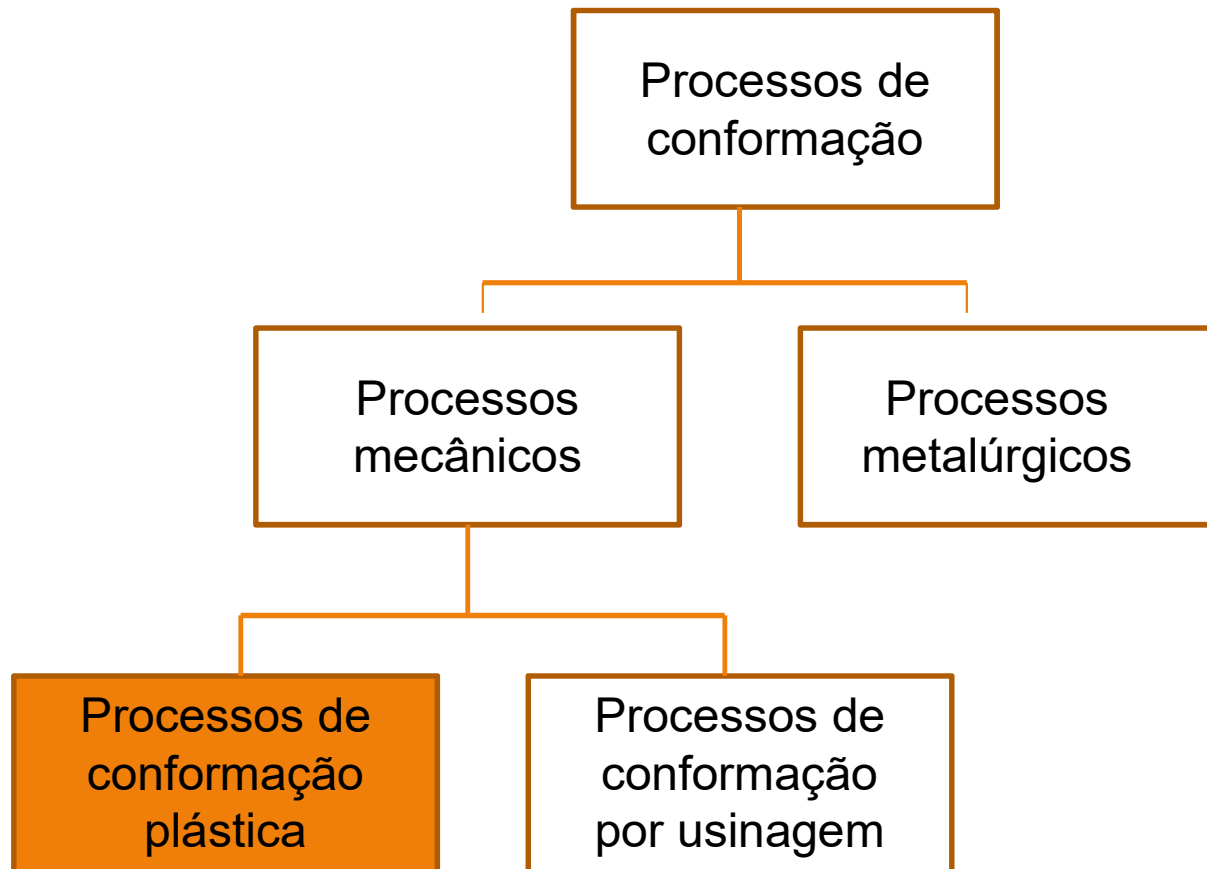




06

CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS MATERIAIS

Engenharia Mecânica
Prof. Luis Fernando Maffei



Principais processos de conformação plástica dos metais

- Laminação
- Extrusão
- Trefilação
- Estampagem
- Forjamento

Processos de conformação plástica dos metais

Classificação quanto ao tipo de esforço predominante:

- processos por compressão direta;

Nos processos de *conformação por compressão direta*, predomina a solitação externa por compressão sobre a peça de trabalho. Nesse grupo podem ser classificados os processos de forjamento (livre e em matriz) e laminação (plana e de perfis).

Processos de conformação plástica dos metais

Classificação quanto ao tipo de esforço predominante:

- processos por compressão indireta;

Nos processos de *conformação por compressão indireta*, as forças externas aplicadas sobre a peça podem ser tanto de tração como de compressão. Porém as que efetivamente provocam a conformação plástica do metal são de compressão indireta, forças desenvolvidas pela reação da matriz sobre a peça. Os principais processos que se enquadram nesse grupo são a trefilação e a extrusão, de tubos e fios, e a estampagem profunda (embutimento) de chapas (parcial). No processo de trefilação a solicitação externa é de tração e nos processos de extrusão e embutimento de chapas, de compressão. Nesse último processo, porém, somente parte da peça (a aba) é submetida a esse tipo de esforço.

