

PROCESSOS AVANÇADOS DE USINAGEM

E

FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE PLÁSTICO

Prof. Lopes

Processos Avançados de Usinagem

Introdução

Os processos de usinagem convencionais removem material por formação de cavaco, abrasão ou microusinagem. Existem situações onde estes processos não são adequados, económicos ou viáveis, pelas seguintes razões:

- Dureza e resistência do material elevadas (acima de 400 HB) ou o material é muito frágil.
- A peça é muito flexível, ou delicada para resistir as forças de usinagem, ou as peças são de difícil fixação.
- A forma da peça é complexa, incluindo características externas e internas ou furos de pequeno diâmetro como em bicos injetores de combustível.
- Requisitos de acabamento superficial e tolerância dimensional são mais rigorosos.
- Aquecimento e tensões residuais na peça não são desejados ou permitidos.

INCLUEM PROCESSOS DE REMOÇÃO DE MATERIAL :

QUÍMICOS

ELÉTRICOS

TÉRMICOS

MECÂNICOS

<i>Processo</i>	<i>Características</i>	<i>Parâmetros de Processo e taxas de remoção de material ou velocidades de corte típicas</i>
Usinagem Química (CM)	Cavidades rasas (até 12 mm) em superfícies planas ou curvadas; corte de chapas finas, baixo custo de ferramentas e equipamentos; adequado para lotes pequenos	0,0025 a 0,1 mm/min
Usinagem Eletroquímica (ECM)	Formas complexas com cavidades profundas; a maior taxa de remoção de material entre os processos não tradicionais; equipamentos e ferramentas caras; alto consumo de energia; lotes médios e grandes.	V: 5 a 25 DC; A: 1,5 a 8 A/mm ² ; 2,5 a 12 mm/min (dependendo da densidade de corrente)
Retificação Eletroquímica (ECG)	Corte e afiação de materiais duros, tais como ferramentas de carboneto de tungstênio; taxa de remoção de material maior que a da retificação	A: 1 a 3 A/mm ² ; 25 mm ³ /s/1000 A
Eletroerosão (EDM)	Conformação e corte de peças complexas feitas de materiais duros, podem provocar danos na superfície; também utilizada como retificação e processo de corte; equipamentos e ferramentas caras.	V: 50-380; A: 0,1 a 500; 300 mm ³ /min.
Eletroerosão a Fio	Corte de contornos de superfícies planas ou curvas; equipamento caro.	Varia com material e espessura
Usinagem por Laser (LBM)	Corte e furação em materiais de pequena espessura; zona termicamente afetada; não necessita vácuo; equipamentos caros; alto consumo de energia.	0,5 a 7,5 m/min.
Usinagem por Feixe Elétrons (EBM)	Corte e furação em materiais de pequena espessura; furos de pequeno diâmetro; zona termicamente afetada; necessita vácuo; equipamento caro	1 a 2 mm ³ /min.
Usinagem por Jato d'Água (WJM)	Corte de todos os tipos de materiais não metálicos. Adequado para corte de contornos; não afeta termicamente o material; barulhento.	Varia consideravelmente com material
Usinagem por Jato d'Água Abrasiva (AWJM)	Corte de materiais metálicos e não metálicos; multicamada.	Até 7,5 m/min.
Usinagem por Jato Abrasivo (AJM)	Corte, limpeza de materiais metálicos e não metálicos; controlado manualmente; tende a arredondar os cantos cortados; perigoso.	Varia consideravelmente com material

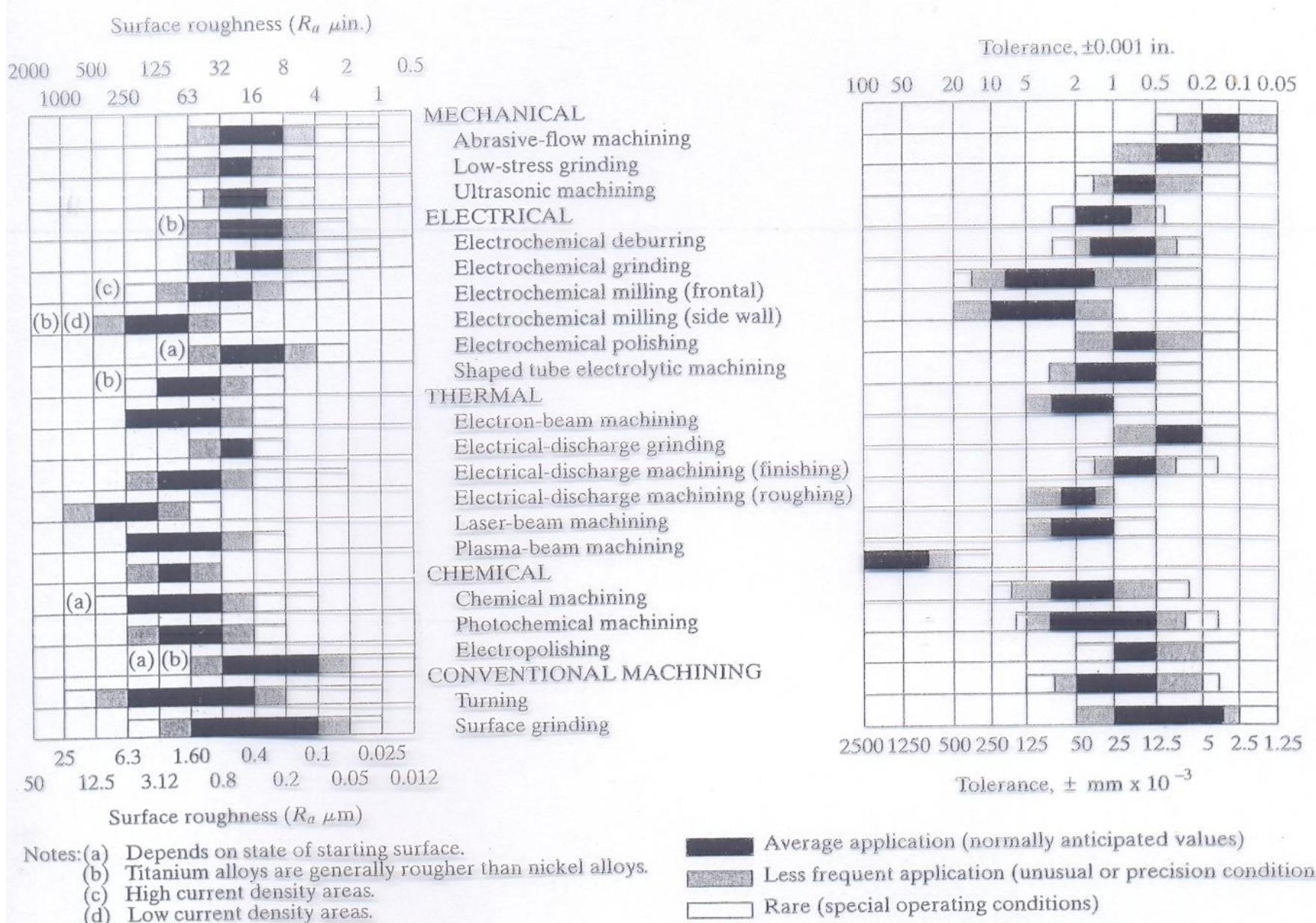


FIGURE 26.4 Surface roughness and tolerances obtained in various machining processes.

Usinagem Química

A usinagem química baseia-se no ataque químico de metais para remover pequenas quantidades de metal da superfície utilizando reagentes como ácidos e soluções alcalinas.

Dos processos de usinagem não convencionais, a usinagem química é o mais antigo, sendo utilizado para marcação de metais e pedras, e mais recentemente na produção de placas de circuitos impressos e chips de microprocessadores.

Na usinagem química, cavidades rasas podem ser produzidas em placas, chapas, forjados e extrudados para redução de peso. A profundidade de cavidade pode chegar até 12 mm. O ataque é seletivo e controlado por camadas de material, denominadas máscaras ou por imersão parcial no reagente.

1. O procedimento de usinagem química é realizado nas seguintes etapas:
2. Remoção de tensões residuais da peça a ser usinada, para evitar deformações posteriores.
3. Limpeza da superfície para remoção de qualquer tipo de resíduo inclusive óxidos resultantes de tratamento térmico. Para permitir perfeita aplicação da máscara e ação do reagente.
4. Aplicação da máscara, na forma de película ou tinta. As máscaras podem ser de borracha, neoprene ou plásticos, é importante que não reaja quimicamente com o reagente.
5. Retirada da máscara nas regiões que devem ser atacadas
6. Aplica-se o reagente, para alumínio utiliza-se hidróxido de sódio, para aços, usa-se ácido nítrico. Durante o ataque deve-se controlar a temperatura e agitação do reagente.
7. Após o ataque deve-se eliminar completamente o reagente por lavagem.
8. Elimina-se a máscara das regiões protegidas, e a peça deve ser novamente lavada.
9. Esta seqüência pode ser repita para obter cavidades com degraus.

Usinagem Química

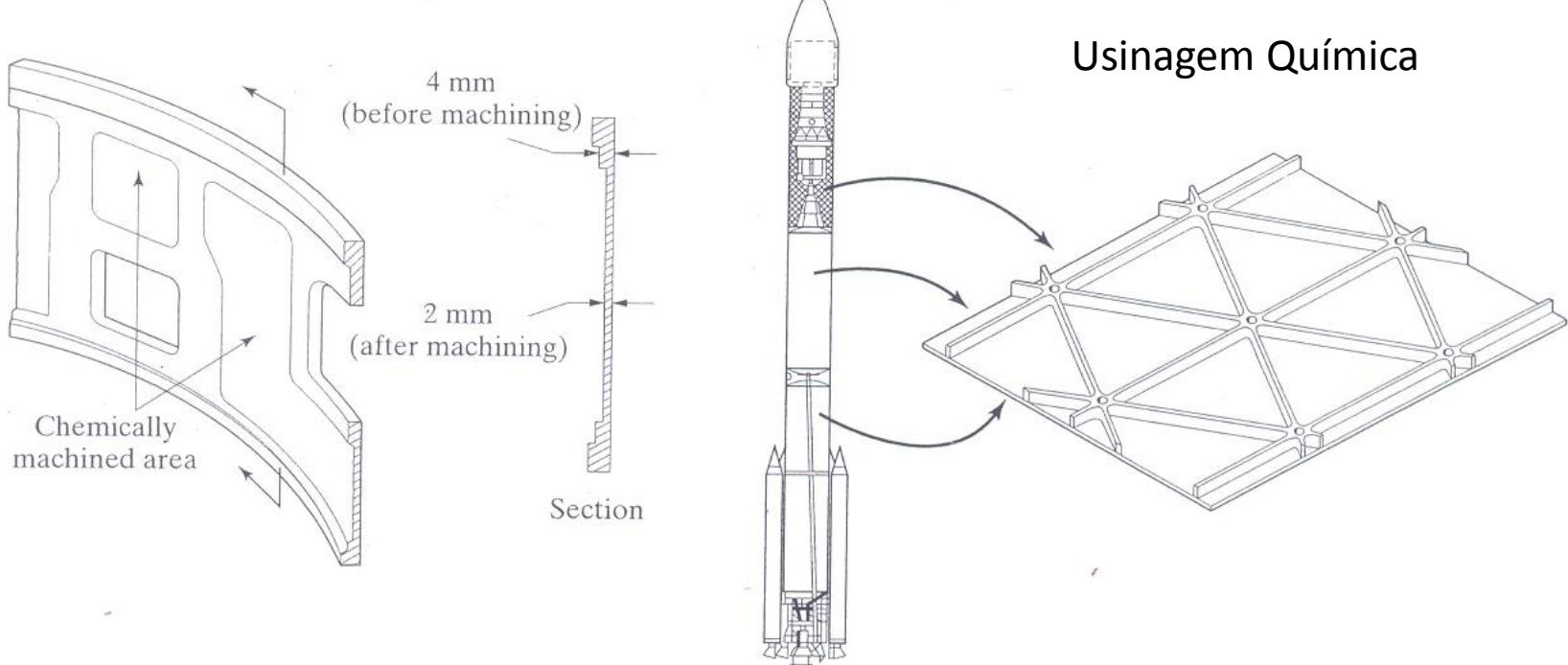
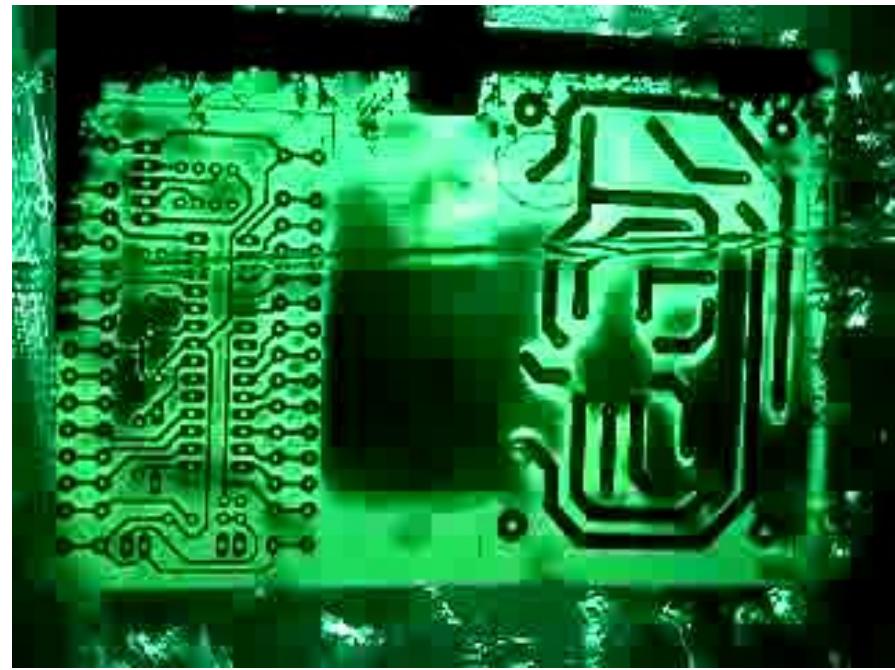


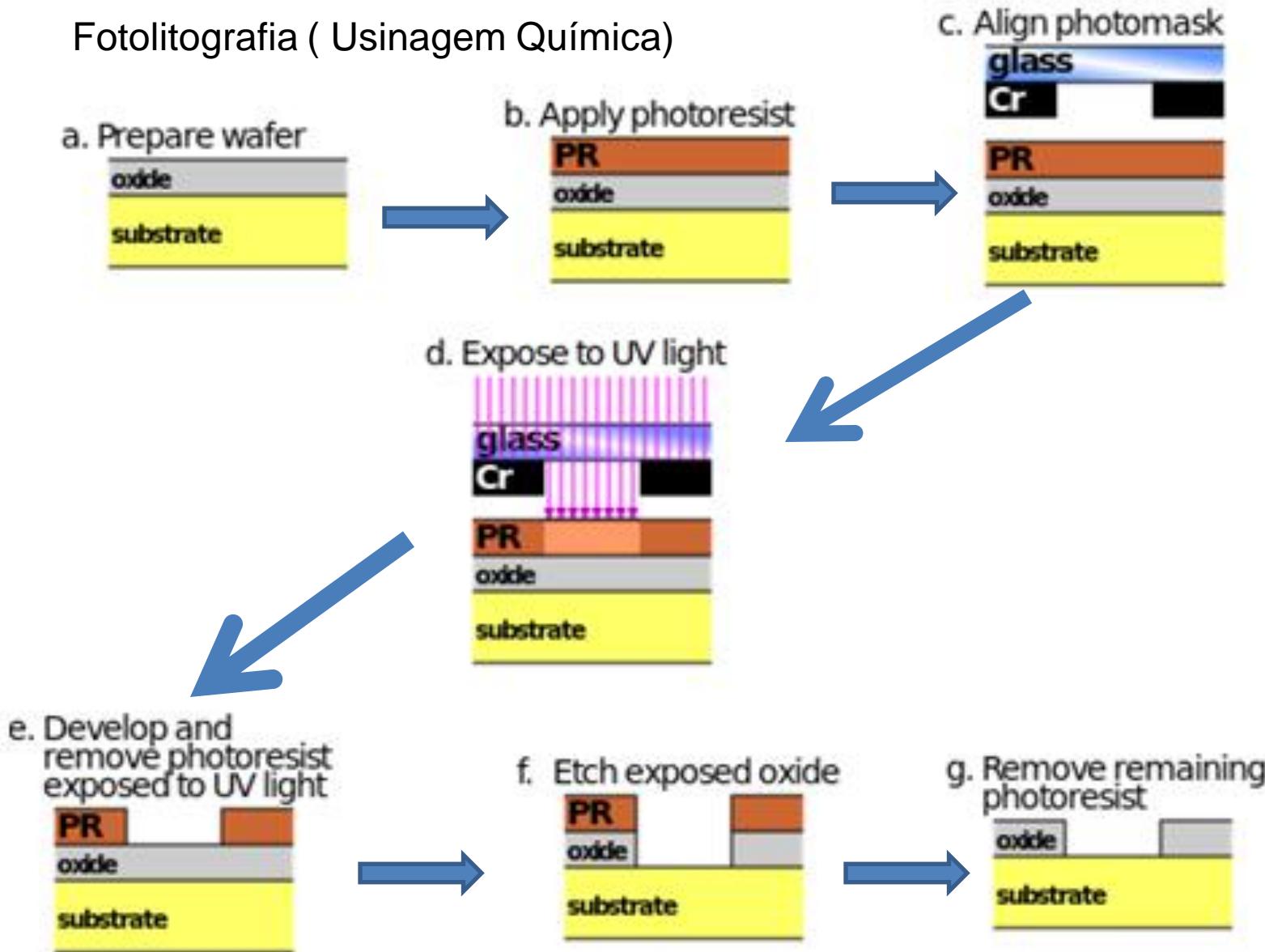
Figura 5.13 – Processo de usinagem química(adaptado de KALPAKJIAN,2001)

Em termos de capacidade do processo, as superfícies usinadas apresentam rugosidade R_a na faixa de 0,8 a 6,3 mm e a tolerância dimensional de 0,025 a 0,1 mm.
Em alguns casos a usinagem química causa problemas como ataque intergranular que diminui a qualidade da superfície.

