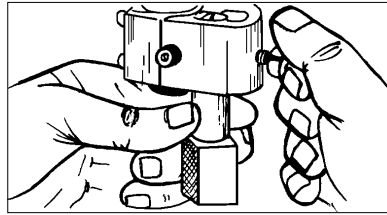
- Tempo de impulso: 4 microssegundos.
- Tempo de pausa: 2 microssegundos.
- GAP: 30 μm (Ajuste no seletor de amperagem).
- Capacidade de erosão: 3 mm^3 / min .
- Desgaste do eletrodo: 15%.
- Área mínima de erosão: 5 mm^2 .
- Diferença entre a medida final e a medida do eletrodo de acabamento: 0,086 mm.



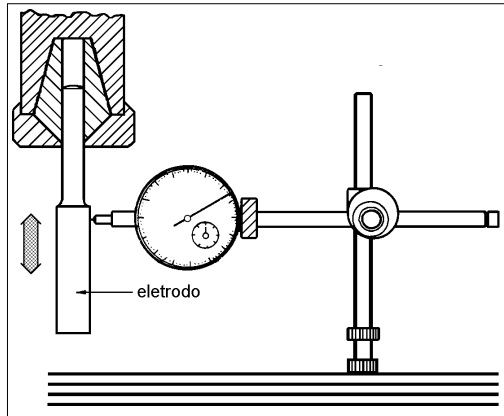
Outros comandos são transmitidos por um dispositivo acoplado na máquina, chamado **chaves de comando**.

Este dispositivo tem um potenciômetro com três estágios, que permite controlar a subida rápida do cabeçote, o ajuste do cabeçote durante a operação de centragem e o trabalho com limpeza automática. Um outro botão permite um comando fino de subida e descida do cabeçote por movimento hidráulico.

O próximo passo é a **fixação do eletrodo**, de modo a impedir que ele venha a se soltar durante a usinagem. A figura mostra um exemplo de sistema de fixação de eletrodo prismático, como o que vamos usar para usinar o furo quadrado.



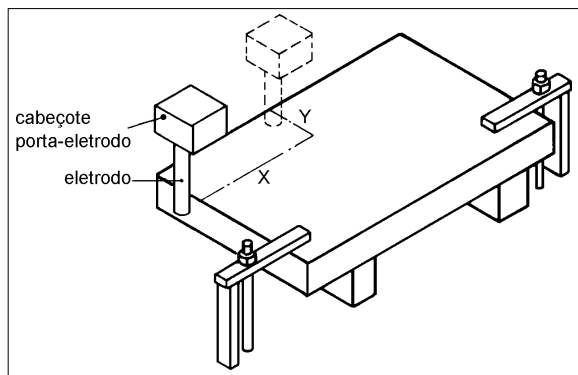
O eletrodo deve ser fixado de forma que facilite o posterior posicionamento. O alinhamento do eletrodo é feito por meio de um relógio comparador, fixado a uma haste articulada presa na mesa da máquina a uma base magnética.



A **fixação da peça** na mesa de coordenadas também é necessária, para que ela não se desloque durante a usinagem. O alinhamento da peça também deve ser verificado com a ajuda de um relógio comparador. Se for necessário, podem ser usados calços apropriados para elevar a peça até a altura desejada.

Uma vez que tanto o eletrodo como a peça estejam devidamente fixados, o próximo passo é posicionar o eletrodo no ponto onde ocorrerá a usinagem.

Esta operação é muito importante para garantir a exatidão da usinagem. Para localizar o eletrodo, devem ser tomados dois pontos de referência: **x** e **y**, o primeiro no sentido longitudinal, e o segundo no sentido transversal.