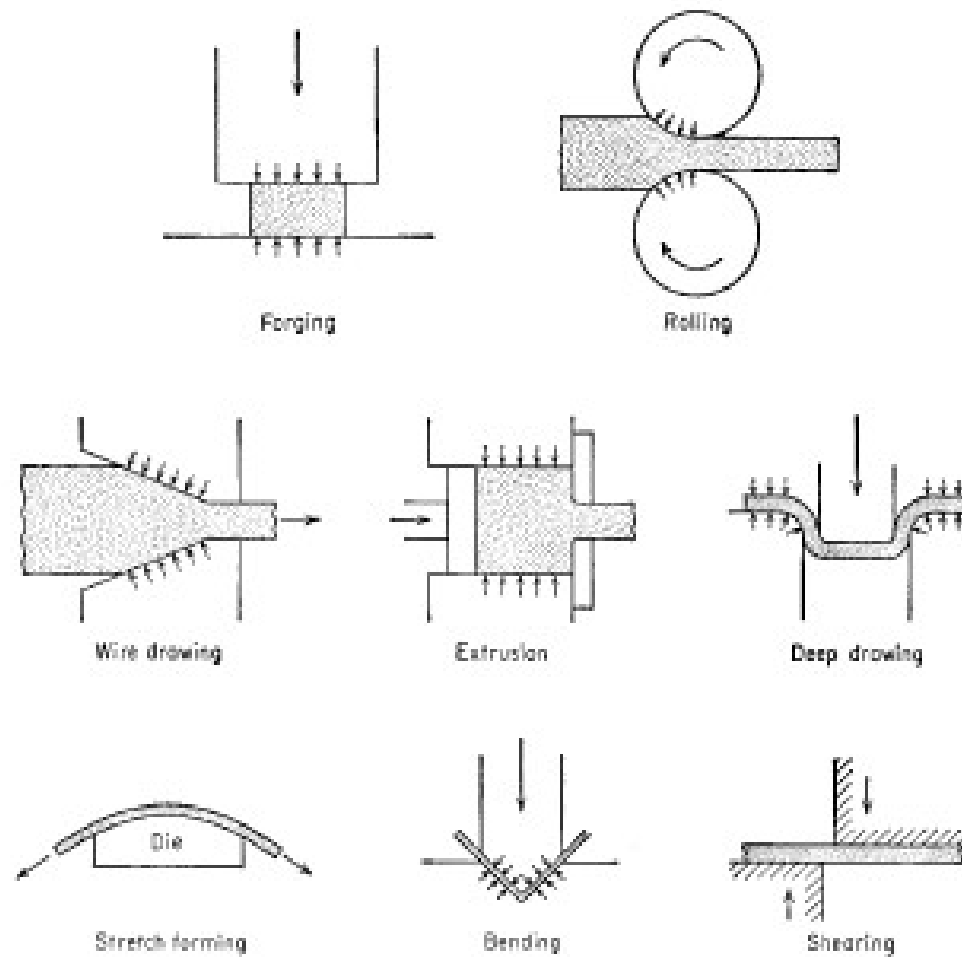


Figure 15-1 Typical forming operations.

Processos de conformação plástica dos metais

Classificação quanto à temperatura de trabalho;

a quente

a frio

Processos de conformação plástica dos metais

Classificação quanto à temperatura de trabalho;

a quente

a frio

Recristalização

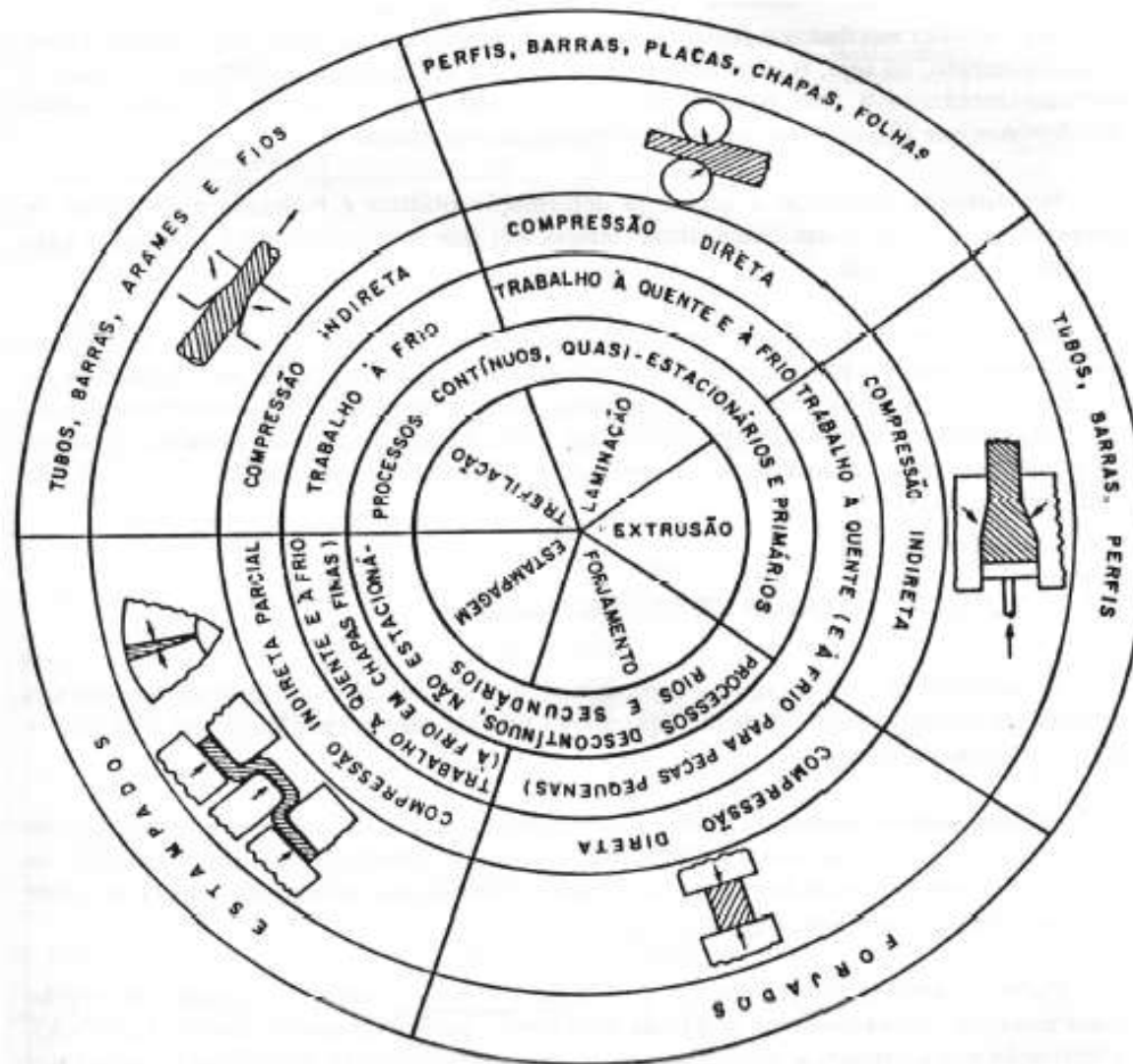
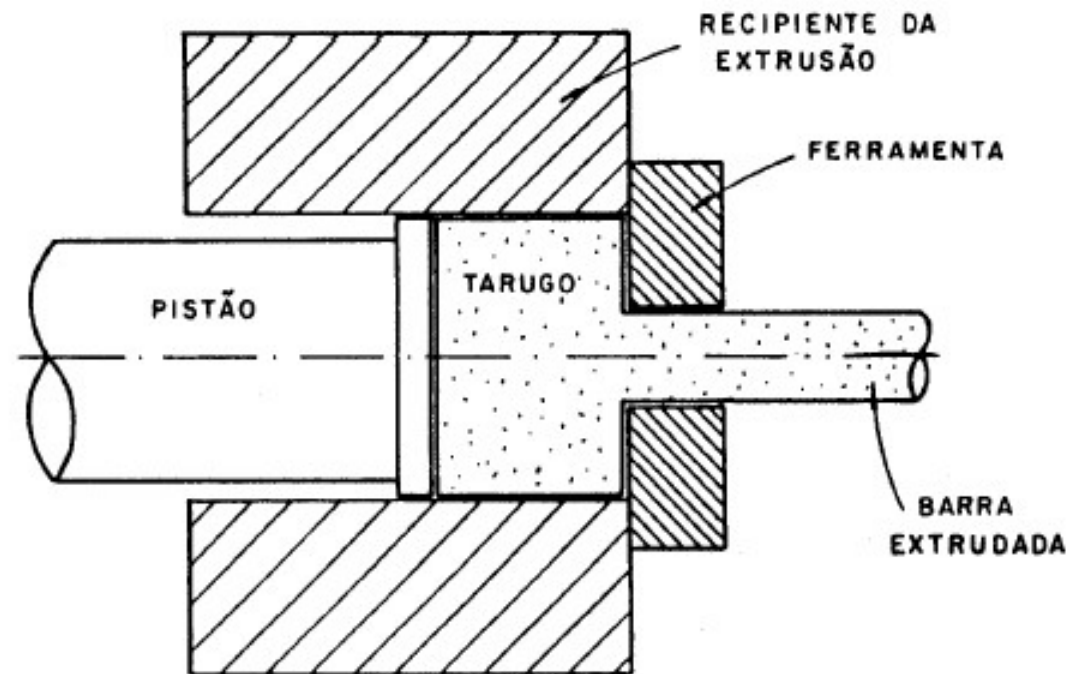