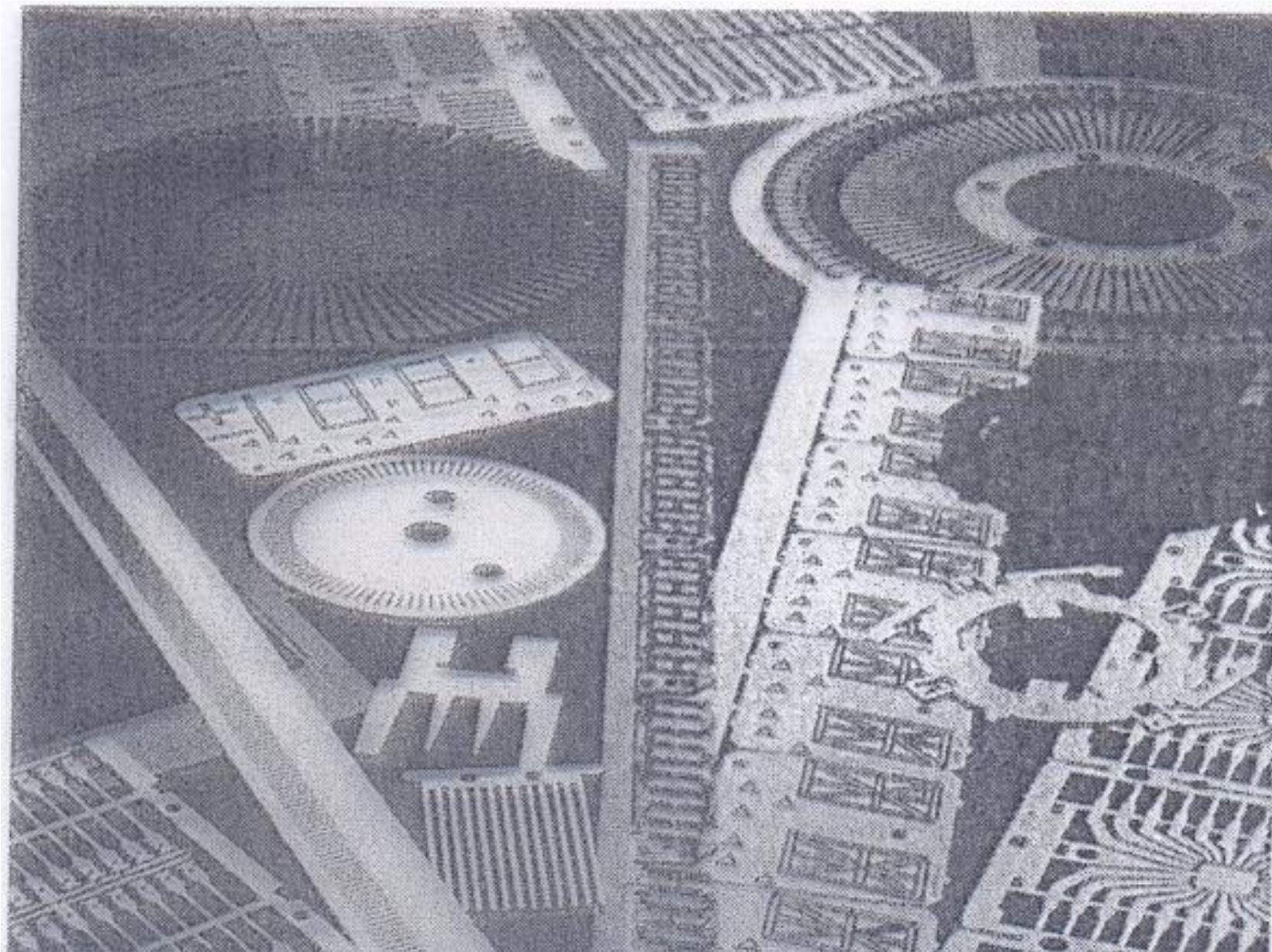
Filme Usinagem Química de Circuito Impresso



Fotolitografia (Usinagem Química)



Várias Peças Usinadas por Usinagem Química



Usinagem Eletroquímica

A usinagem eletroquímica (ECM) é basicamente o reverso da eletrodeposição. Um eletrólito age como condutor de corrente e a taxa alta de vazão do eletrólito na folga peça-ferramenta retira os íons de metal da peça (anodo) antes que eles possam se depositar na ferramenta (catodo). Note que a cavidade produzida é a imagem fêmea da ferramenta. Modificações deste processo são usadas para operações de torneamento, faceamento, aplanaamento, trepanação e perfilamento onde o eletrodo é a ferramenta de corte.

A ferramenta de forma é normalmente feita de latão, cobre, bronze ou aço inox. O eletrólito é uma solução salina inorgânica, altamente condutora, como cloreto de sódio ou nitrato de sódio misturados à água. Ele é bombeado em altas vazões através das passagens na ferramenta. Uma fonte de potência de corrente contínua de 5 a 25V mantém a densidade de corrente, que para a maior parte das aplicações é de $1,5 - 8 \text{ A/mm}^2$ para a superfície ativa usinada.

Máquinas com capacidade de 5 até 40.000 A estão disponíveis. A taxa de penetração da ferramenta é proporcional à densidade de corrente. Como a taxa de remoção de material é função somente da taxa de troca de íons, ela não é afetada pela resistência, dureza, ou resiliência do material da peça.

Usinagem Eletroquímica é normalmente utilizada para usinar cavidades complexas em materiais de alta resistência, particularmente na indústria aeroespacial para produção em massa de pás de turbinas, peças de motores a jato e bocais. É também utilizada para usinar cavidades de ferramentas de forjamento e produção de pequenos furos.

O processo deixa a superfície livre de rebarbas, e pode até ser utilizado como eliminador de rebarbas. Ele não causa nenhum dano térmico à peça e a ausência de forças de corte evita a distorção da peça. Além disso não há desgaste da ferramenta.

Usinagem Eletroquímica

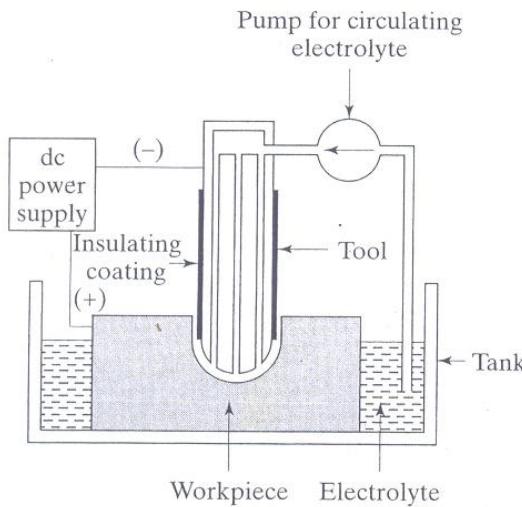


FIGURE 26.6 Schematic illustration of the electrochemical-machining process. This process is the reverse of electroplating, described in Section 33.8.

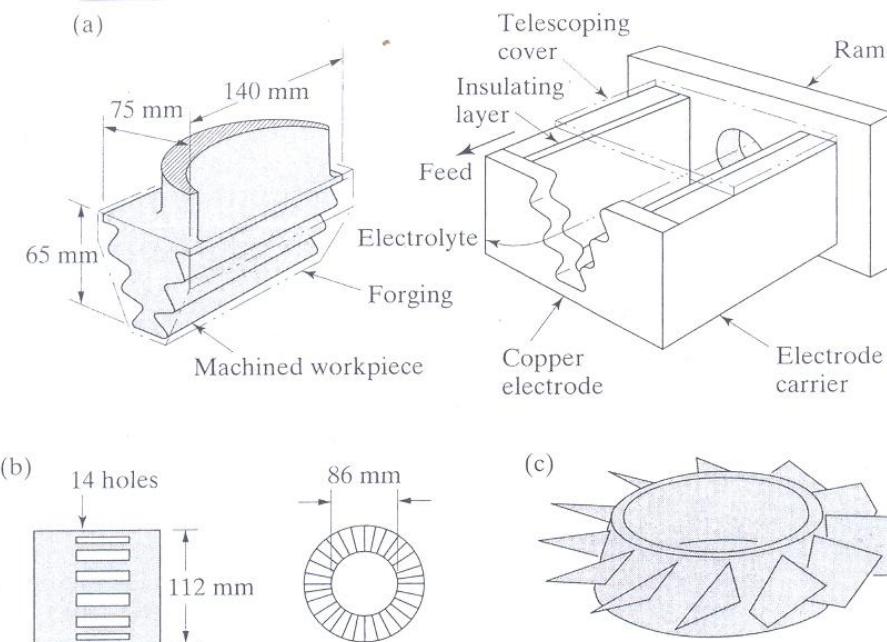


FIGURE 26.7 Typical parts made by electrochemical machining. (a) Turbine blade made of a nickel alloy, 360 HB; note the shape of the electrode on the right. Source: ASM International. (b) Thin slots on a 4340-steel roller-bearing cage. (c) Integral airfoils on a compressor disk.

Eletroerosão

Este processo de usinagem remove o material por erosão causada por descargas elétricas. Apesar do princípio ser conhecido desde a descoberta da eletricidade, somente em 1940 foi construída a primeira máquina que utiliza este processo.

Uma máquina EDM basicamente é composta de eletrodo, peça, fonte DC e fluido dielétrico. Quando a diferença de potencial entre a peça e o eletrodo é suficientemente elevada, uma descarga ocorre através do fluido dielétrico removendo uma pequena quantidade de metal da superfície da peça. Este processo ocorre na freqüência entre 50 kHz e 500 kHz, com voltagem entre 50 V a 380 V e corrente de 0,1 a 500 A .

O fluido dielétrico desempenha um papel importante no processo. Ele atua como um isolante até que a diferença de potencial seja suficientemente alta, retira as partículas removidas de metal e resfria o eletrodo e a peça.

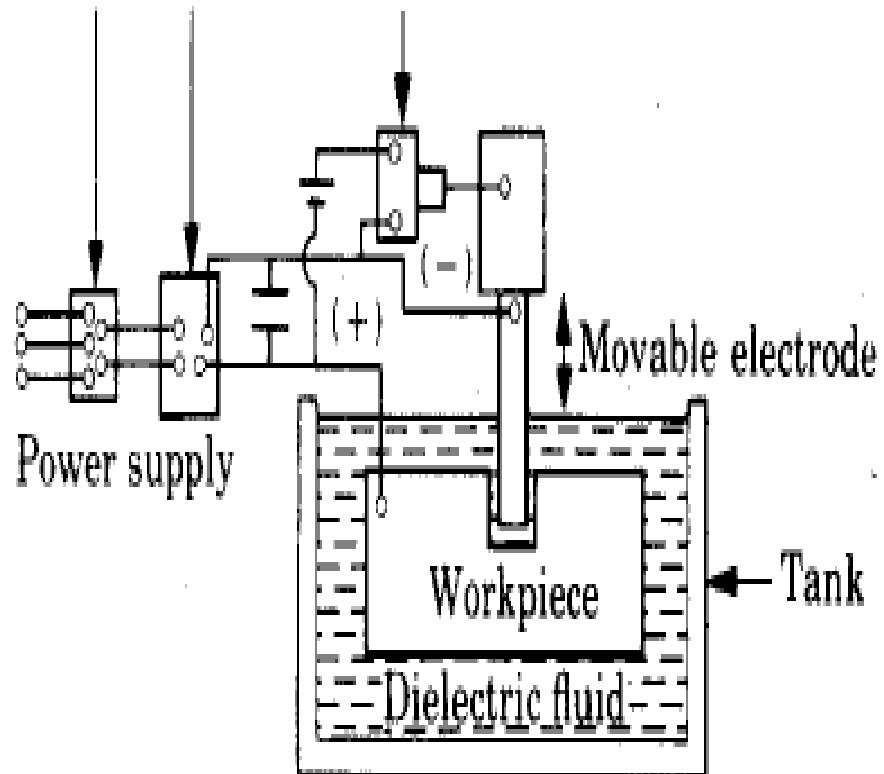
Os fluidos dielétricos mais comuns são querosene e água deionizada.

O processo de eletroerosão pode ser utilizado com qualquer material que seja condutor de eletricidade. O ponto de fusão e o calor latente de fusão são importantes para determinar a quantidade de material removido por descarga. Tipicamente a quantidade de material removido por descarga é da ordem de 10-6 a 10-4 mm³.

Como o processo não trabalha com energia mecânica, a dureza, resistência e tenacidade não influenciam a taxa de remoção de material. A freqüência de descarga ou a energia por descarga controlam a velocidade de remoção de material. A velocidade de remoção e a rugosidade da superfície aumentam com o aumento da densidade de corrente e diminuição da freqüência.

Os eletrodos para eletroerosão normalmente são feitos de grafite, mas podem ser feitos de cobre ou ligas de cobre. O desgaste do eletrodo compromete a tolerância dimensional da peça produzida, por isso deve ser mínimo. O desgaste está associado ao ponto de fusão do material, por isso, o melhor material para o eletrodo é o grafite.