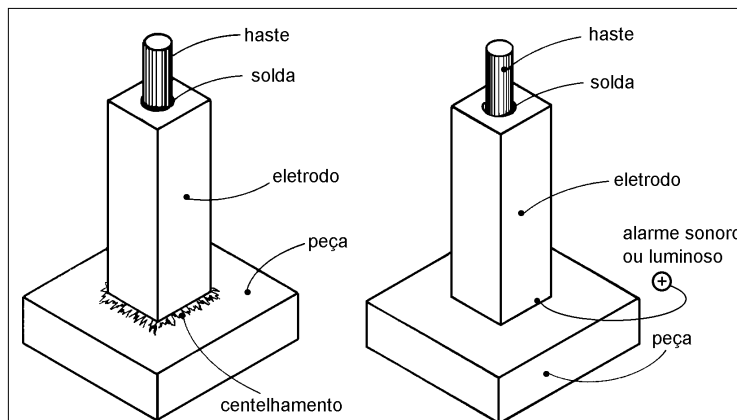


Ligando a máquina

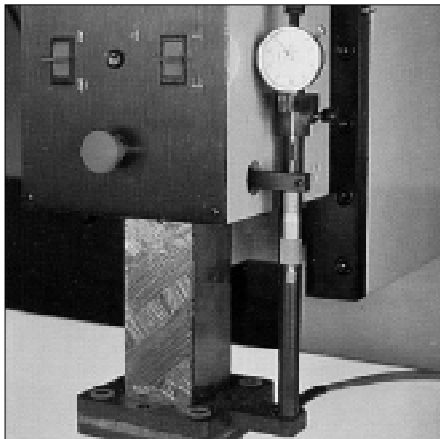
Antes de ligar a máquina, algumas precauções devem ser tomadas:

- O eletrodo deve ser afastado verticalmente.
- O tanque de usinagem deve ser fechado. Mas antes é necessário limpar a área de trabalho, removendo peças ou ferramentas desnecessárias, caso contrário elas poderão fechar o curto-circuito entre a mesa e o tanque de usinagem.
- O tanque de usinagem deve ser enchido com dielétrico. É importante manter o nível do dielétrico de 50 mm a 70 mm acima da superfície da peça, para evitar a combustão dos gases do dielétrico.

Com a máquina ligada e o botão de controle do painel de comando na posição de centragem, para evitar choque elétrico, o eletrodo deve ser aproximado da peça até que se observe um centelhamento ou, conforme a máquina, soe um alarme sonoro ou se acenda uma lâmpada.



A regulagem da profundidade desejada é feita no dispositivo limitador de profundidade.



Caso a máquina disponha de um sistema de leitura digital, esta medida vertical (**z**) bem como as medidas no sentido longitudinal (**x**) e no sentido transversal (**y**) são obtidas com extrema exatidão.

Esta operação serve para **regular a profundidade da erosão**, indispensável para que se obtenha a profundidade desejada, tanto na operação de desbaste como na operação de acabamento. Quando o eletrodo atinge a profundidade estabelecida, a máquina desliga-se automaticamente e o eletrodo volta ao ponto inicial.

É necessário regular a profundidade, mesmo que se trate de usinagem de cavidade passante, para evitar danos na mesa ou nos dispositivos utilizados.

Enfim, a usinagem da cavidade...

Com amperagem regulada, o sistema de limpeza ligado, o tanque de usinagem cheio de dielétrico, o resto é com a máquina.

Seu trabalho será ligar a alavanca de acionamento na posição de **corrente** e ficar observando a máquina trabalhar. Quando for atingida a profundidade desejada, a máquina se desligará automaticamente.

Terminado o trabalho, o dielétrico do tanque de usinagem deve ser drenado e a peça e o eletrodo devem ser retirados.

Peça usinada. Resultado satisfatório. Uma boa hora para resolver alguns exercícios sobre os assuntos estudados.

Exercício 1

Sabendo que, num processo de usinagem por eletroerosão:

- o comprimento da centelha é $45 \mu\text{m}$;

- a rugosidade pretendida é $22 \mu\text{m}$;

calcule a medida final que deve ter um eletrodo de acabamento cilíndrico, com 10 mm de diâmetro, aplicando a fórmula: **$mf = mn - (2 \text{ GAP} + 2r)$**

Exercício 2

Marque **V** para a afirmação verdadeira e **F** para a falsa.

- a) () Uma certa porcentagem de contaminação do dielétrico contribui para o bom rendimento da máquina, no processo de eletroerosão.
- b) () Na limpeza por injeção, o furo para circulação do dielétrico tanto pode ser feito na peça como no eletrodo.
- c) () A limpeza combinada conjuga os processos de aspiração e agitação do dielétrico.
- d) () A limpeza por jato lateral pode ser escolhida quando não for possível fazer furos na peça ou no eletrodo.

Exercício 3

Marque com X a resposta certa. No processo de eletroerosão, a polaridade da peça:

- a) () é sempre positiva;
- b) () é sempre negativa;
- c) () pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do eletrodo;
- d) () pode ser positiva ou negativa, dependendo do material do dielétrico.

Exercício 4

Calcule a amperagem adequada para usinar, por eletroerosão, um furo cilíndrico não passante, de 15 mm de diâmetro, num bloco de aço, usando um eletrodo de grafite.

Exercício 5

Qual o GAP que deve ser ajustado no seletor de amperagem, num processo de eletroerosão que usará uma corrente de 8 ampères e que requer uma rugosidade de $20 \mu\text{m}$?

**Pare! Estude!
Responda!**