Figura 1.1 – Esquema simplificado da classificação dos processos de conformação.
 [Desenho: BRESCIANI, 1991]

Extrusão

A extrusão é um processo de conformação plástica que consiste em fazer passar um tarugo ou lingote (de secção circular), colocado dentro de um recipiente, pela abertura existente no meio de uma ferramenta, colocada na extremidade do recipiente, por meio da ação de compressão de um pistão acionado pneumaticamente ou hidraulicamente.

Extrusão



Extrusão

A extrusão é realizada normalmente a temperatura de trabalho acima da temperatura de recristalização do material, ou seja, **a quente**, portanto provoca deformação plástica sem o efeito do encruamento.

Portanto, normalmente, o processo de extrusão visa a produção de perfis metálicos com propriedades mecânicas controladas e de comprimento limitado pelo volume do lingote inicial.

Extrusão

Lingote → proveniente de um processo de fundição

Tarugo → proveniente de um processo de laminação

Extrusão

Como a estrutura resultante da extrusão encontra-se normalmente na condição recristalizada, é possível aplicar ao metal extrudado intensos processos de deformação a frio, como a trefilação.

Extrusão

Para os metais não ferrosos comuns, é usual a utilização, ao invés do processo de laminação, do processo de extrusão para a obtenção dos perfis de forma variada, apesar da limitação do comprimento do produto obtido.

Vantagens:

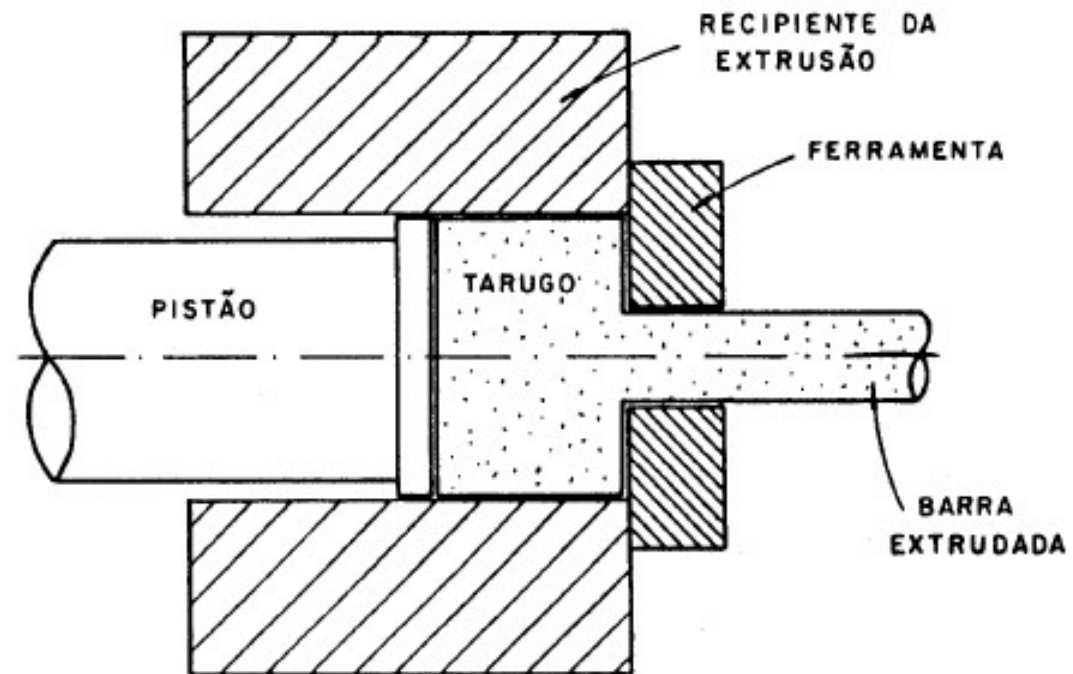
- produto mais homogêneo, estrutural e dimensionalmente, em função da temperatura de trabalho mais constante;
- produto menos atacado por oxidação, em função do pequeno contato do tarugo, ou lingote, com o meio ambiente durante o processamento.