Current
Rectifier control Servo control

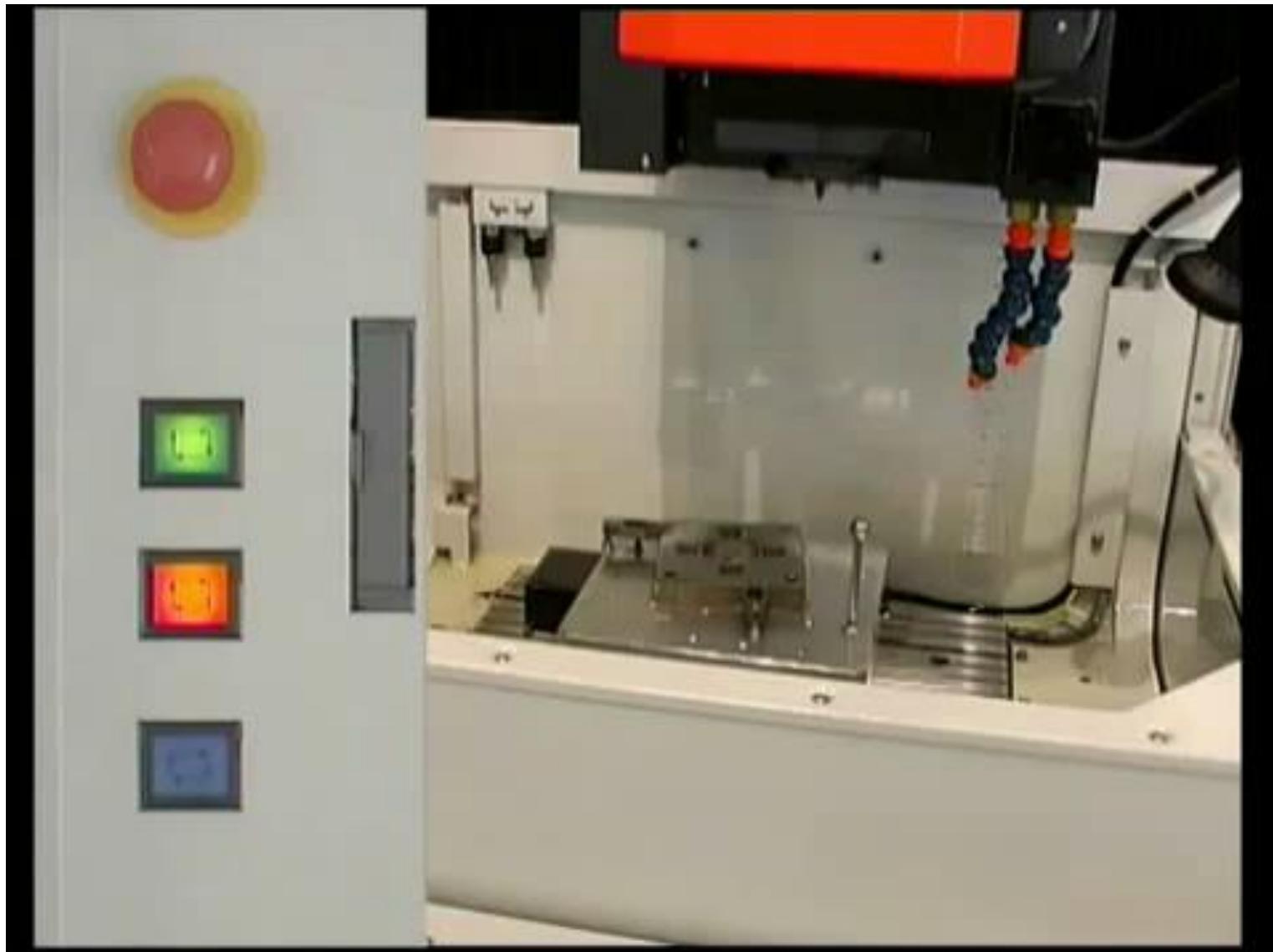


Representação esquemática do processo de eletroerosão. (KALPAKJIAN,2001)

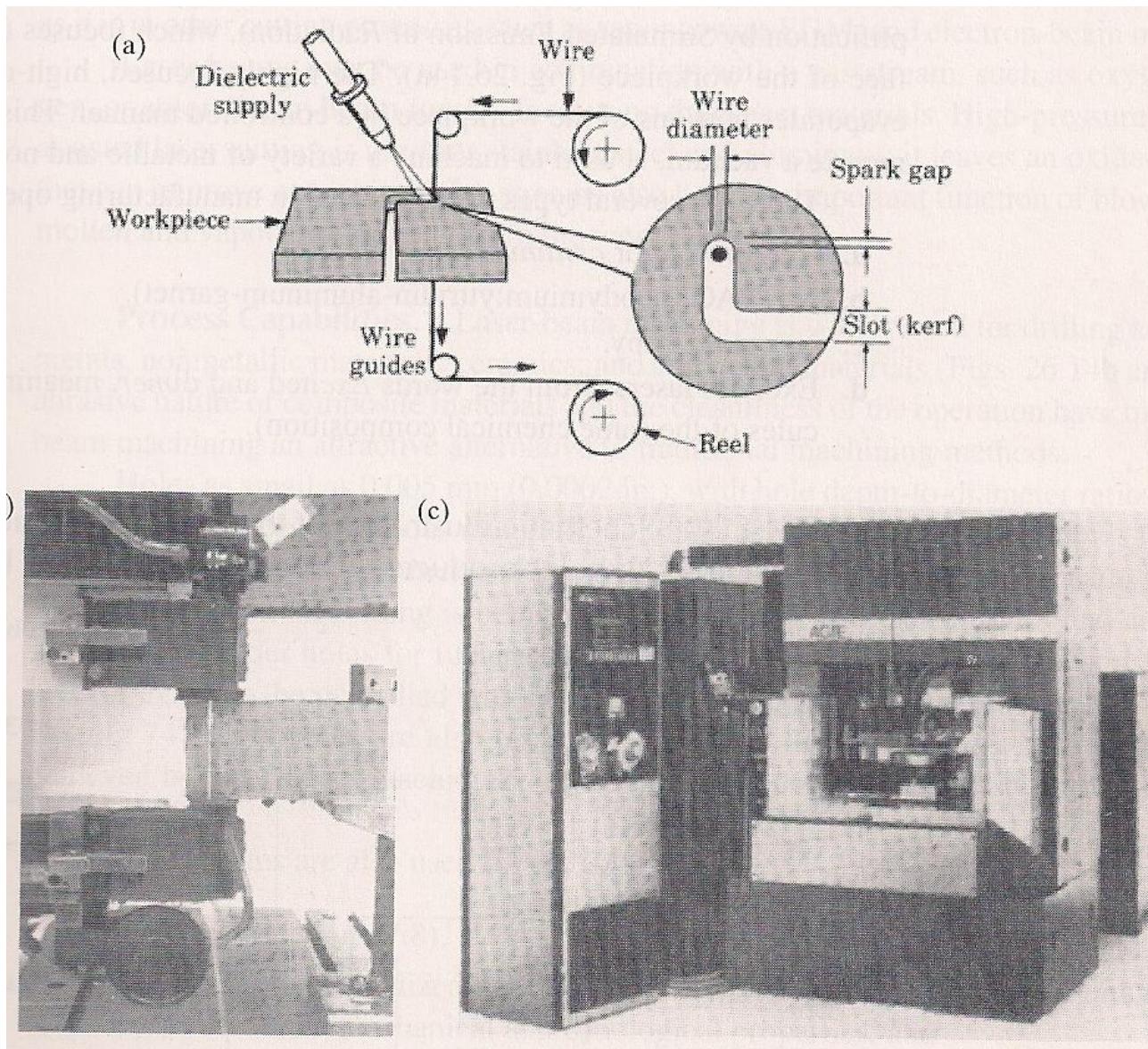


Máquina de Eletroerosão por Penetração

Usinagem por Eletroerosão por Penetração



Eletroerosão a Fio (Variação da Eletroerosão por Penetração)



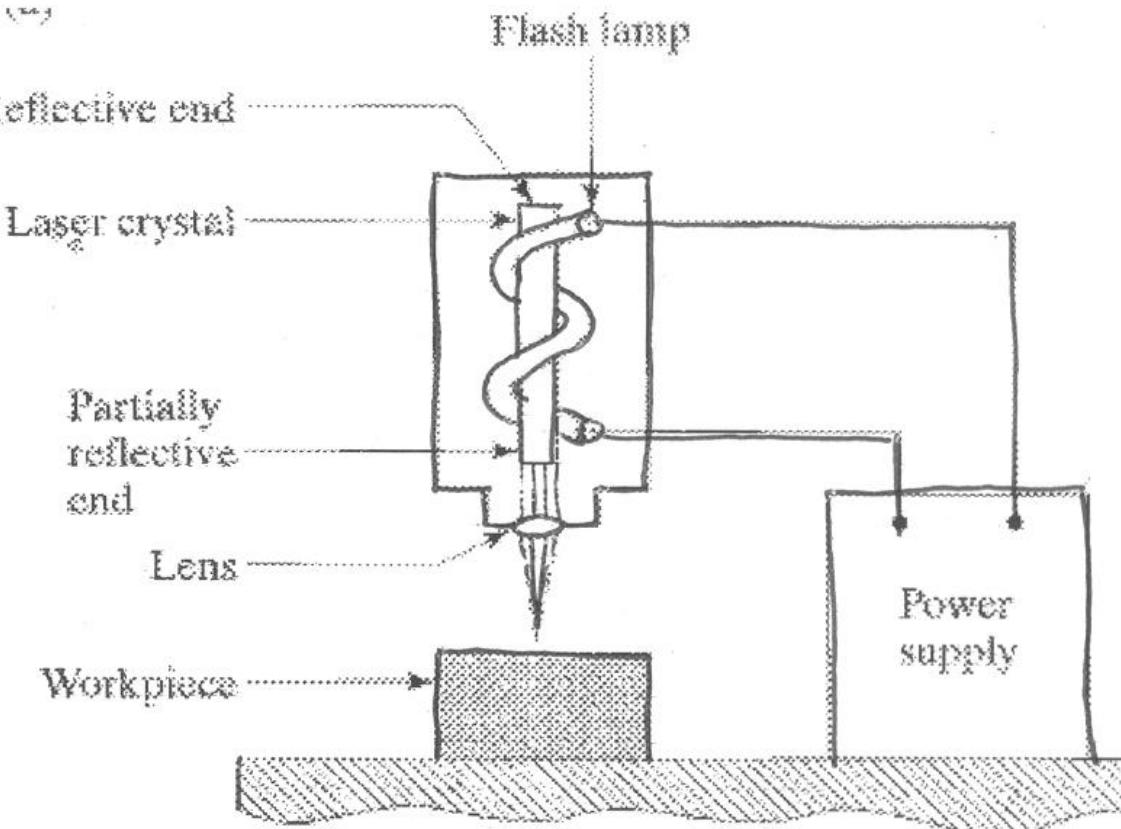
Na usinagem por laser, a fonte de energia é um laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que concentra energia luminosa na superfície da peça. A energia altamente concentrada funde e evapora pequenas regiões do material de modo controlado. Este processo, que não necessita de vácuo, é utilizado para usinar uma grande variedade de materiais metálicos e não metálicos.

Os tipos de laser utilizados nas operações de fabricação são:

- CO₂.- Nd:YAG (neodímio: ítrio –alumínio silicato).- Nd: neodímio rubi. - Por excitação de moléculas.

Na usinagem por laser, a refletividade da superfície, a condutividade térmica, calor específico e calor latente de fusão do material são propriedades importantes no processo.

Quanto menor forem estas propriedades mais eficiente será o processo. A superfície produzida por LBM normalmente é rugosa e apresenta uma zona termicamente afetada, que em aplicações críticas deverá ser removida ou tratada termicamente.



O feixe de laser pode ser utilizado combinado com fluxo de gás, como oxigênio, nitrogênio ou argônio (laser-beam torch), para cortar chapas finas. O processo auxiliado por gás inerte a alta pressão é utilizado no corte de aço inox e alumínio, este processo deixa a região cortada livre de óxidos facilitando a soldagem posterior. Os fluxos de gás também auxiliam na retirada de material fundido e vaporizado da superfície.

A usinagem por laser é largamente utilizada na furação e corte de metais, não metais, cerâmicas e materiais compósitos. A natureza abrasiva dos materiais compósitos e a necessidade de limpeza do processo fazem da usinagem por laser uma alternativa interessante.

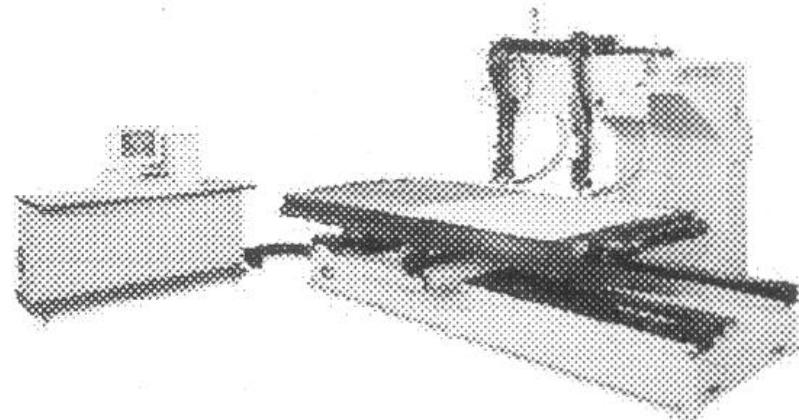
Furos tão pequenos quanto 0,005 mm, com relação profundidade-diâmetro de 50:1, tem sido produzidos em diversos materiais, apesar de que o mínimo prático é 0,025 mm.

Chapas de aço com espessura de 32 mm podem ser cortadas com laser.

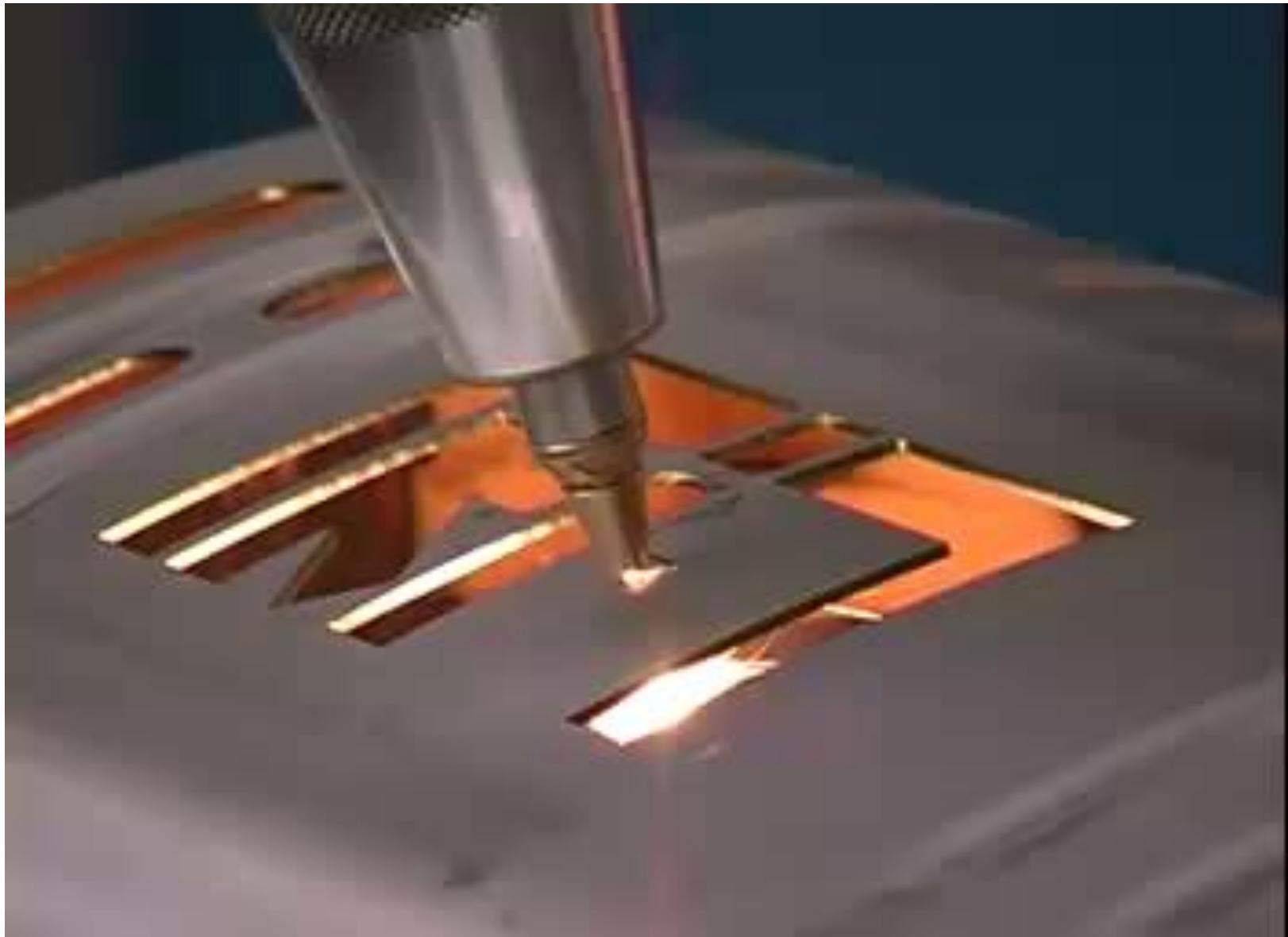
O uso da usinagem por laser tem aumentado especialmente na indústria eletrônica e automotiva. Furos de sangramento em bombas de combustível e furos de lubrificação em mancais da transmissão são furados por laser. Os furos de refrigeração das pás do primeiro estágio de turbinas do Boeing 747 são também produzidos por laser. Redução de custos tem sido obtida pelo uso da usinagem por laser.

