



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3203

Usinagem por feixe de elétrons

GRUPO - 11

Bruno Cinelli Garrubbo - 10705759

Matias Cardoso Ferreira - 4748738

Otavio Araujo de Abreu - 10696614

Pedro Breda Chaves - 10771441

Tiago Lopes Oliveira - 10771201

2020.1



Introdução

A humanidade sempre utilizou ferramentas para trabalhar os materiais, de acordo com o uso que se pretendia deles.

- Próprias mãos
- Ossos, gravetos ou pedras
- Máquinas mecânicas rudimentares
- Máquinas elétricas

Conforme o tempo foi avançando, melhorou-se a produtividade e a eficiência desses processos.



Introdução

Nos processos tradicionais de usinagem, o arranque de material se dá por cisalhamento ou abrasão. Tais métodos apresentam limitações para materiais duros e com formas complexas, prejudicando a exatidão. Já os novos processos de usinagem baseiam-se muito mais em princípios eletrofísicos dos materiais

- Ponto de fusão
- Condutibilidade térmica
- Resistividade elétrica
- Peso atômico



Introdução

A usinagem por feixe de elétrons baseia-se no princípio de que o bombardeamento de elétrons gera energia. Dessa forma, quando o feixe se choca contra uma superfície, o impacto faz com que a energia cinética se transforme em energia térmica, atingindo altas temperaturas, capazes de fundir praticamente todos os materiais conhecidos. O material derretido é rapidamente ejetado pela pressão do vapor, sendo assim, removido do material.

Este processo foi inicialmente utilizado nos anos 50, quando as construções nucleares passaram a exigir soldagem isenta de oxidação.



Objetivos

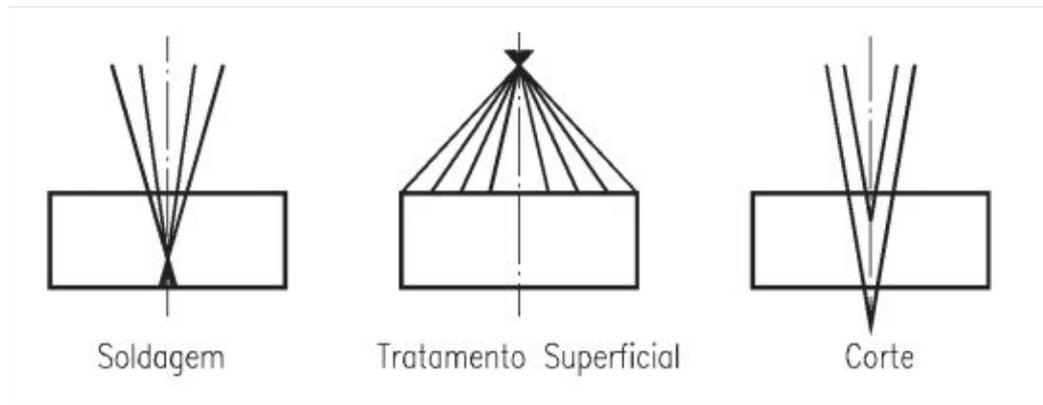
- Estudar melhor a usinagem por feixe de elétrons, um método avançado de usinagem, mas ainda pouco difundido.
- Passar uma visão geral dos mecanismos de funcionamento, aplicações e principais vantagens e desvantagens da usinagem por feixe de elétrons.



Mecanismo

- **Gerador:** Formado por um cátodo e ânodo responsáveis por gerar os elétrons que formarão o feixe
- **Bobinas:** Elementos responsáveis pela aceleração e focalização o feixe de elétrons