Extrusão

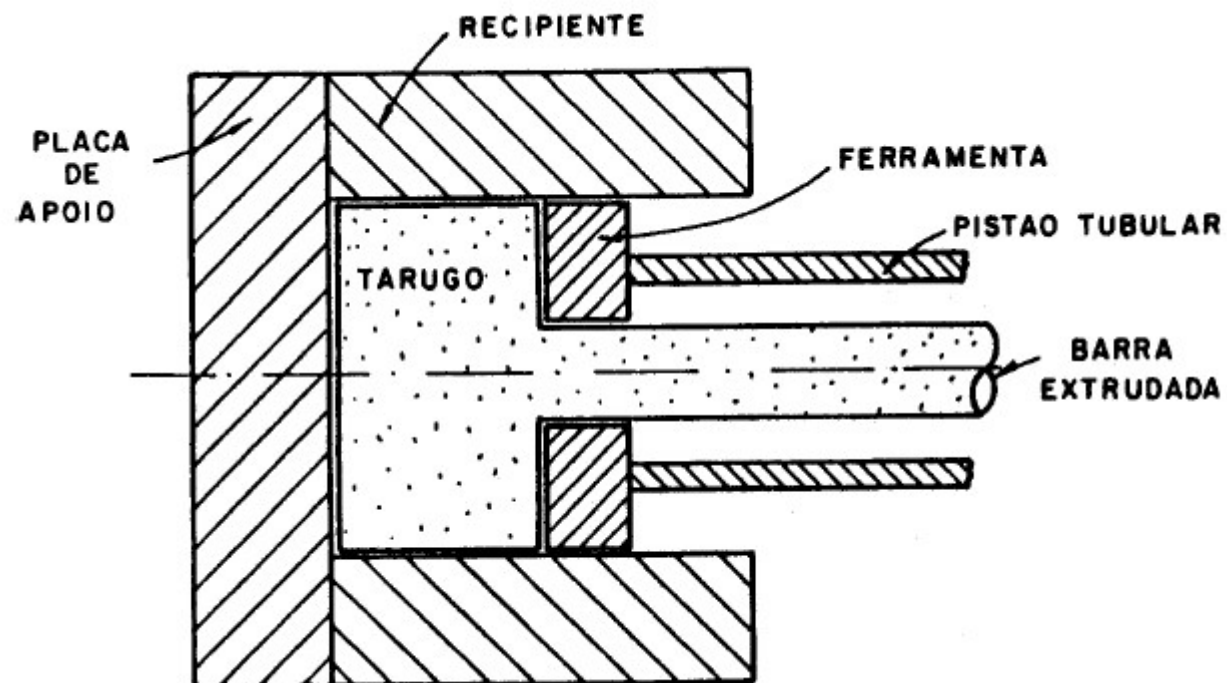
É um processo de compressão indireta, pois são as paredes internas da ferramenta que provocam a deformação plástica, devido à reação à pressão do pistão.

Pode ser classificada em extrusão direta e inversa.

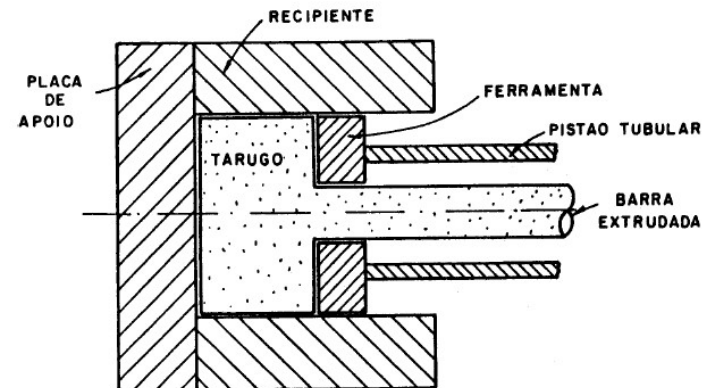
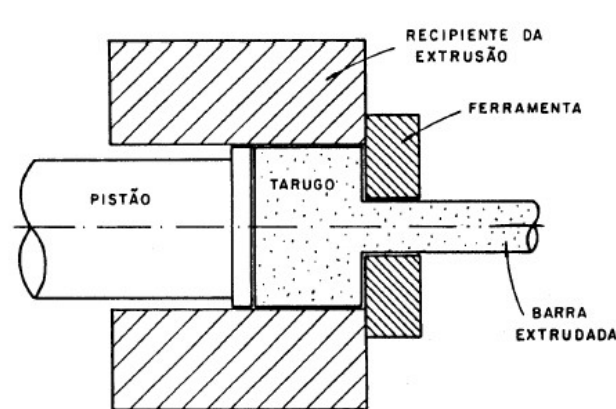
Extrusão direta