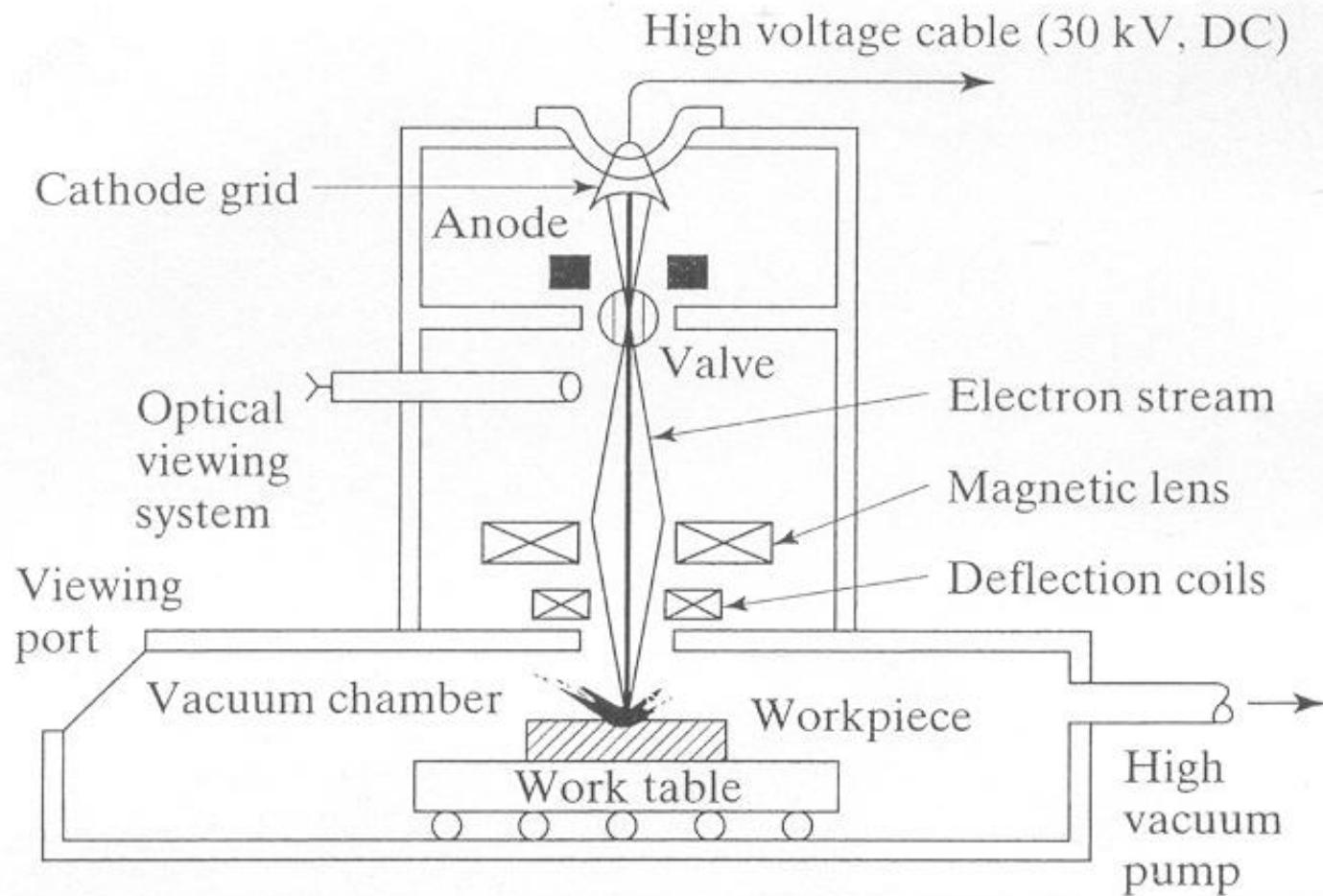
A usinagem por laser também pode ser utilizada para:

- Soldagem.
- Tratamento térmico localizado e em pequena escala de metais e cerâmicas para modificar as propriedades mecânicas e tribológicas da superfície.
- Na marcação de peças, com letras, números e códigos: precisão, reproduzibilidade, flexibilidade, facilidade de automação.

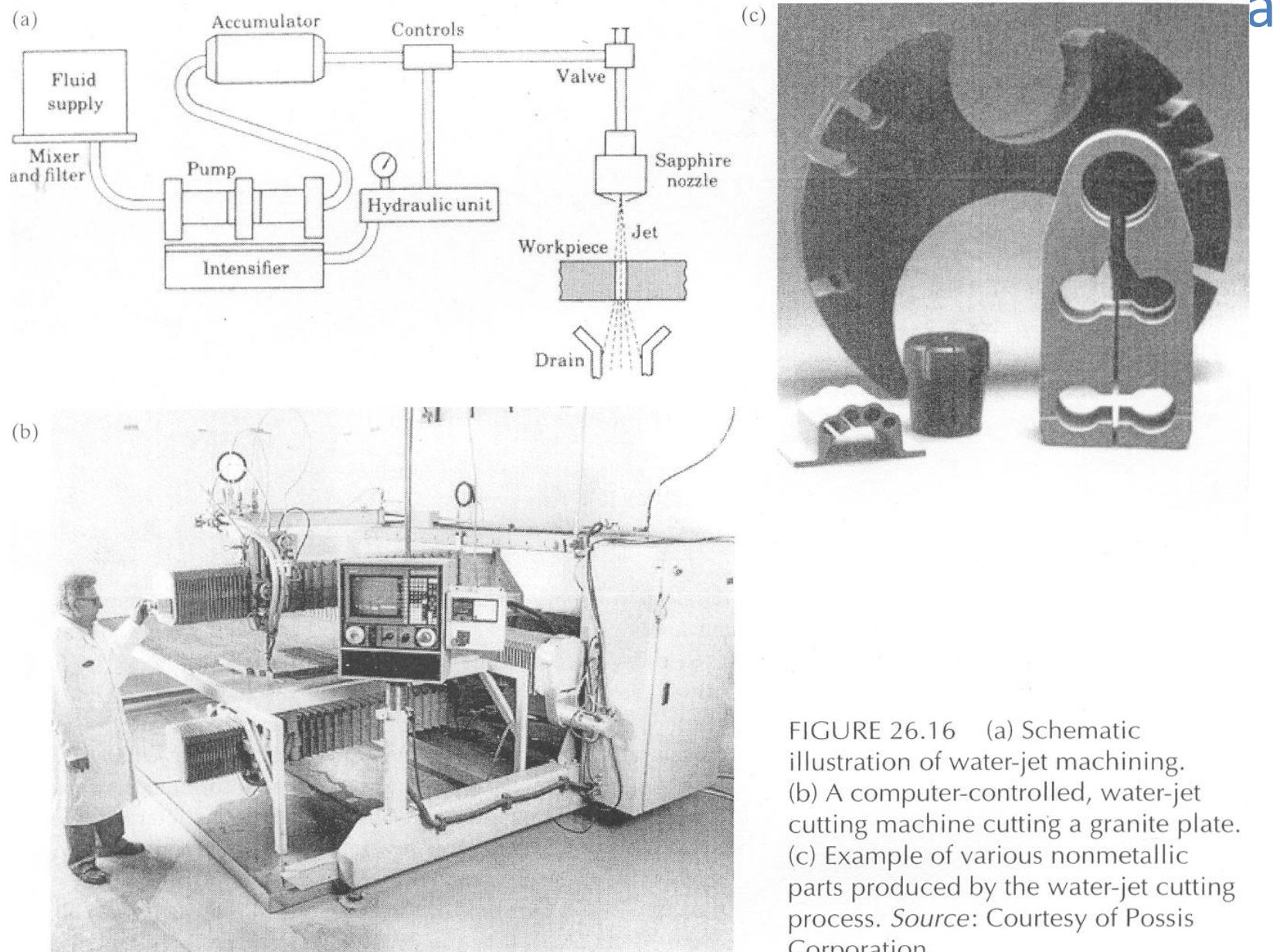


Usinagem a Laser





USINAGEM POR FEIXE DE ELECTRONS – EBM (Electron Beam machining)



USINA GEM POR JATO DE AGUA

FIGURE 26.16 (a) Schematic illustration of water-jet machining. (b) A computer-controlled, water-jet cutting machine cutting a granite plate. (c) Example of various nonmetallic parts produced by the water-jet cutting process. *Source:* Courtesy of Possis Corporation.

Fabricação de Peças de Plástico e Materiais Compósitos

O processamento de plásticos utiliza operações semelhantes às utilizadas na fabricação de peças de metais. Os plásticos podem ser moldados, fundidos, conformados, usinados e soldados, eles podem ser fabricados em formas variadas com relativa facilidade e em poucas operações. A temperatura de fusão do plástico é baixa, por isso, ao contrário dos metais eles podem ser facilmente manipulados e necessitam de menos energia para a fabricação. Entretanto, as propriedades das peças e componentes de plástico são grandemente influenciadas pelo método de fabricação e pelos parâmetros de processamento, deste modo o controle destes é essencial para a qualidade da peça.

Plásticos são normalmente adquiridos na forma de grãos ou pós, e são amolecidos (termoplásticos) no momento da fabricação. Plásticos estão também disponíveis na forma de chapas, placas, tarugos e tubos, que podem ser conformados em vários produtos.

Plásticos na forma líquida são utilizados na fabricação de peças de plástico reforçadas.

Tabela 1 – Características dos processos de fabricação de peças de plástico e materiais compósitos.

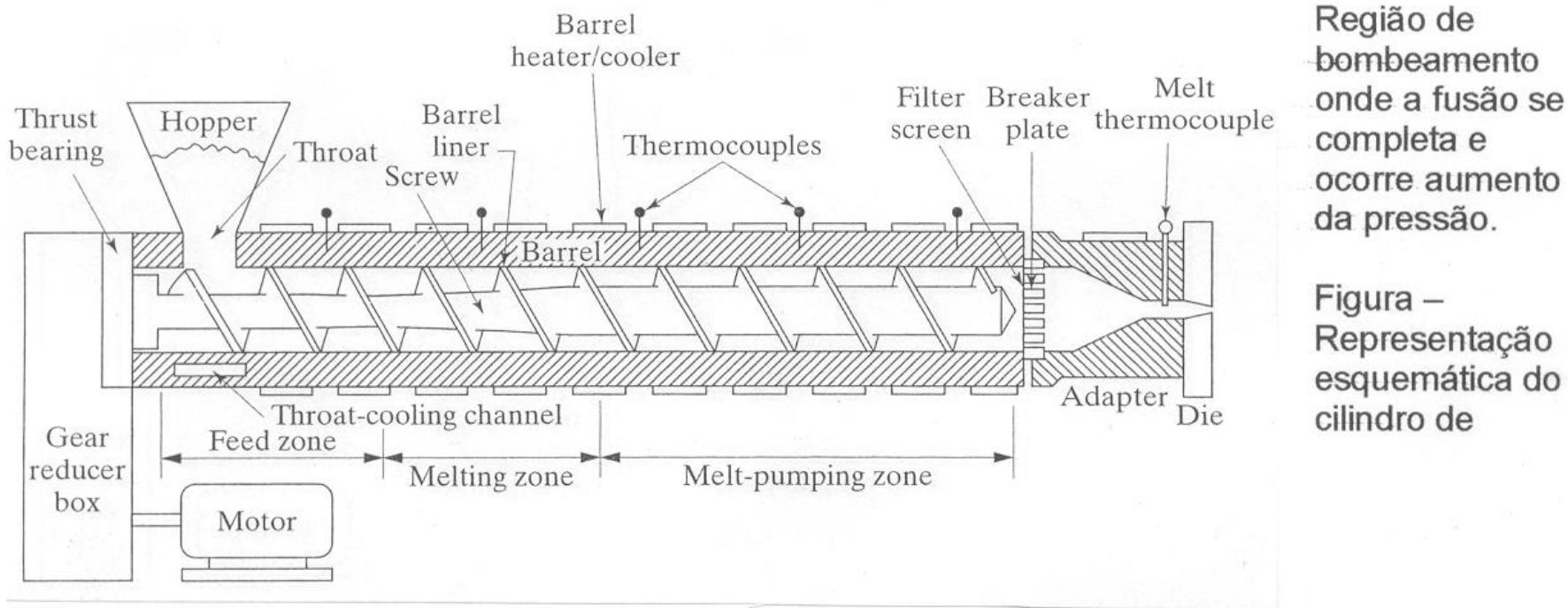
Processo	Características
Extrusão	Seções longas, uniformes, sólidas ou vazadas; alta taxa de produção; baixo custo de ferramentas; tolerâncias abertas.
Moldagem por Injeção	Formas complexas de dimensões variadas, eliminação de montagem, alta taxa de produção; alto custo da ferramenta; boa precisão dimensional.
Moldagem de Plástico Aerado Estrutural	Peças grandes com elevada relação rigidez peso; ferramentas mais baratas que as utilizadas na moldagem por injeção; baixa taxa de produção.
Moldagem por Sopro	Peças ocas de paredes finas; alta taxa de produção; baixo custo da ferramenta.
Moldagem Rotativa	Peças ocas grandes de formato simples; baixo custo da ferramenta; baixa taxa de produção.
Termoconformação	Cavidades rasas ou relativamente profundas; baixo custo da ferramenta, taxa de produção média.
Moldagem por Compressão	Semelhante ao processo de forjamento; baixo custo da ferramenta; taxa de produção média.
Moldagem por transferência	Peças mais complexas que as da moldagem por compressão; alta taxa de produção; perda de matéria prima; custo da ferramenta médio.
Fundição	Formas simples ou complexas fabricadas com moldes flexíveis; baixa taxa de produção.
Processamento de Materiais Compósitos	Ciclos Longos; tolerâncias e custos de ferramenta dependem do processo

Extrusão

No processo de extrusão, a matéria prima na forma de grânulo ou pó termoplástico é colocada no funil de alimentação do cilindro de extrusão. O cilindro é equipado com um parafuso que mistura os grânulos e os transporta através do cilindro. O atrito interno da ação mecânica do parafuso ao longo do parafuso com aquecedores, aquece os grânulos e os liquefaz. A ação do parafuso também gera pressão no cilindro.

Os parafusos de extrusão possuem três seções distintas:

Alimentação que transporta o material do funil de alimentação para a região central do cilindro; Fusão ou transição região onde o calor gerado por atrito e pelos aquecedores causa o início da fusão.



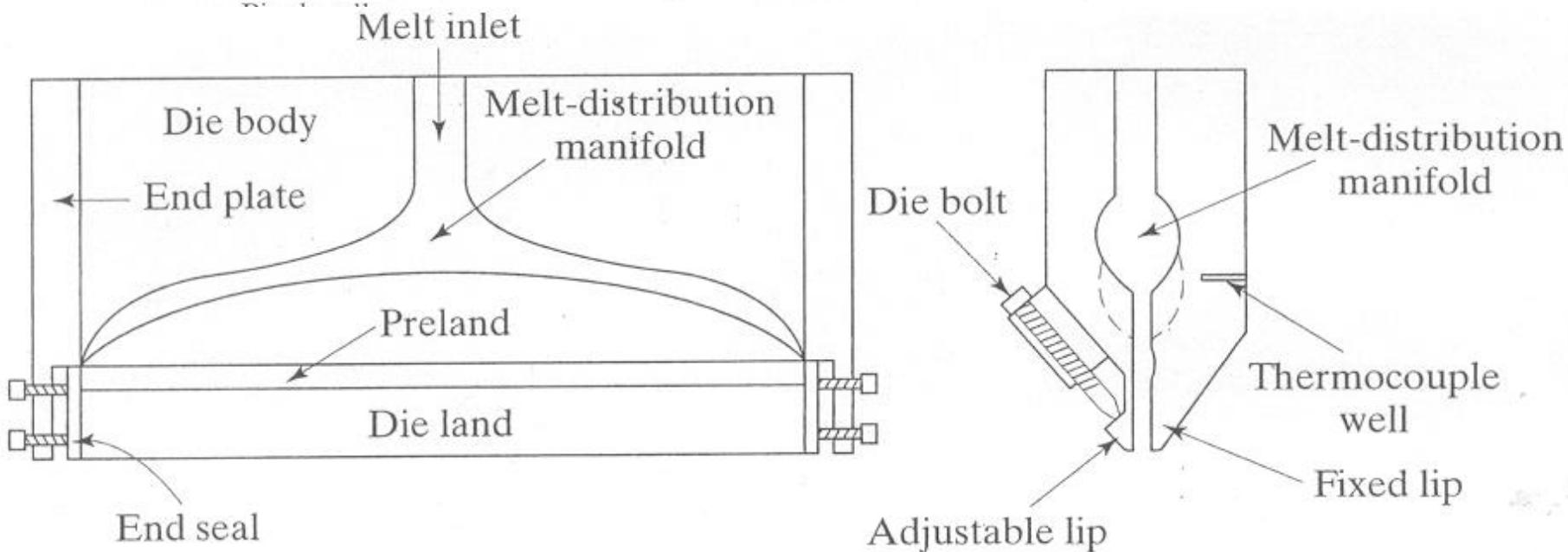
Região de bombeamento onde a fusão se completa e ocorre aumento da pressão.