Diferentes focalizações geram efeitos distintos



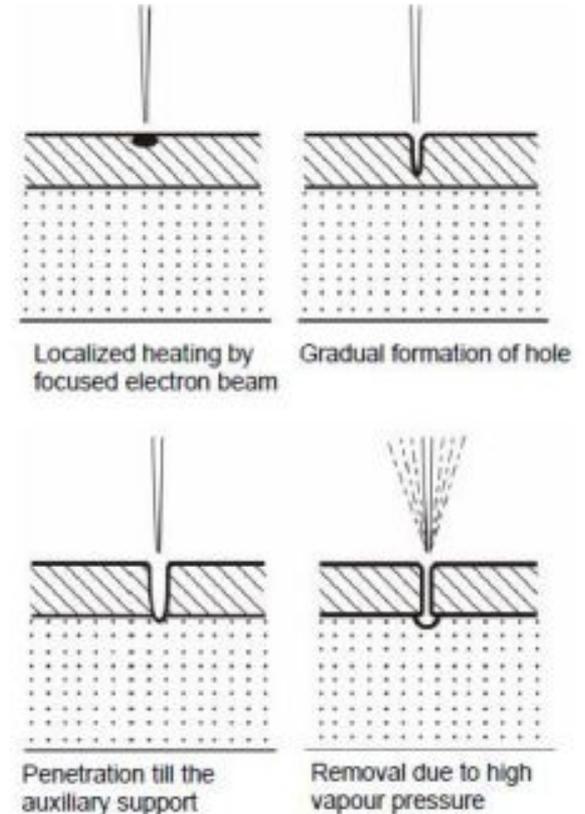


Mecanismo

- **Vácuo:** Impede interações entre o feixe de elétrons e partículas de ar

Processo de corte

1. Aquecimento da placa
2. Formação do sulco (10-200 μm)
3. Penetração total até o suporte
4. Retirada do material devido a diferença de pressão





A Máquina

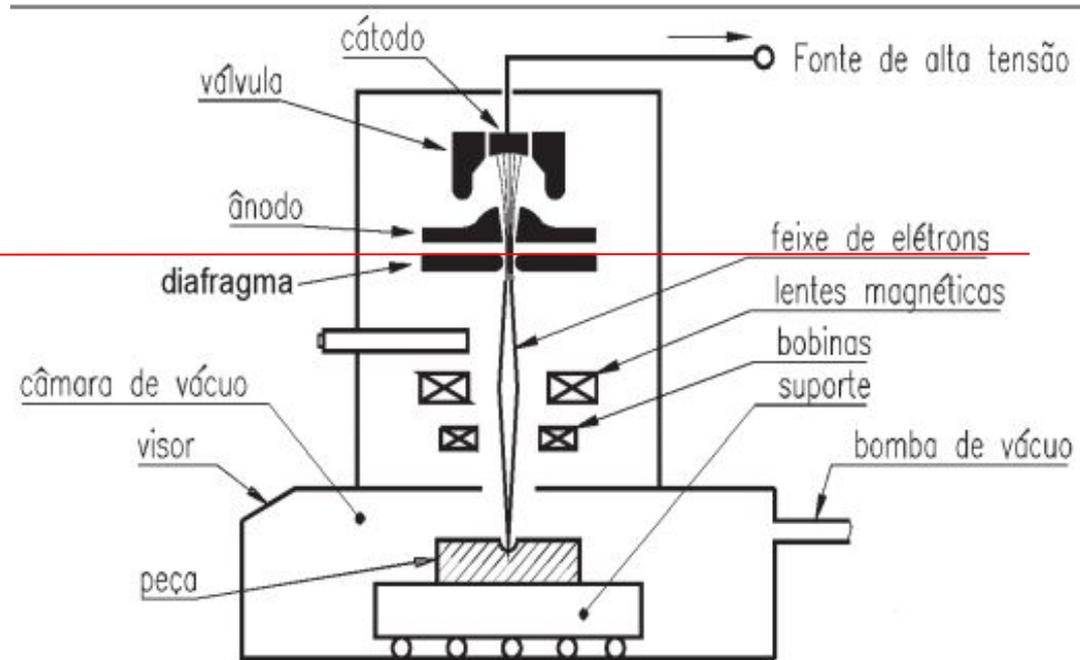
Divisão em 2 partes

1. Elementos catódicos:

Responsável por gerar elétrons livres

2. Geradores de campos magnéticos:

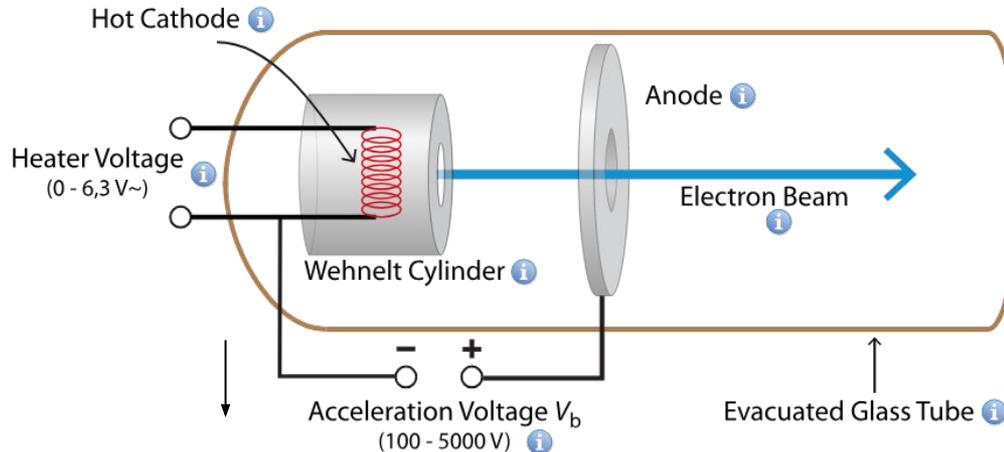
Responsáveis pelo desvio do feixe para torná-lo útil