Extrusão inversa



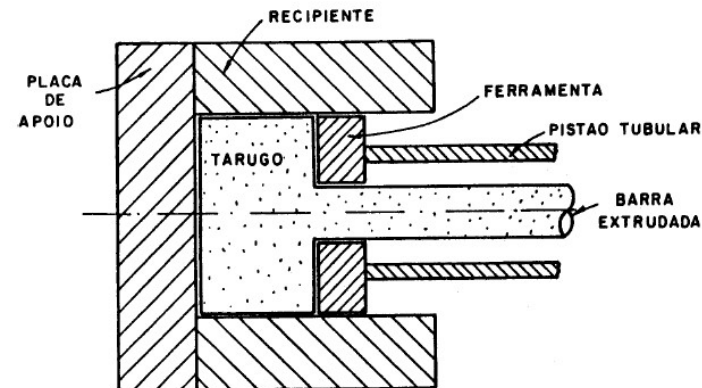
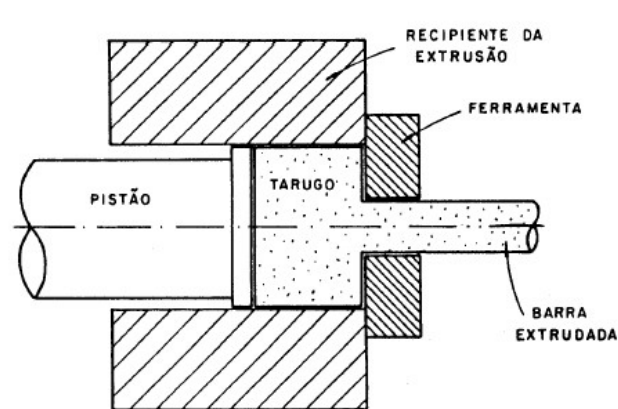
Extrusão direta x inversa



Na extrusão direta, o pistão age sobre o tarugo forçando a sua passagem pela ferramenta, colocada no lado oposto do recipiente, e provocando uma intensa ação de atrito entre o tarugo e o recipiente de extrusão

Na extrusão inversa, a matriz é montada em um pistão oco, ou pistão constituído por hastes. Quando o pistão avança no interior do recipiente, o metal flui através do orifício da matriz, em sentido oposto ao movimento do pistão. Há menor atrito material/recipiente

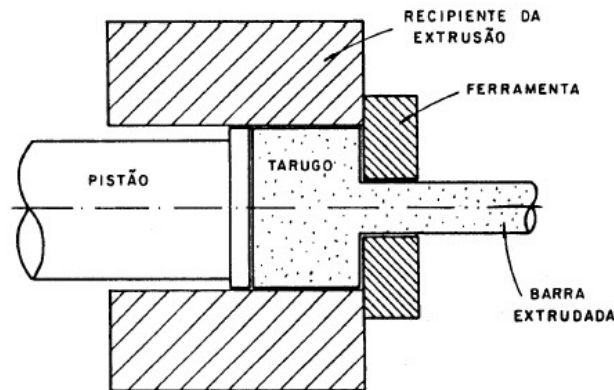
Extrusão direta x inversa



- equipamento mais simples (não exige um pistão oco – que tem resistência limitada à flambagem);
- mais utilizado;
- necessário aplicação de lubrificantes resistentes a temperaturas elevadas;

- exige menor esforço para a deformação;
- produto mais homogêneo, sem defeitos típicos do final do processo da extrusão direta;

Extrusão direta

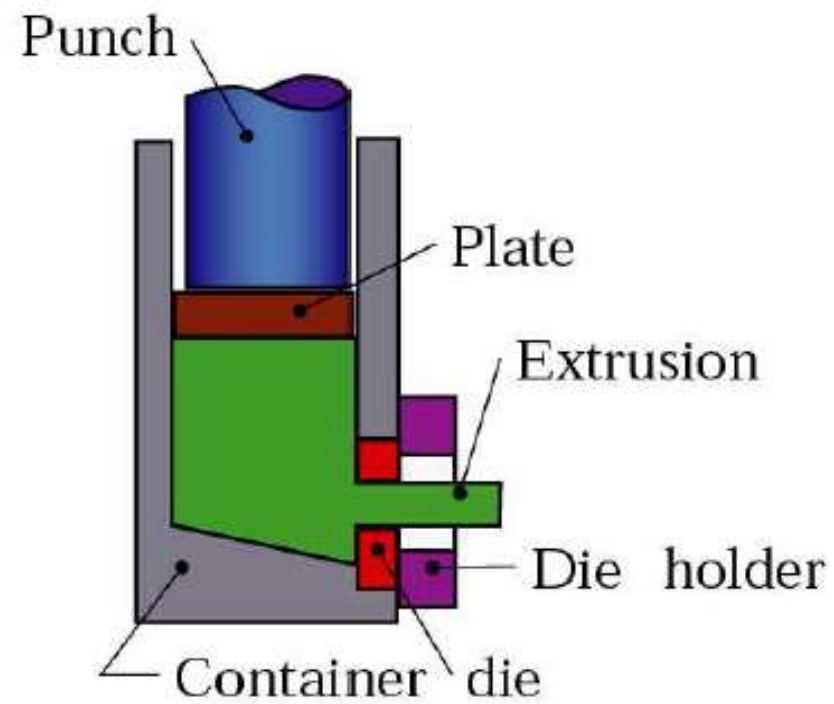


- pode provocar aparecimento de defeitos, causados pelo atrito na superfície do produto, como bolhas e escamas, provenientes do desalinhamento entre pistão e recipiente, má distribuição do lubrificante, superfície irregular do recipiente.