Figura – Representação esquemática do cilindro de

extrusão(adaptado de KALPAKJIAN,2001).

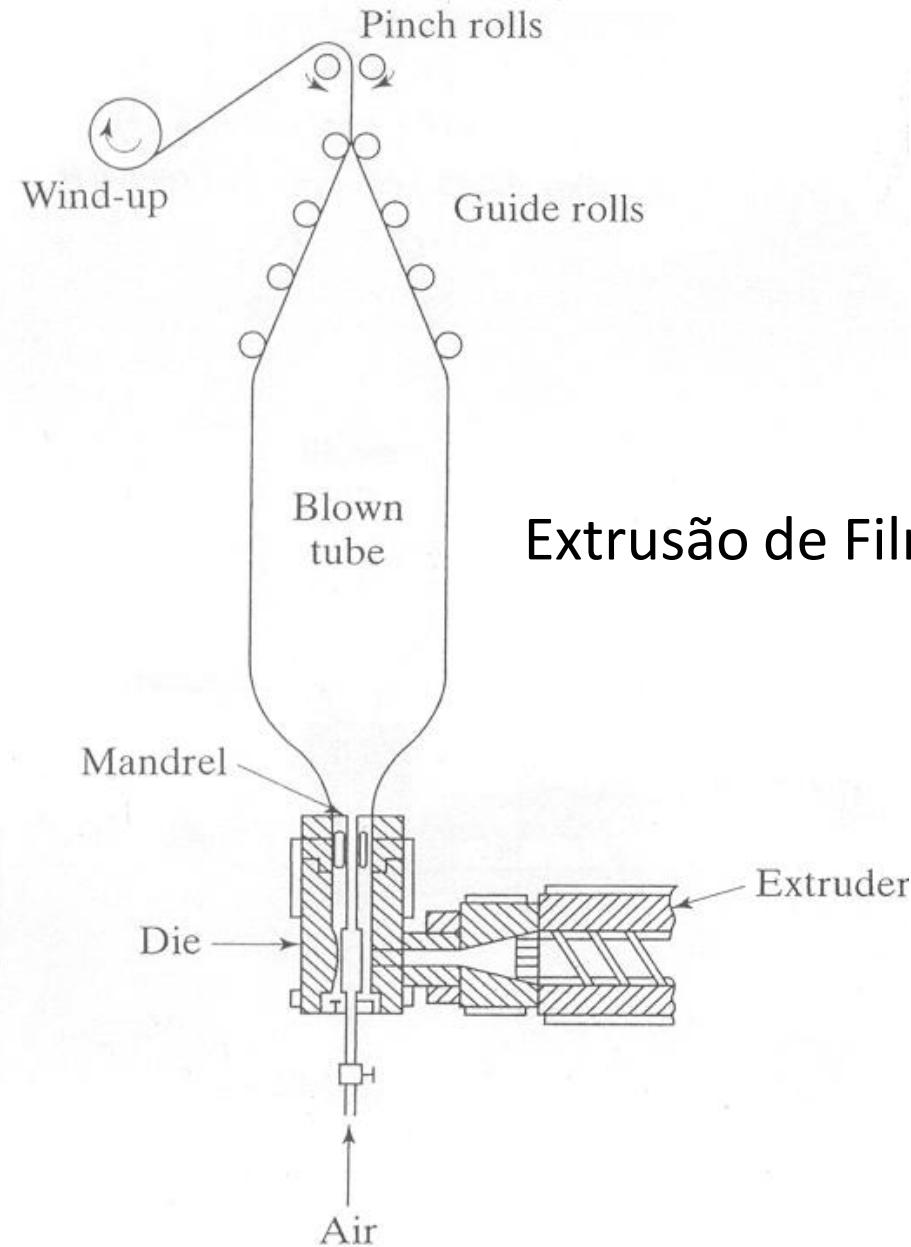


Extrusão de chapas e filmes: Chapas e filmes de polímero podem ser produzidos pelo uso de matriz de extrusão plana. O polímero é extrudado pela passagem forçada através de uma matriz especialmente projetada para este propósito e a seguir é suportado por rolos resfriados por água e finalmente é puxado por um par de rolos revestidos com borracha. Filmes finos de polímeros e sacos de plástico são fabricados a partir de um tubo produzido por uma extrusora. Neste processo denominado “blown film”, um tubo de parede fina é extrudado verticalmente de baixo para cima, a seguir é expandido na forma de um balão pelo introdução de ar através do centro da matriz até que a espessura desejada é obtida. O balão normalmente é resfriado por ar de um anel de resfriamento montado ao redor dele, este anel pode também servir como uma barreira a expansão do balão para controlar a sua dimensão.



MATRIZ DE EXTRUSÃO DE FILME





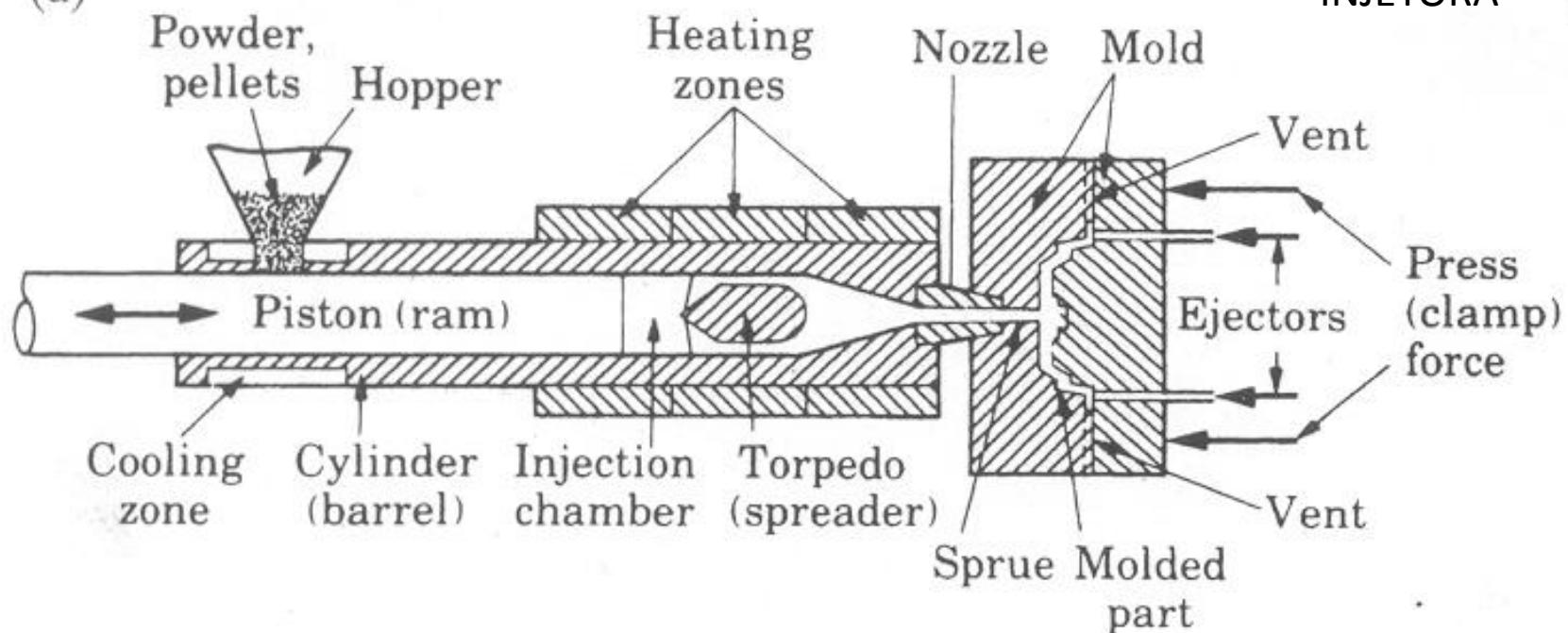
Extrusão de Filmes Finos - Tubular

Moldagem por Injeção

Moldagem por injeção é essencialmente o mesmo processo que é utilizado na fundição sob pressão. Do mesmo modo que na extrusão, o cilindro é aquecido para deixar o polímero em estado pastoso. Entretanto, nas máquinas de moldagem por injeção, a parcela de calor gerado por atrito entre o polímero e o parafuso é apreciável. Os “pellets” ou grânulos são alimentados no cilindro de aquecimento, é o material é forçado em uma matriz fechada que pode ser aberta no final do processo, por um pistão hidráulico ou por um parafuso rotativo.

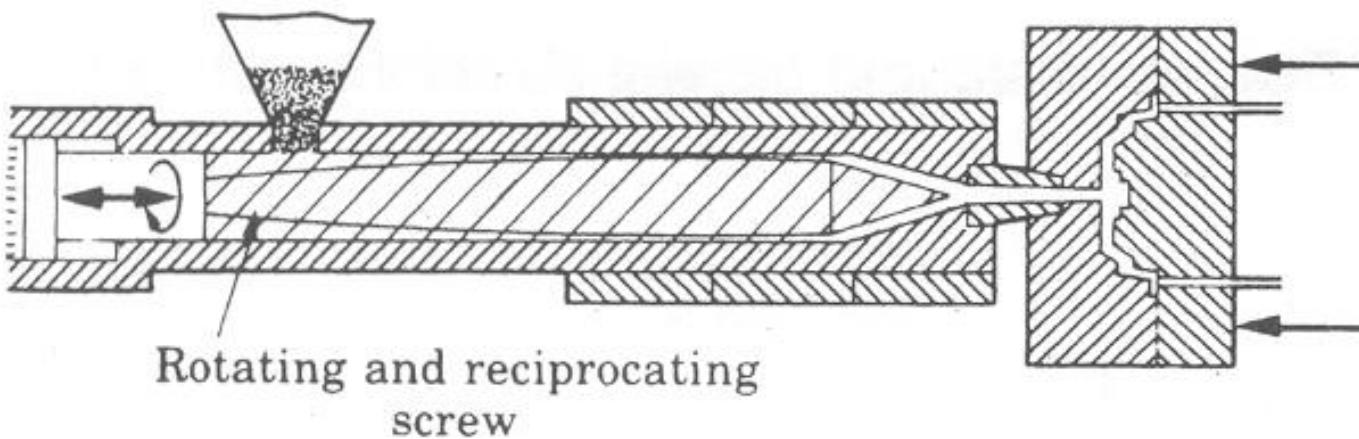
Os equipamentos mais modernos utilizam parafuso com movimento alternativo. Nestes equipamentos assim que a pressão aumenta na entrada do molde, o parafuso rotativo retorna uma certa distância, este movimento controla o volume de material a ser injetado. O parafuso então para de girar e é empurrado para frente por um dispositivo hidráulico forçando o material plastificado na cavidade do molde. As pressões de injeção normalmente utilizadas estão na faixa de 70 MPa a 200 MPa.

(a)