Elementos catódicos

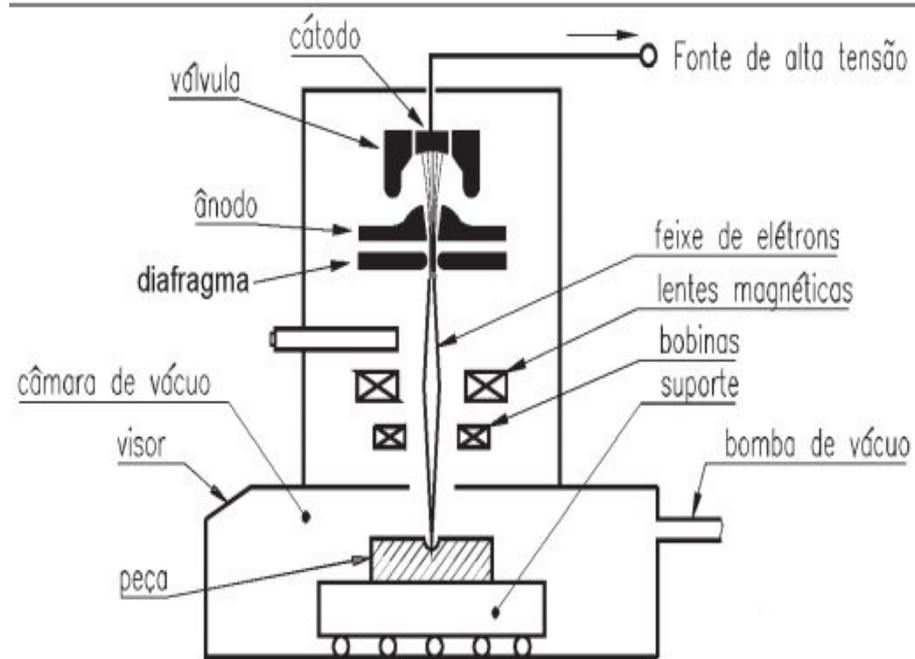
- **Corrente:** Gerada entre o cátodo e o ânodo através de uma alta tensão (150-200 kV), podendo gerar uma potência de até 12KW e 120 J/pulso
- **Filamento de Tungstênio:** Metal capaz de atingir 2500 - 3000°C para gerar elétrons livres





Geradores de campos magnéticos

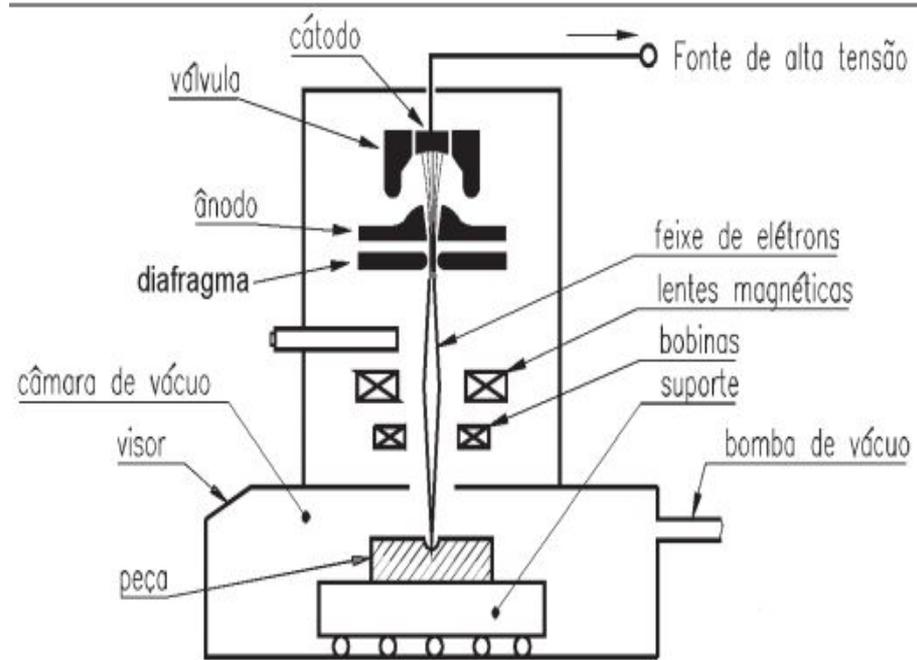
- **Lente magnética:** foca novamente o feixe de elétrons, moldando-o e reduzindo a divergência
- **Bobinas de deflexão:** podem direcionar o feixe de elétrons, a fim de melhorar ainda mais a forma dos furos usinados.