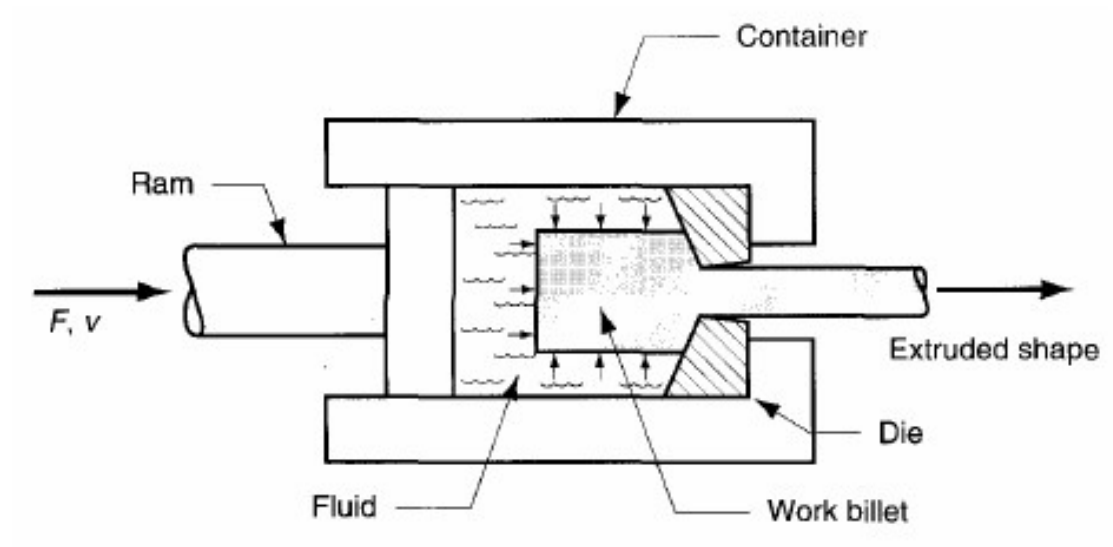


Para eliminar estes inconvenientes, utiliza-se o processo de extrusão direta sem lubrificante, mas com um disco de diâmetro menor que o do recipiente. Forma-se, neste caso, uma casca de metal não-extrudado e aderente ao recipiente, que deve ser retirada após ter sido completada a extrusão de um tarugo.

Extrusão lateral



Extrusão hidrostática



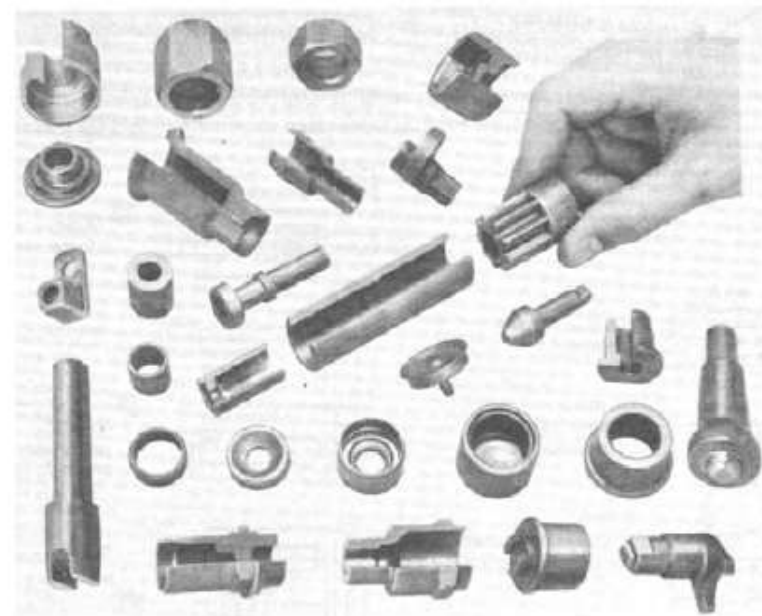
Extrusão a quente

- altas reduções de área em uma única etapa
- é o processo mais utilizado para produção de produtos longos como barras, tubos, perfis

METAL	TEMPERATURA °C
Chumbo	200 - 250
Alumínio e suas ligas	375 - 475
Cobre e suas ligas	650 - 950
Aços	875 - 1300
Ligas Refratárias	975 - 2200

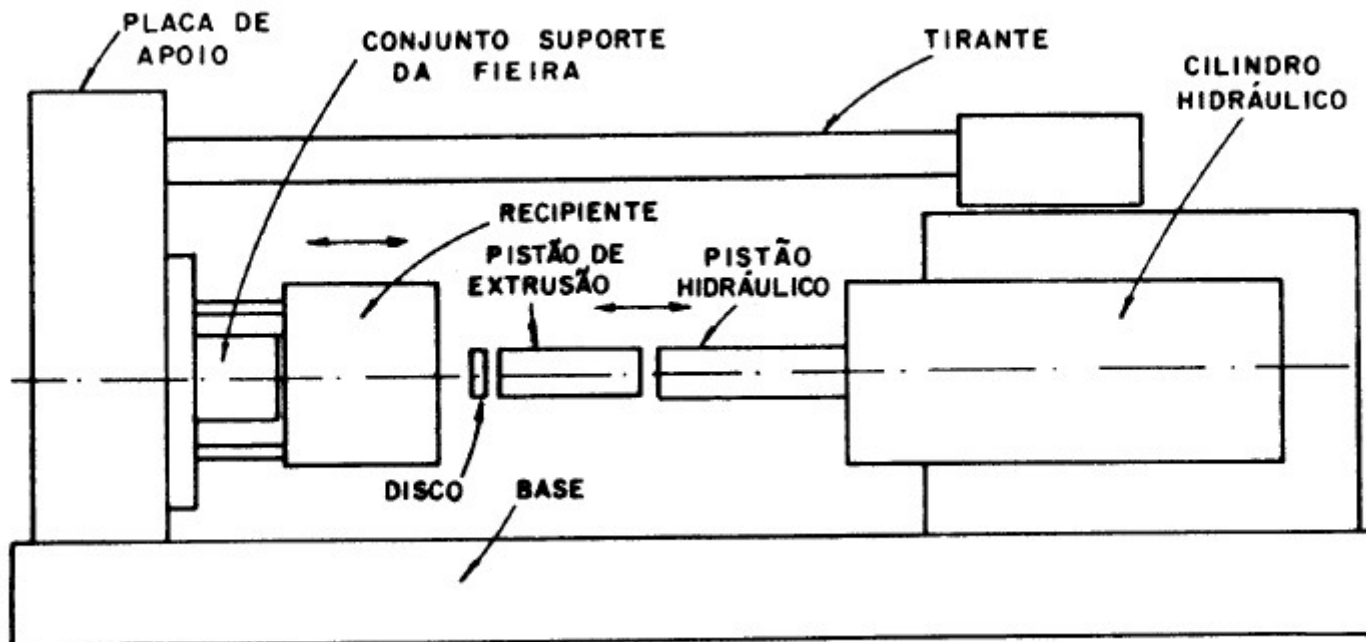
Extrusão a frio

- pequenas reduções de área em vários estágios
- obtenção de peças de precisão



Exemplos de peças obtidas por extrusão a frio

Equipamento



Equipamento

- prensa hidráulica horizontal, normalmente de 1000 a 8000 t.
- prensa: conjunto cilindro-pistão hidráulico em que o cilindro necessita de constante alimentação do líquido sob pressão para movimentar o pistão.