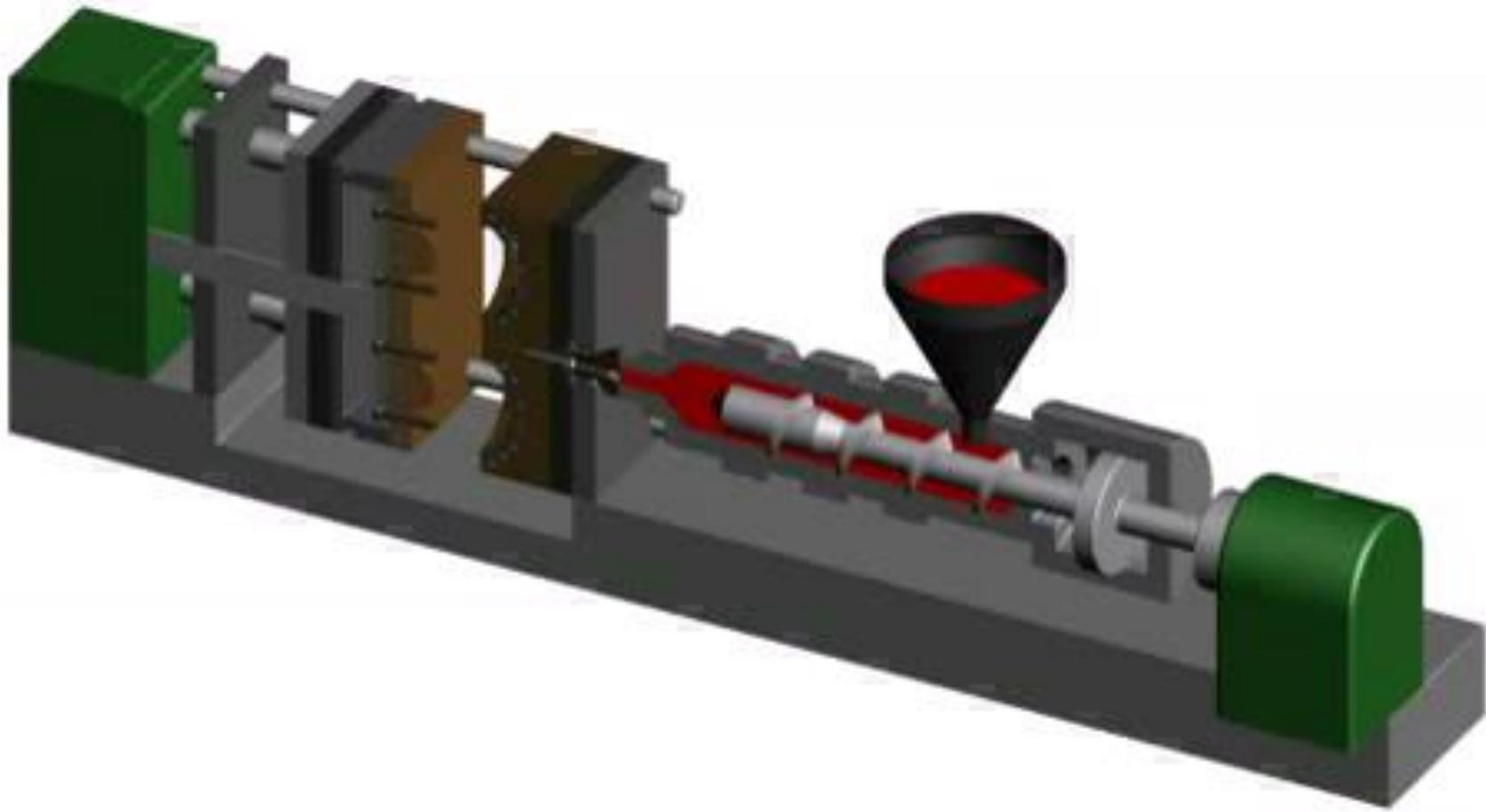


INJETORA

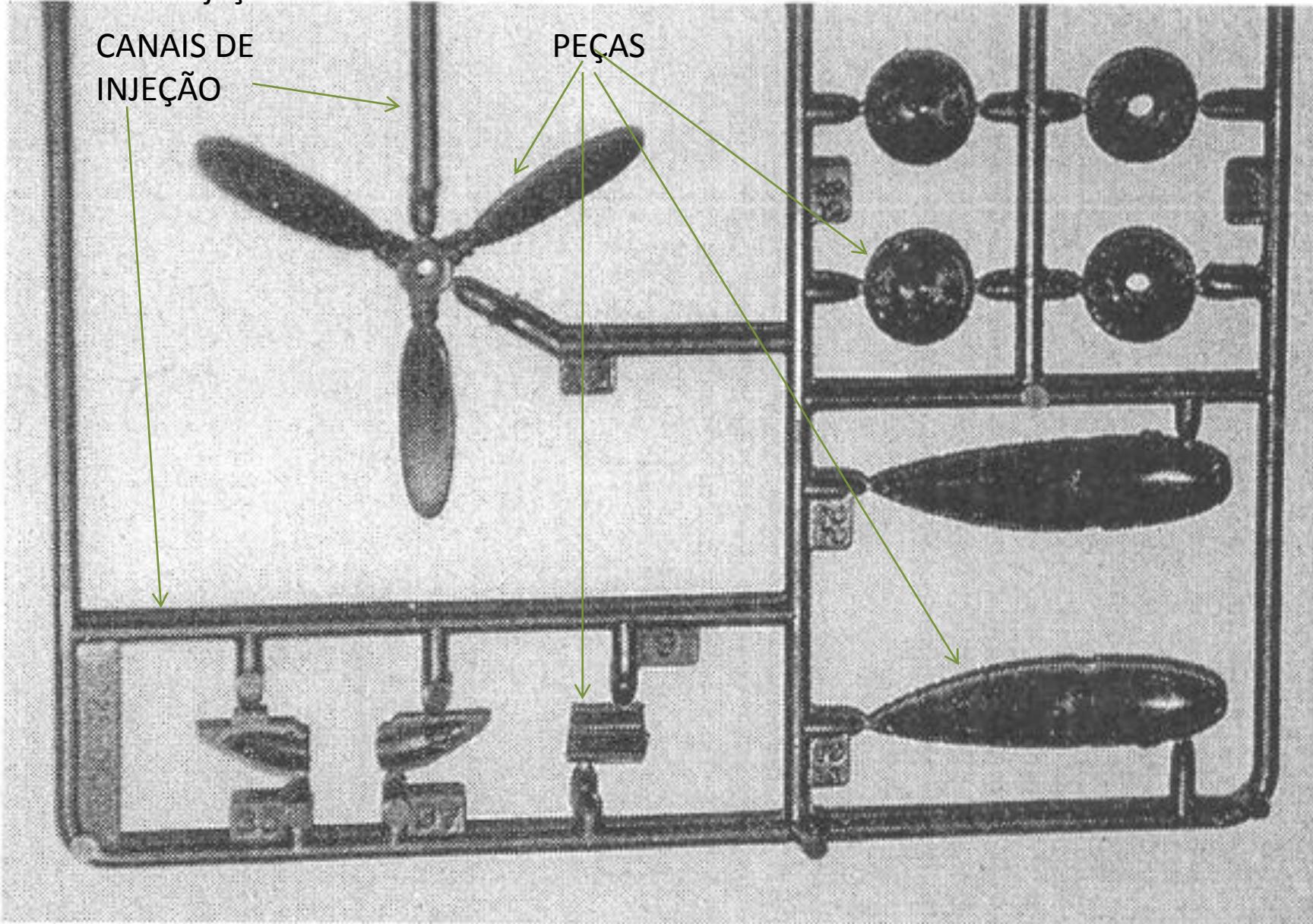
(b)



Injetora



Matriz de injeção



INJEÇÃO

Os produtos normalmente fabricados por moldagem por injeção são copos, caixas, revestimentos, empunhaduras de ferramenta, componentes elétricos e de comunicação, brinquedos. Na moldagem de termoplásticos os moldes são relativamente frios, mas no caso de termofixos o molde deve ser aquecido para permitir a polimerização. Em ambos os casos, após a peça ser suficientemente resfriada (para termoplásticos) ou curada (para termofixos), os moldes são abertos e a peça é retirada. Os moldes são então fechados, e o processo é repetido automaticamente. Elastômeros também são moldados por este processo.

Como o material é moldado quando é injetado no molde, pode-se obter formas complexas com boa precisão dimensional. Moldes com partes móveis, denominadas gavetas, que podem se movimentar de modo retilíneo ou serem desparafusadas, permitem a moldagem de peças com múltiplas cavidades e roscas internas e externas.

Os moldes podem ter vários componentes: gavetas, cavidades, canais de resfriamento, insertos, pinos extratores, canais de alimentação, canais de corte, canais de distribuição.

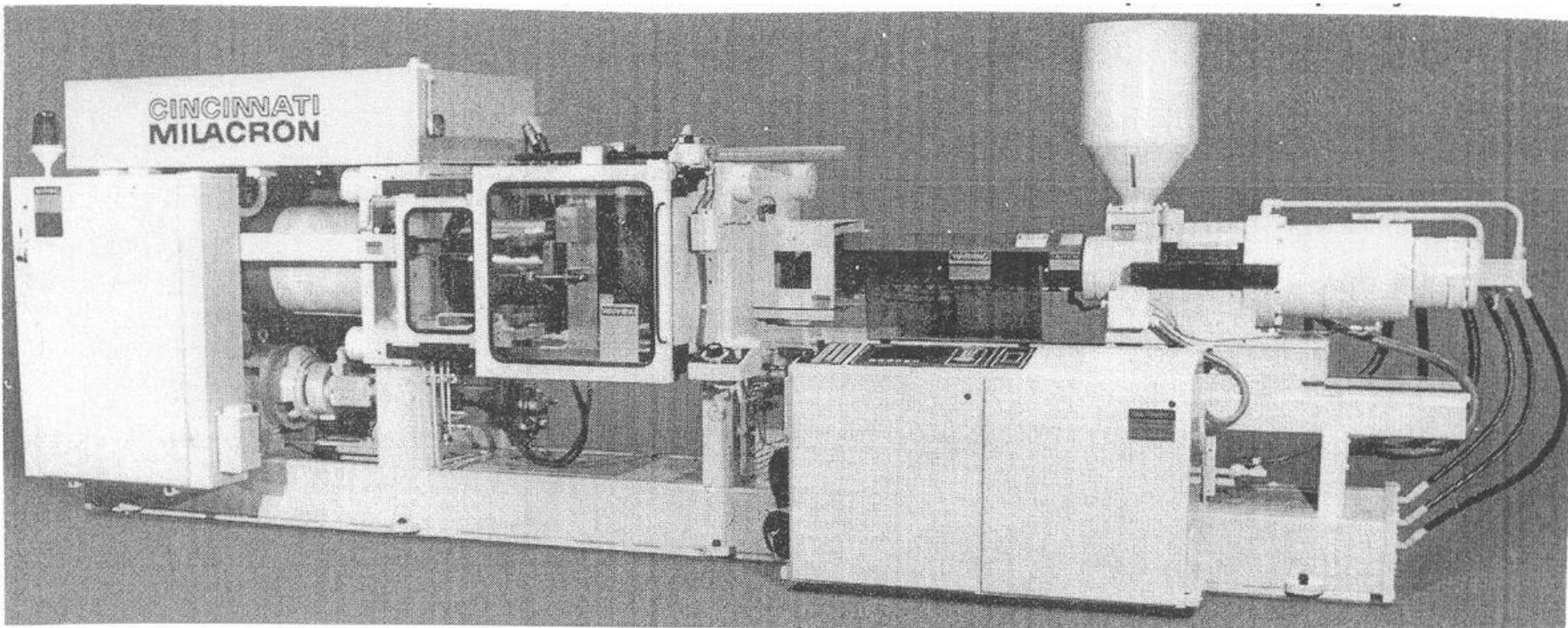
Existem três tipos básicos de moldes: Molde com canal frio de duas placas, é o projeto mais simples; Molde com canal frio de três placas, neste caso os canais de alimentação são separados da peça quando o molde abre; Molde com canal quente, neste tipo o plástico é mantido aquecido nos canais de alimentação do molde.

Nos moldes com canal frio, o material solidificado nos canais de alimentação (canais que conectam a saída do cilindro de injeção com a cavidade do molde) deve ser removido por corte da peça injetada. Os canais podem ser reciclados. Em moldes de canal quente, que são mais caros, nenhuma parte fica presa a peça injetada no final do processo. O ciclo de trabalho é mais curto, porque somente é necessário resfriar e ejetar a peça injetada.

Componentes metálicos, tais como parafusos, pinos e placas podem também ser colocados na cavidade do molde e tornar-se parte do produto injetado. Os exemplos mais comuns desta combinação são componentes elétricos.

Moldagem de multicomponentes também denominada co-injeção ou moldagem sanduíche permite a formação de peças com uma combinação de cores e formas. Um exemplo é a moldagem multicor de lanternas para automóvel composta de diferentes materiais. É possível também, montar filmes impressos na cavidade do molde, de modo a eliminar a necessidade de decorar ou etiquetar após a moldagem.

INJETORA



Sobremoldagem: Este termo é utilizado para designar o processo de produzir peças formadas por partes encaixadas que devem se movimentar umas com relação as outras, sem necessidade de montagem posterior. Para este propósito utiliza-se plásticos diferentes em cada peça para evitar a junção das peças.

Um novo processo denominado “ice-cold molding”, utiliza o mesmo tipo de plástico para formar as peças. O processo é executado em um ciclo em uma máquina padrão de moldagem por injeção. É preciso um molde com duas cavidades e o uso de insertos de resfriamento posicionados na área de contato entre o primeiro e segundo componentes da junta.

Capacidade do Processo

Moldagem por injeção é um processo de alta taxa de produção e permite bom controle dimensional. Tipicamente o tempo do ciclo de trabalho é de 5 a 60 segundos, mas ele pode ser de vários minutos para termofixos. Os moldes normalmente são feitos de aço ferramenta, ligas de berílio e cobre, ou alumínio, e eles podem possuir várias cavidades, permitindo que mais de uma peça seja feita por ciclo. O custo de um molde pode ser de até US\$ 100000; a vida pode ser da ordem de 2 milhões de ciclos para moldes de aço, mas para moldes de alumínio da ordem de 10000.

O projeto do molde e o controle do fluxo do material nas cavidades são fatores importantes na qualidade do produto. Técnicas de modelagem estão sendo desenvolvidas para otimizar sistemas de canais, preenchimento da cavidade, resfriamento do molde, e distorção do produto; levando em consideração fatores como pressão de injeção, temperatura, e condição da resina. Existem programas de computador que auxiliam o processo de projeto para moldar peças com grande precisão dimensional e boas propriedades mecânicas .

Máquinas

As máquinas de moldagem por injeção normalmente são horizontais. Máquinas verticais são utilizadas na fabricação de peças pequenas com tolerâncias estreitas e para moldagem de insertos. A força de fechamento nos moldes normalmente é aplicada por dispositivos hidráulicos, apesar de que atualmente são disponíveis dispositivos elétricos. Os dispositivos elétricos são mais leves e mais silenciosos que os hidráulicos.

As máquinas de moldagem por injeção são classificadas de acordo com a capacidade de moldagem e força de fechamento. Na maioria das máquinas, esta força varia de 100 a 250 toneladas. A maior máquina em operação tem a capacidade de 5000 toneladas, e pode produzir peças pesando 25 Kg, a maior parte das peças pesa de 100 a 600 g. O custo de uma injetora de 100 toneladas varia de US\$ 60000 a US\$ 90000, e de 300 toneladas de US\$ 85000 a US\$ 140000.

O alto custo dos moldes, tipicamente de US\$ 20000 a US\$ 200000, necessitam de um alto volume de produção para justificar o custo. Máquinas modernas são equipadas com microprocessadores e microcomputadores em um painel de controle monitorando todos os aspectos da operação.



Moldagem por Sopro

Moldagem por sopro é um processo modificado de extrusão e moldagem por injeção.

Na extrusão por sopro, um tubo é inicialmente extrudado, então é fechado em um molde com uma cavidade muito maior que o diâmetro do tubo, e finalmente inflado para preencher a cavidade do molde. A inflação é feita por ar comprimido a pressão de 350 kPa a 700 kPa.

Em algumas operações a extrusão é contínua e o molde se move com o tubo.

Os moldes fecham-se ao redor do tubo extrudado, fechando as extremidades, e abrem assim que o ar é injetado na parte tubular. A peça é então resfriada e ejetada. Tubos corrugados e tubos normais são feitos por moldagem contínua por sopro em que o tubo é extrudado horizontalmente e inflado nos moldes móveis.

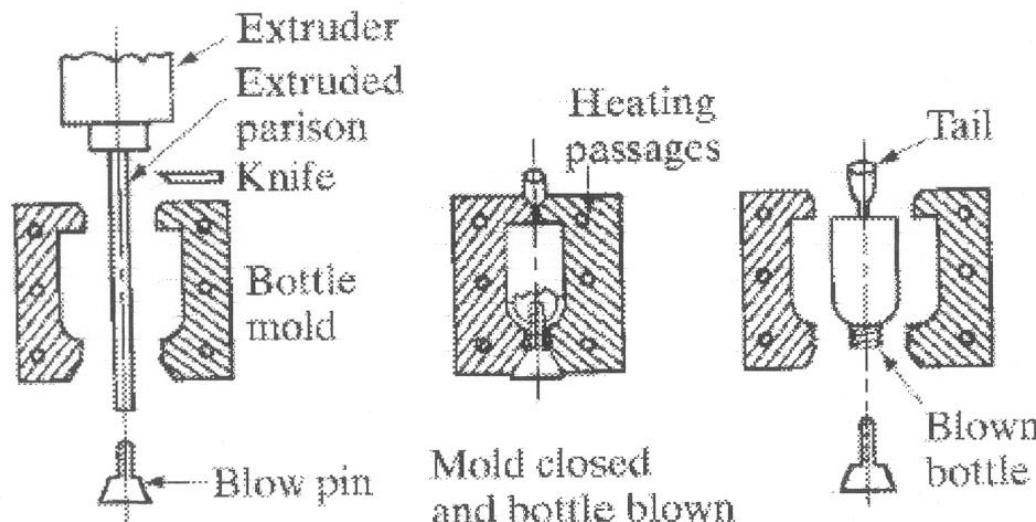


Figura – Moldagem por sopro (adaptado de KALPAKJIAN,2001).

Na moldagem por sopro com injeção, uma peça tubular curta é inicialmente moldada por injeção.

Os moldes são abertos e esta peça é transferida para um molde de sopro. Ar quente é injetado dentro da peça, que expande até alcançar as paredes da cavidade do molde. Este processo é utilizado para fabricar garrafas plásticas de refrigerante e recipientes vazados.

Moldagem por Sopro multicamada consiste no uso de tubos co-extrudados que permitem a fabricação de estruturas multicamada. Um exemplo típico de estrutura multicamada são as embalagens plásticas para alimentos e bebidas, que devem possuir barreiras a odores e proteger o sabor e aroma, resistência, permitir a impressão, e permitir o vazamento de líquidos quentes.

Outras aplicações podem ser encontradas na indústria cosmética e farmacêutica.



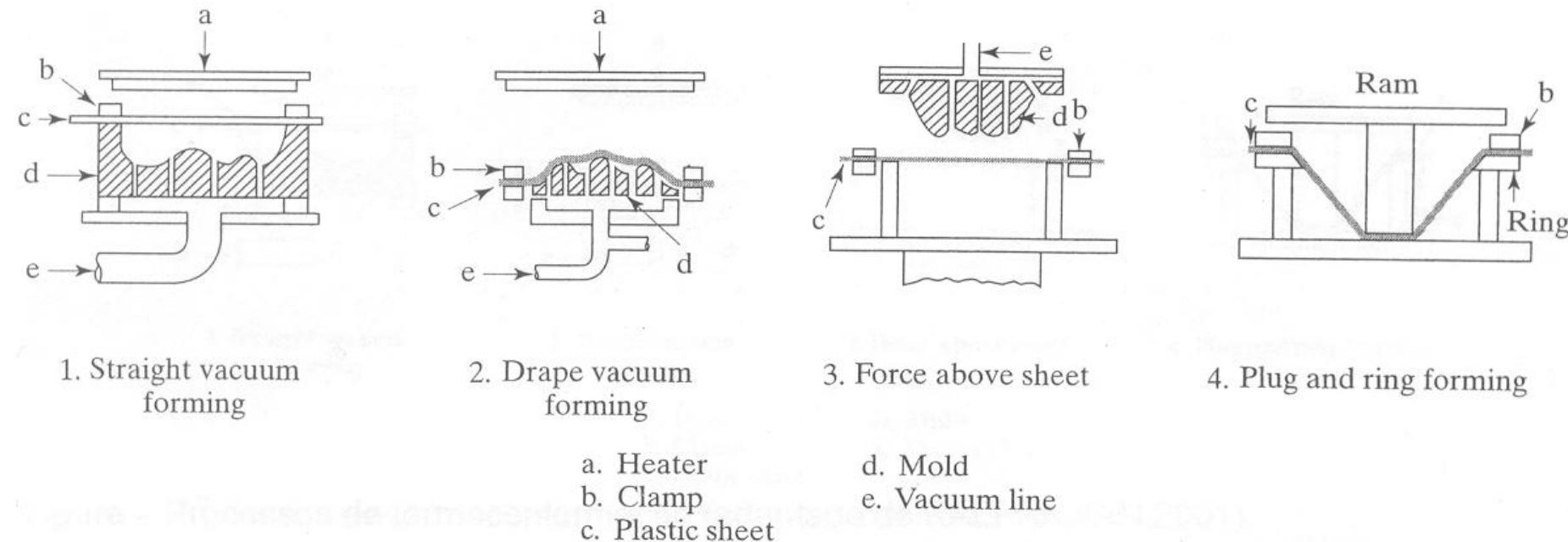
Termoconformação

Termoconformação é um conjunto de processos para conformação de placas ou filmes de plástico sobre um molde, através da aplicação de calor e pressão.