Geradores de campos magnéticos

- **Iluminação e telescópio:** alinhamento da viga com a peça de trabalho
- **Câmara de vácuo:** evita a perda de energia dos elétrons no processo, devido ao atrito. O nível de vácuo deve ser configurado entre 10^{-4} e 10^{-6} Torr (1 Torr = 1 mmHg)





Parâmetros do processo

- **Corrente do feixe de elétrons:** varia entre 100 GA a 1 A. É diretamente proporcional à quantidade de energia fornecida por pulso, podendo chegar até 120 joules / pulso.
- **Duração do pulso:** afeta a profundidade e o diâmetro do furo, sendo eles diretamente proporcionais à duração do pulso. Normalmente, variam entre 50 ns e 10 ms
- **Corrente da lente magnética:** usada para determinar a distância de trabalho, assim como o tamanho do furo na peça de trabalho deve ser. A potência do feixe deve ser capaz de gerar mais de 108 W / cm², caso contrário será insuficiente para aquecer e vaporizar.



Aplicações

Precisão, velocidade e qualidade

- Perfurações de alta velocidade em qualquer tipo de material
 - **Indústrias Químicas** usam o feixe de elétrons para produzir furos diversos em filtros e telas
- Perfuração de orifícios de **pequeno diâmetro**, furos **cônicos** e furos **não circular**
- Usinagem de **filmes finos** para produzir resistores na fabricação de chips eletrônicos



Aplicações

Grande variedade de materiais

- Praticamente todo material que existe no vácuo
- **Metais:** Al, Be, Cu, Ni, Mo, Ti, Ta, W, Zr, Mo, Ferrita
- Carbono, Silicone
- **Ligas:** liga de Cu, liga de Ni, Aço inoxidável, ligas de aço
- **Cerâmicas:** vidros, refratários, abrasivos, rubi, safira, quartzo
- **Compósitos:** cimento ou carbonetos sinterizados
- **Plásticos e couro**



Aplicações

Aplicação no ramo aeroespacial

- **Desafio no espaço: reposição de peças**
 - Produção de peças através da "impressão 3D"
 - Feixe de elétrons + câmara a vácuo + metal em pó
- **Na indústria**
 - Geometria complexa ✓
 - Evita junções e desperdícios ✓
 - Peças mais leves — Consumo de combustível



Vantagens

- **Alta taxa de perfuração:** útil para produzir pequenos furos;
- **Menor zona termicamente afetada:** reduz a superfície total que necessita ser aquecida e cria um acabamento superficial mais suave;
- **Precisão elevada:** grande utilidade à indústria eletrônica (tecnologia miniaturizada);



Vantagens

- **Não aplica força de corte na peça de trabalho:** maior capacidade de usinar materiais frágeis e quebradiços;
- **Método abrangente:** pode processar metais e não-metais, sem grandes preocupações com as propriedades mecânicas do objeto.



Desvantagens

- **Fase experimental:** algumas aplicações ainda encontram-se em fase experimental, não representando uma alternativa competitiva do ponto de vista técnico ou econômico;
- **Custo de aquisição e manutenção do equipamento:** o sistema de vácuo ainda possui elevado custo para ser adquirido, e necessita de regularidade em sua manutenção;
- **Necessidade de operadores altamente capacitados:** é um método de alta precisão e não-convencional;



Desvantagens

- **Menor velocidade na remoção de material:** fazendo com que o método seja recomendado para pequenos volumes de corte;
- **Produção de raios-X:** o processo pode produzir raios-X prejudiciais na peça de trabalho;
- **Limitações no tamanho da peça:** nesse processo, o tamanho da peça de trabalho está relacionada ao tamanho do equipamento de vácuo.



Vídeo



<https://www.youtube.com/watch?v=fDYuSleApiQ>



Conclusões ou Comentários Finais

Por fim, temos que o processo de usinagem por feixe de elétrons apresenta grande potencial na indústria metalúrgica, pelo seu alto nível de precisão e versatilidade. No entanto, antes de sua instalação, é importante levar em conta o elevado custo do equipamento e a necessidade de operadores altamente qualificados.



Referências

- Crawford, C., 1962, Introduction to Electron Beam Technology, John Wiley & Sons, New York.
- Grote, K., Antonsson, E., 2009, Handbook of Mechanical Engineering, 10th edn, Pringer, Berlin.
- McGeough, J.A., 1988, Advanced Methods of Machining, Chapman and Hall, London.
- “EBM Machining & Electron Beam Machining”. AGS-TECH Inc.- Engineering & Manufacturing & Fabrication & Assembly of Products



- Fim -