Equipamento

Acionamento: hidropneumático ou oleodinâmico

Acionamento **hidropneumático**: utiliza-se um acumulador de pressão variável (recipiente sob pressão contendo uma emulsão – água com pequena concentração de óleo – pressionado por ar).

Maior velocidade de extrusão.

Potência da bomba menor.

Equipamento

Acionamento: hidropneumático ou oleodinâmico

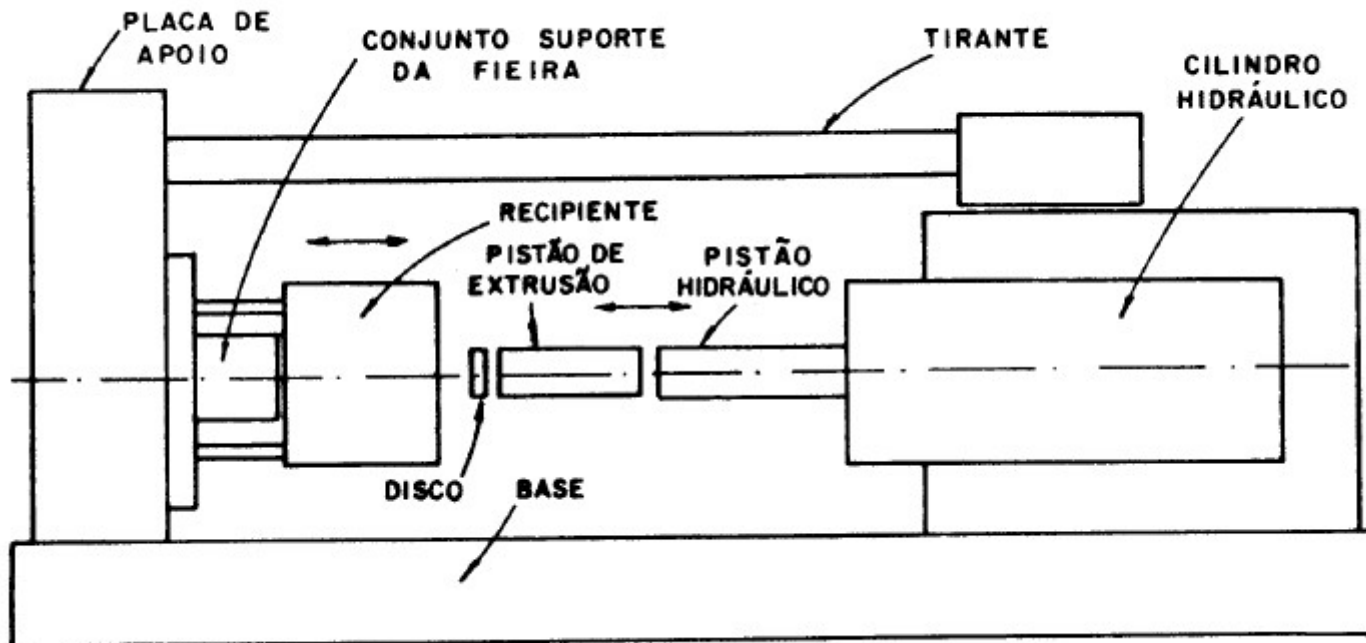
Acionamento **oleodinâmico**: o líquido utilizado é um óleo hidráulico, que é alimentado no cilindro através de uma bomba hidráulica, que mantém a velocidade do pistão necessária à extrusão.

Menor velocidade de extrusão.

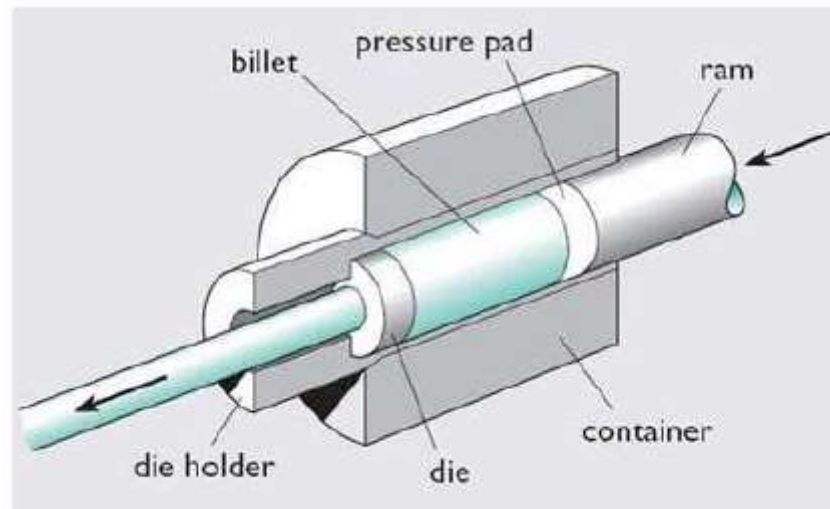
Necessária bomba com maior potência.