Neste processo, a placa é aquecida no forno até o ponto de amolecimento. A placa é removida do forno, colocada sobre o molde, e forçada contra o molde através da aplicação de vácuo. O molde normalmente é mantido a temperatura ambiente, deste modo a forma do plástico começa a ser definida quando o mesmo entra em contato com o molde. Por causa da baixa resistência do plástico amolecido, a diferença de pressão causada pelo vácuo normalmente é suficiente para conformar o material, apesar de que ar comprimido ou ação mecânica direta podem ser utilizados na fabricação de algumas peças por este processo.

As peças normalmente fabricadas por termoconformação são cartazes de propaganda, prateleiras de refrigeradores, embalagens. Como a termoconformação é uma operação de estampagem e estiramento, parecida com a estampagem de chapas de metal, o material deve possuir alto índice de alongamento uniforme, caso contrário poderá empescoçar e romper. Os termoplásticos possuem alongamento uniforme elevado, devido a sua elevada sensibilidade a taxa de deformação. As placas utilizadas na termoconformação são fabricadas por extrusão. Peças com aberturas ou furos não podem ser fabricadas por este processo, porque a diferença de pressão não poderia ser mantida durante a conformação.

TERMOCONFORMAÇÃO



1. Straight vacuum forming

2. Drape vacuum forming

3. Force above sheet

4. Plug and ring forming

- a. Heater
- b. Clamp
- c. Plastic sheet

- d. Mold
- e. Vacuum line

Os moldes para termoconformação são normalmente feitos de alumínio, porque não é necessária alta resistência. Os furos no molde para permitir o vácuo costumam ser menores que 0,5 mm, para não deixar marcas na peça. Os moldes são baratos. Com relação a qualidade deve-se controlar rasgos, uniformidade de espessura das paredes, preenchimento do molde, e definição da peça.

Processamento de Plásticos Reforçados

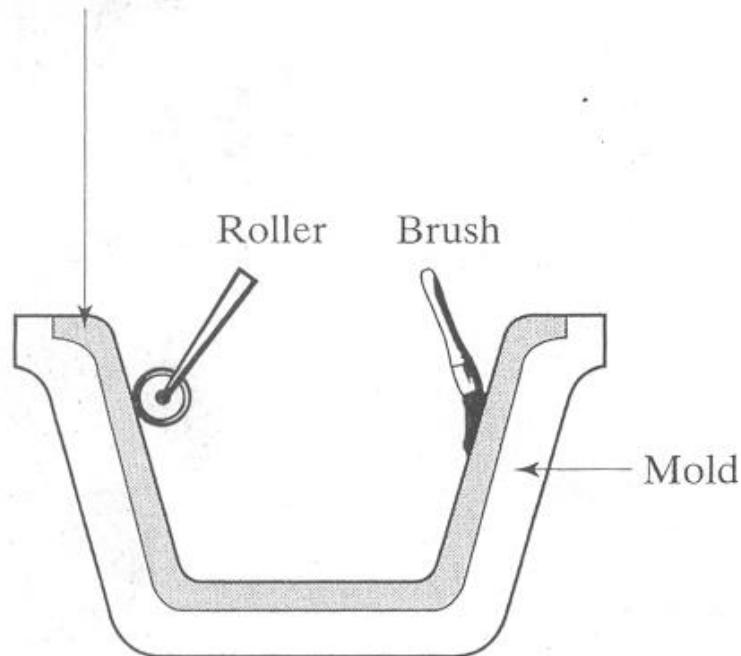
Plásticos reforçados são um tipo de compósito, e são um dos mais importantes materiais de engenharia. Podem ser manipulados para satisfazer determinados requisitos de projeto, tais como, elevada relação resistência-peso, rigidez-peso e resistência a fluência. Por causa da sua estrutura única, os plásticos reforçados necessitam de métodos especiais para transformá-los em produtos. Os cuidados necessários e as várias etapas envolvidas na fabricação de plásticos reforçados encarecem a fabricação, e geralmente, eles não são competitivos com os materiais tradicionais. Esta situação necessitou de análise cuidadosa e integração do projeto e manufatura (engenharia concorrente) para minimizar custos e manter a integridade dos produtos e taxa de produção. Um aspecto importante relacionado a segurança e poluição se refere a poeira gerada durante o processamento, sabe-se que fibras de carbono permanecem por longo período no ambiente de trabalho.

O reforço pode ser feito por fibras cortadas, tecido, malha ou fibras retorcidas.

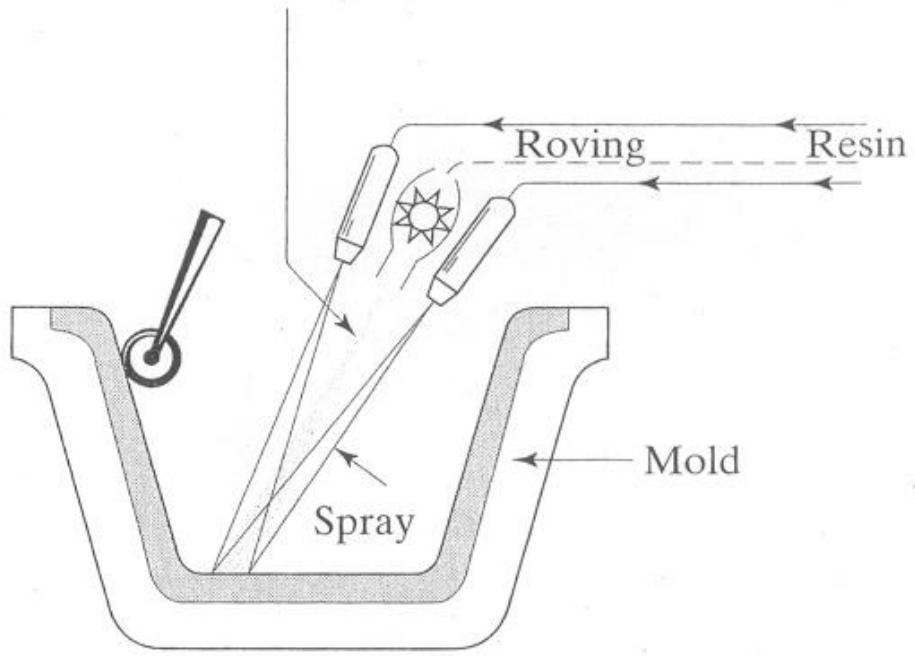
Para obter uma boa junção entre as fibras de reforço e a matriz de polímero, bem como proteger-las durante o processamento, as fibras sofrem um tratamento superficial por impregnação. Fibras curtas são normalmente adicionadas em termoplásticos em moldagem por injeção; fibras pulverizadas podem ser usadas na moldagem por injeção com reação, fibras longas são usadas principalmente na moldagem por compressão.

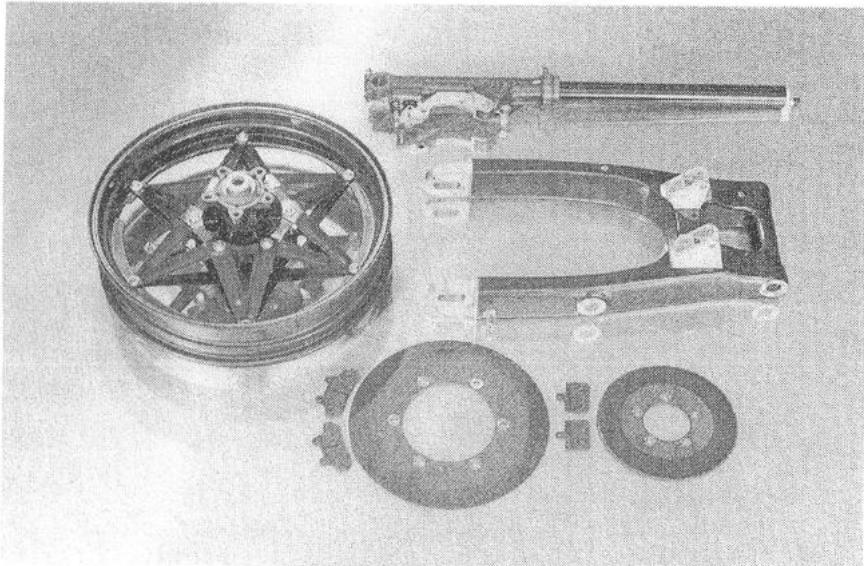
Laminação Manual de Peças

(a) Lay-up of resin and reinforcement

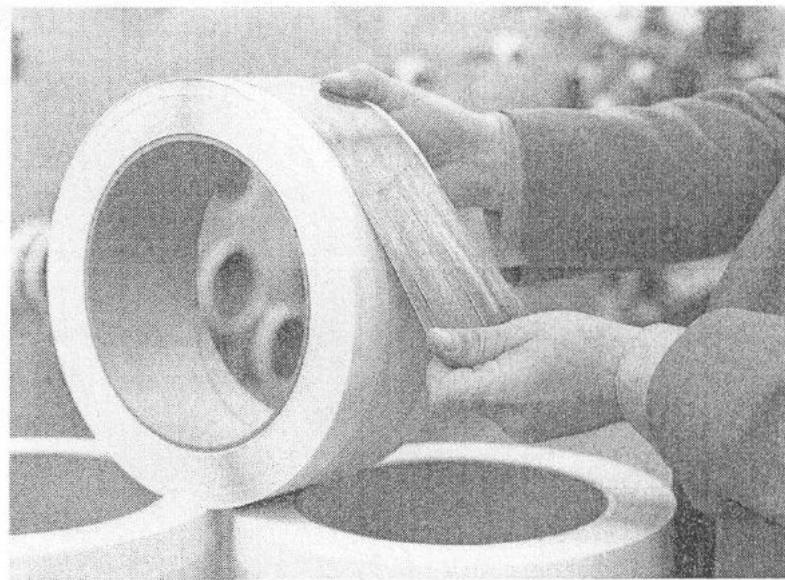
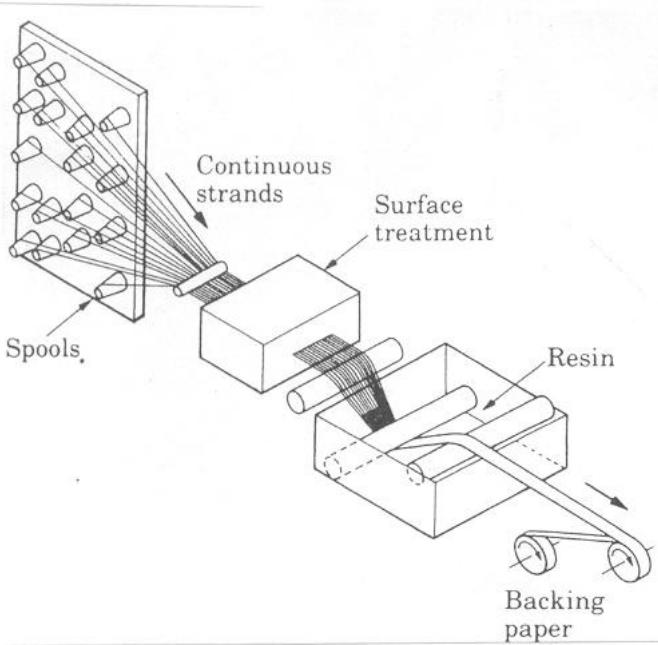


(b) Chopped glass roving



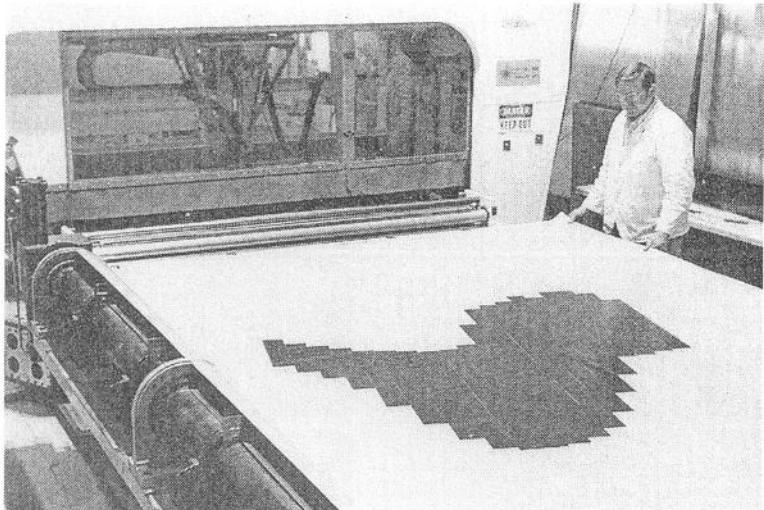


Peças de Fibra de Carbono



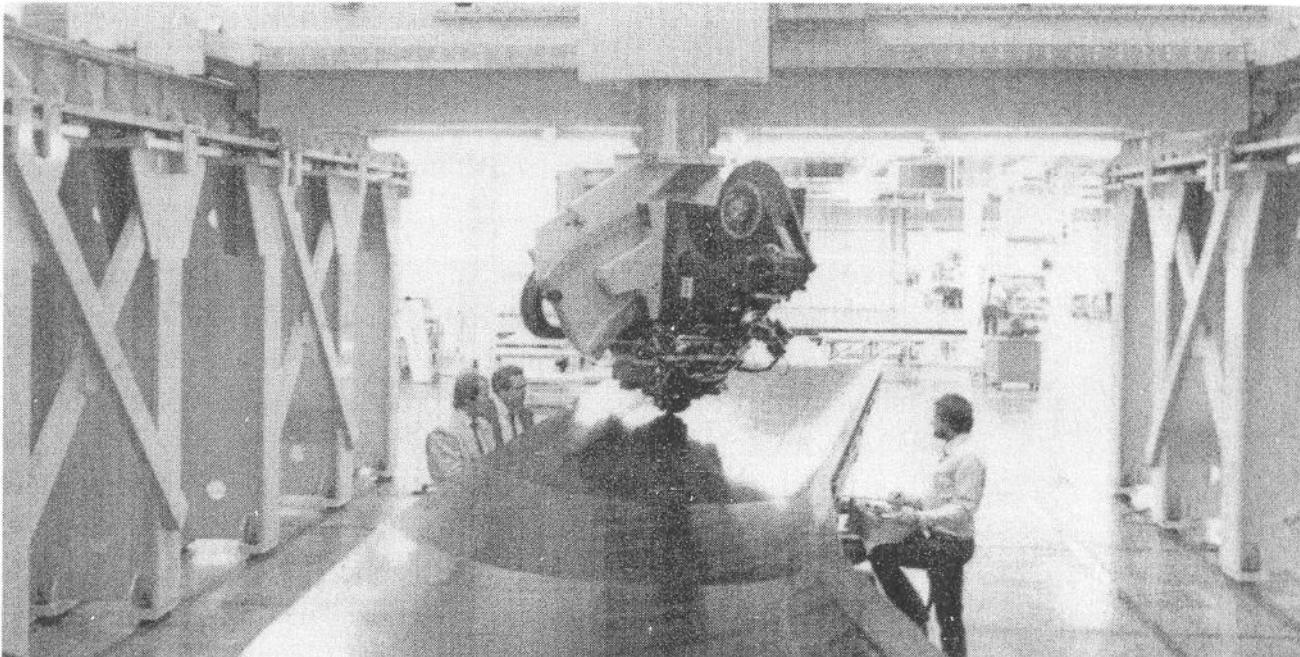
Fitas Pré-Impregnadas

(a)



Laminação Automática de Peças de Fibra de Carbono (CNC)

(b)



Exercícios Aula L3

1. Um furo de diâmetro $\Phi 20$ mm e profundidade 100 mm é produzido por usinagem eletroquímica. Alta taxa de produção é mais importante que o acabamento superficial. Estime a máxima corrente e o tempo de execução desta operação.

RESOLUÇÃO

Características de processo da usinagem eletroquímica:

Voltagem – 5 a 25 V corrente contínua

Densidade de Corrente – 1,5 a 8 A/mm²

Velocidade de Avanço – 2,5 a 12 mm/min

Amperagem Disponível – 5 a 40.000 A

Para alta taxa de produção devemos utilizar a máxima densidade de corrente disponível, ou seja: $I_{esp}=8\text{ A/mm}^2$

Área a ser usinada: $S= \pi \times D^2/4 = \pi \times 20^2/4= 314,2\text{ mm}^2$

Assim a máxima corrente: $I_{max}= S \times I_{esp} = 8 \times 314,2= 2513,6\text{ A}$

Essa corrente esta no patamar inferior das correntes disponíveis nas máquinas de mercado $5 < 2513,6 < 40.000$ e assim é possível de ser obtida.

Com a máxima intensidade de corrente deve-se conseguir a maior velocidade de avanço, ou seja 12 mm/min

Tempo de execução= profundidade/avanço= $100/12= 8,3\text{ min.}$

Observação: Este tempo é alto se comparado a usinagem convencional com brocas de aço rápido, por exemplo, mas pode ser muito pequeno se a dureza do material for tal que o aço rápido não consegue usiná-lo

2. Um furo de diâmetro $\Phi 20$ mm e profundidade 100 mm é produzido por uma máquina de eletroerosão. Alta taxa de produção é mais importante que o acabamento superficial. Estime o tempo de execução desta operação.

RESOLUÇÃO

Características de processo da eletroerosão:

Freqüência das descargas – 50 Hz a 500 kHz

Voltagem – 50 a 380 V

Corrente – 0,1 a 500 A

Volume removido por descarga – 10^{-7} a 10^{-5} mm³

Taxa de remoção de material – 6 a 800 mm³/hr/A

Exercício 2

Como se deseja alta taxa de produção devemos utilizar a máxima taxa de remoção de material em função da corrente , ou seja $T_{rA} = 800 \text{ mm}^3/\text{hr}/\text{A}$

Utilizando-se a máquina com a maior amperagem disponível, ou seja 500 A, chega-se a taxa volumétrica $T_{rv} = (800/60) \times 500 = 666,7 \text{ mm}^3/\text{min}$

Volume a ser removido na usinagem do furo $V = \text{área} \times \text{profundidade} = \pi \times 20^2/4 \times 100 = 31.420 \text{ mm}^3$

Tempo de execução= volume/taxa volumétrica= $31.420/666,7 = 47,1 \text{ min}$

Este tempo é superior ao da usinagem química do Exercício 1 e alto se comparado a usinagem convencional com brocas de aço rápido, por exemplo, mas pode ser muito pequeno se a dureza do material for tal que o aço rápido não consegue usiná-lo

4. Uma injetora de plástico de 250 ton deve ser usada para fabricar engrenagens cilíndricas de 125 mm de diâmetro e 12 mm de espessura. As engrenagens têm perfis de dentes pequenos. Quantas engrenagens podem ser injetadas em um molde? A espessura da engrenagem influencia a resposta?

RESOLUÇÃO

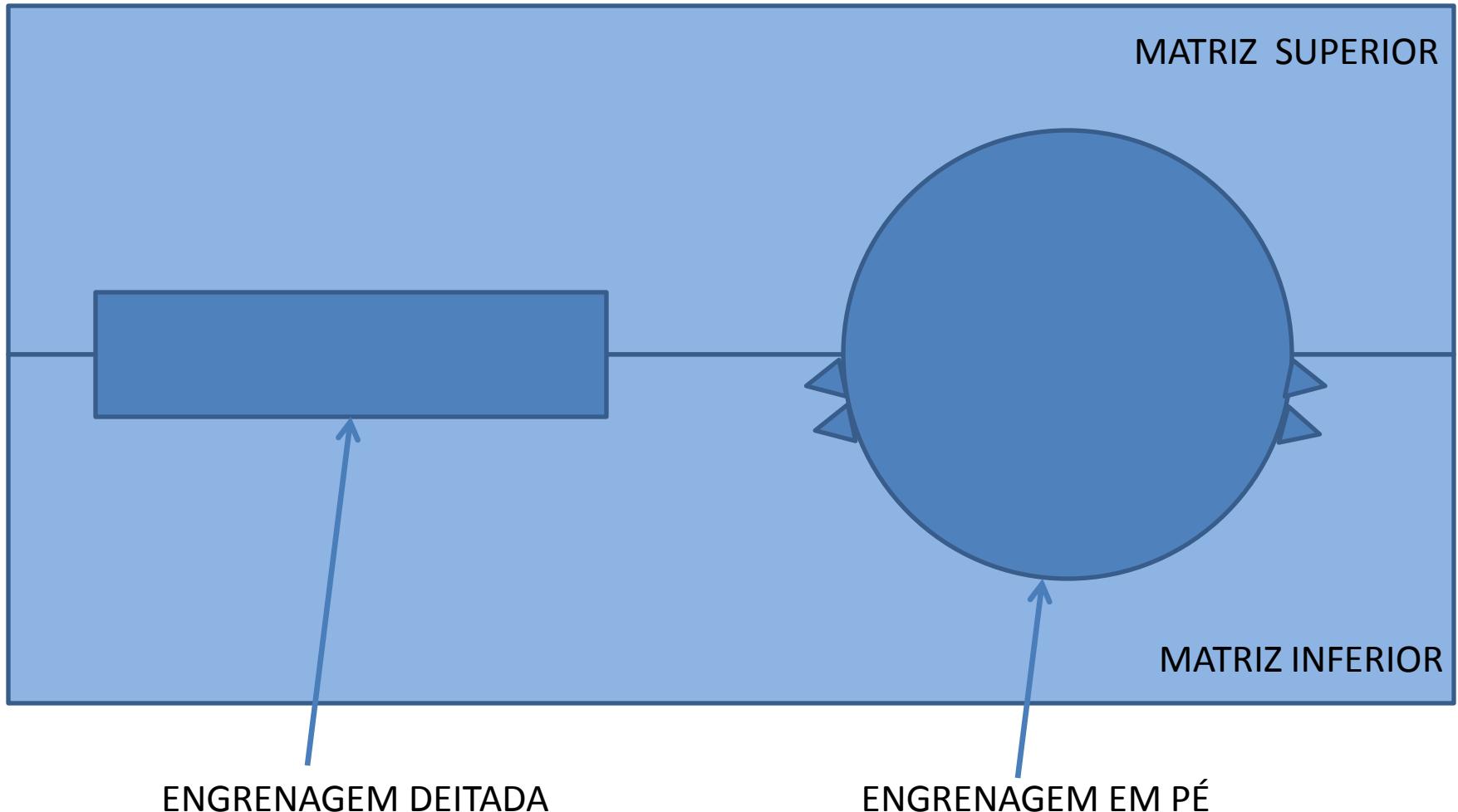
Características do processo de injeção (normais):

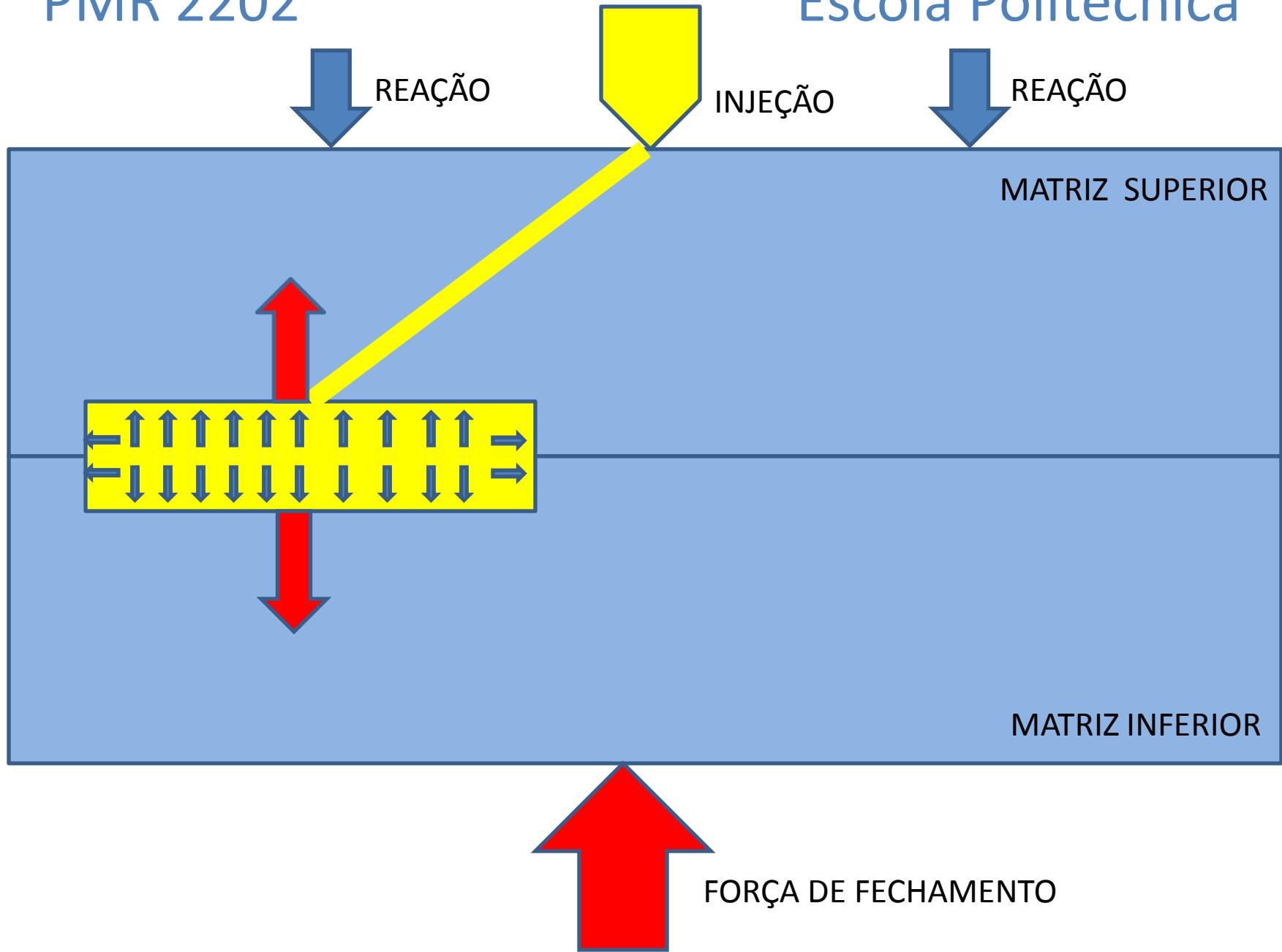
Pressão de injeção- 70 a 200MPa

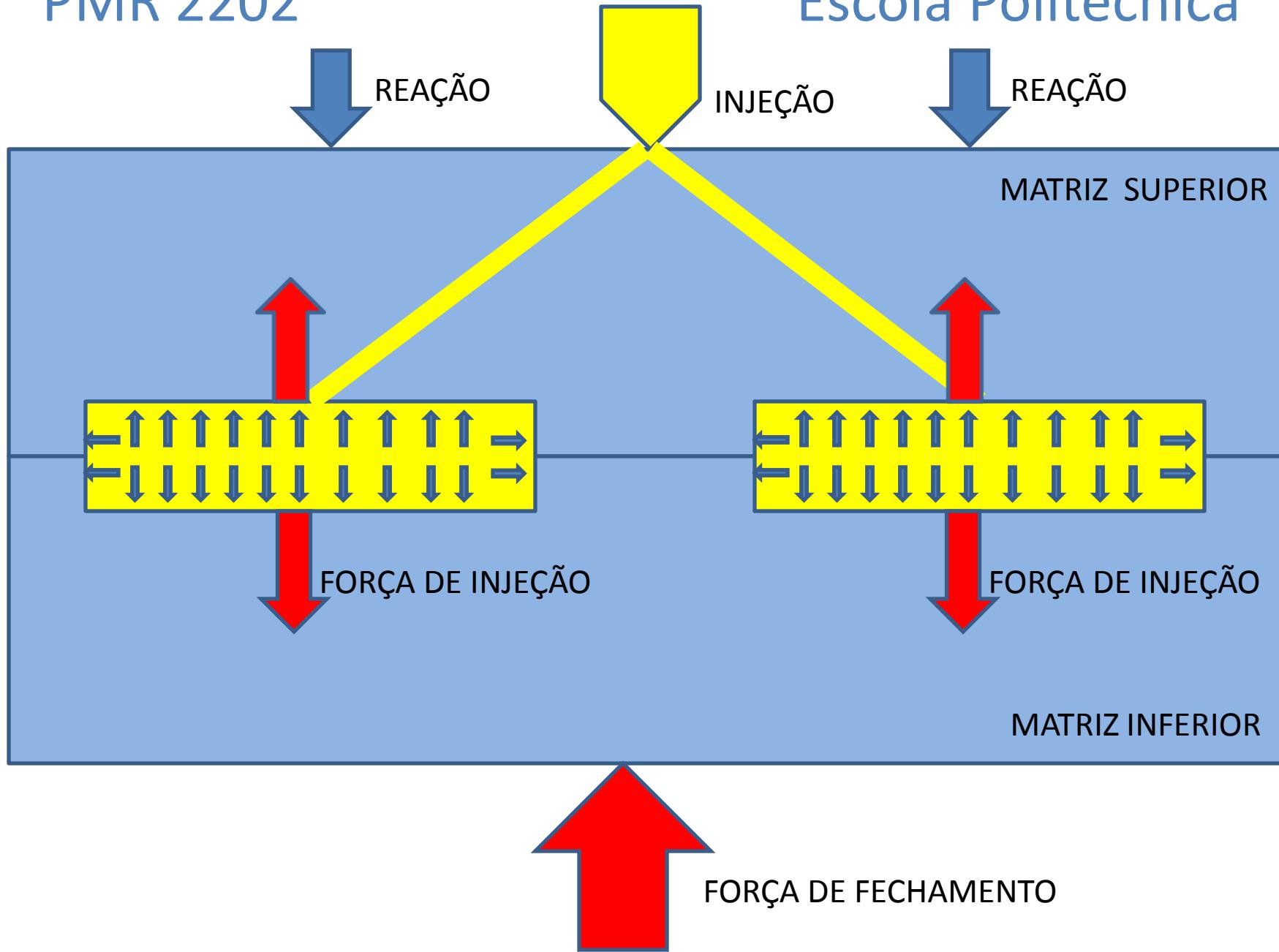
Capacidade de Moldagem- 100 a 600 g (peso)

Força de fechamento- 100 a 250 ton

POSICIONAMENTO DA ENGRANAGEM E ABERTURA DA MATRIZ







Devemos sempre tentar injetar com a mínima pressão de injeção (injetoras menores e normalmente mais baratas)

Quanto menor o detalhe da peça, maior a pressão necessária para que o plástico preencha todas as pequenas cavidades.

A engrenagem tem dentes pequenos, que são detalhes que exigem pressão de injeção maior que a mínima mas não necessariamente a máxima . Para facilitar o cálculo escolhemos pressão de injeção: $P_{inj} = 100 \text{ Mpa (N/mm}^2\text{)}$.

A área “projetada” da engrenagem: $S = \pi \times D^2/4 = \pi \times 125^2/4 = 12.272 \text{ mm}^2$

Força de fechamento para uma engrenagem: $F = \text{pressão de injeção} \times \text{área projetada} = P_{inj} \times S = 100 \times 12.272 = 1.227.200 \text{ N} = 122,7 \text{ ton}$

Nº de engrenagens= Força de fechamento da Injetora /Força de fechamento para uma engrenagem= $250/122,7 = 2,03$

É possível injetar 2 engrenagens sendo a força de fechamento o fator limitante.

Se adicionalmente, no exercício, fosse especificada a capacidade de moldagem em gramas (peso), deveria ser verificado se o peso das 2 engrenagens não ultrapassaria este limite.