Mais adequado à extrusão de metais não ferrosos, que são mais sensíveis à variação de velocidade de extrusão, como alumínio

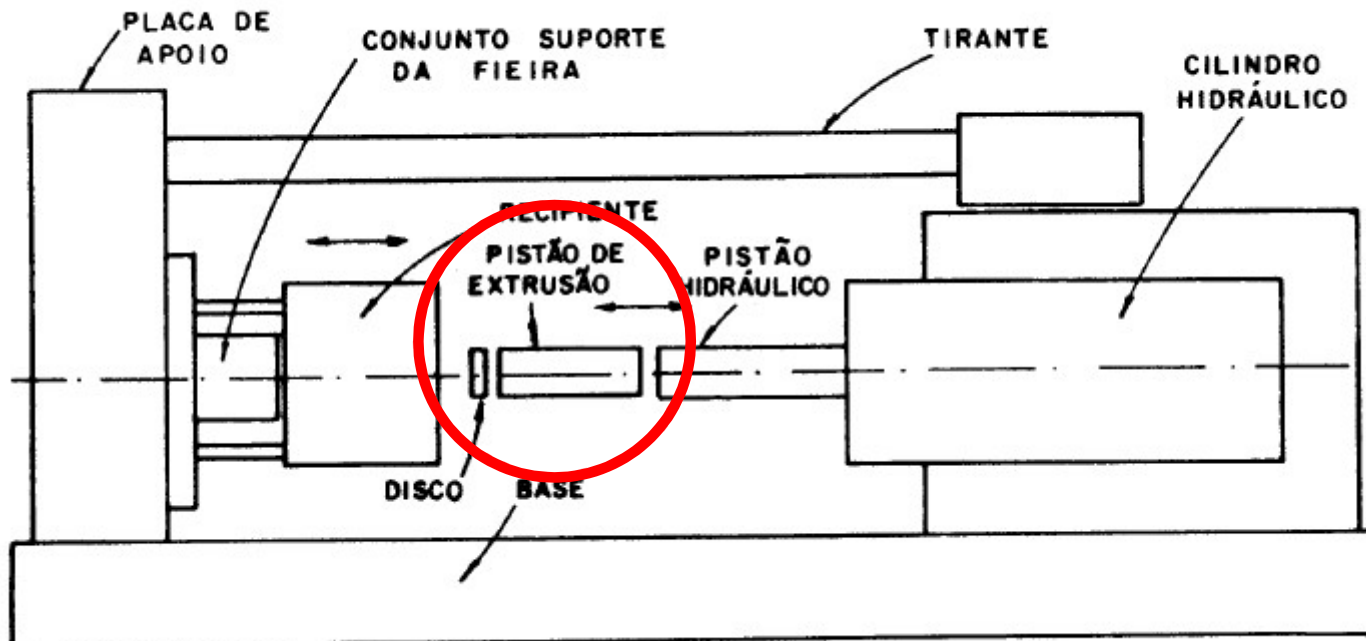
Equipamento



Equipamento

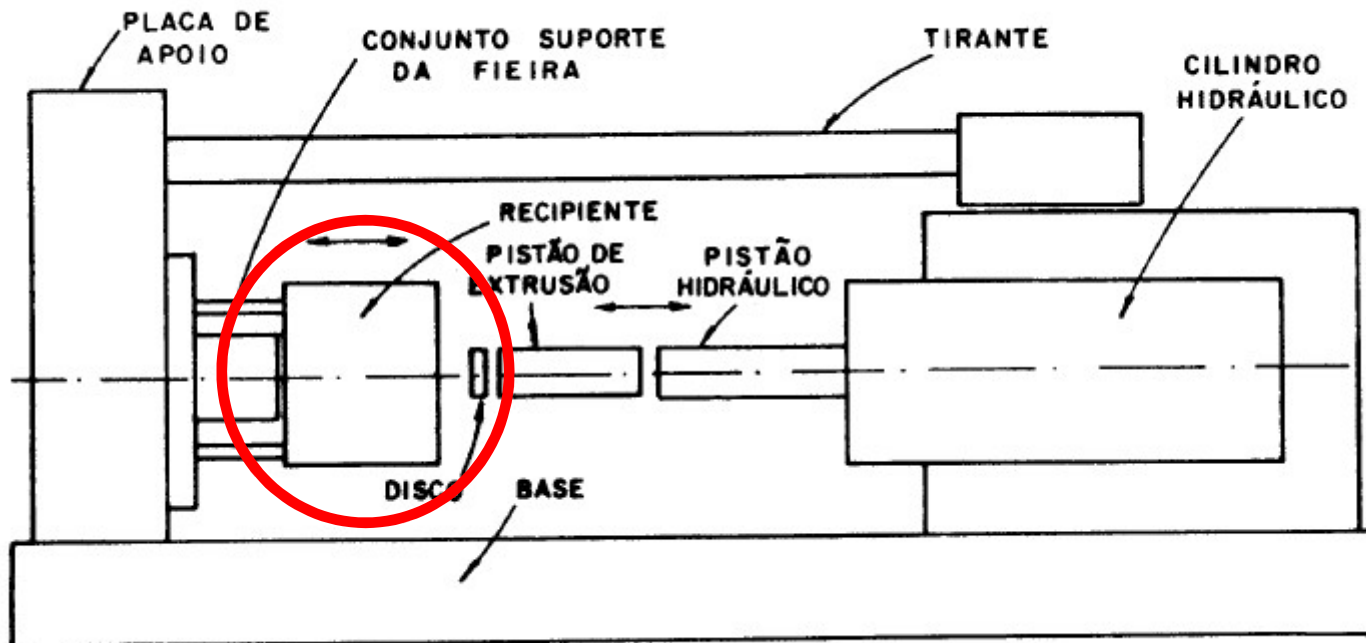


Equipamento



Pistão de extrusão: exposto a esforço mecânico e altas temperaturas – fabricado em aço liga. Normalmente são utilizados diferentes diâmetros em função das dimensões do tarugo utilizado e das peças extrudadas.

Equipamento



Recipiente: constituído por duas partes, sendo uma delas a camisa interna, que sofre ação da abrasão e altas temperaturas, sendo produzido por aços-liga.

Perfis extrudados



Perfis extrudados



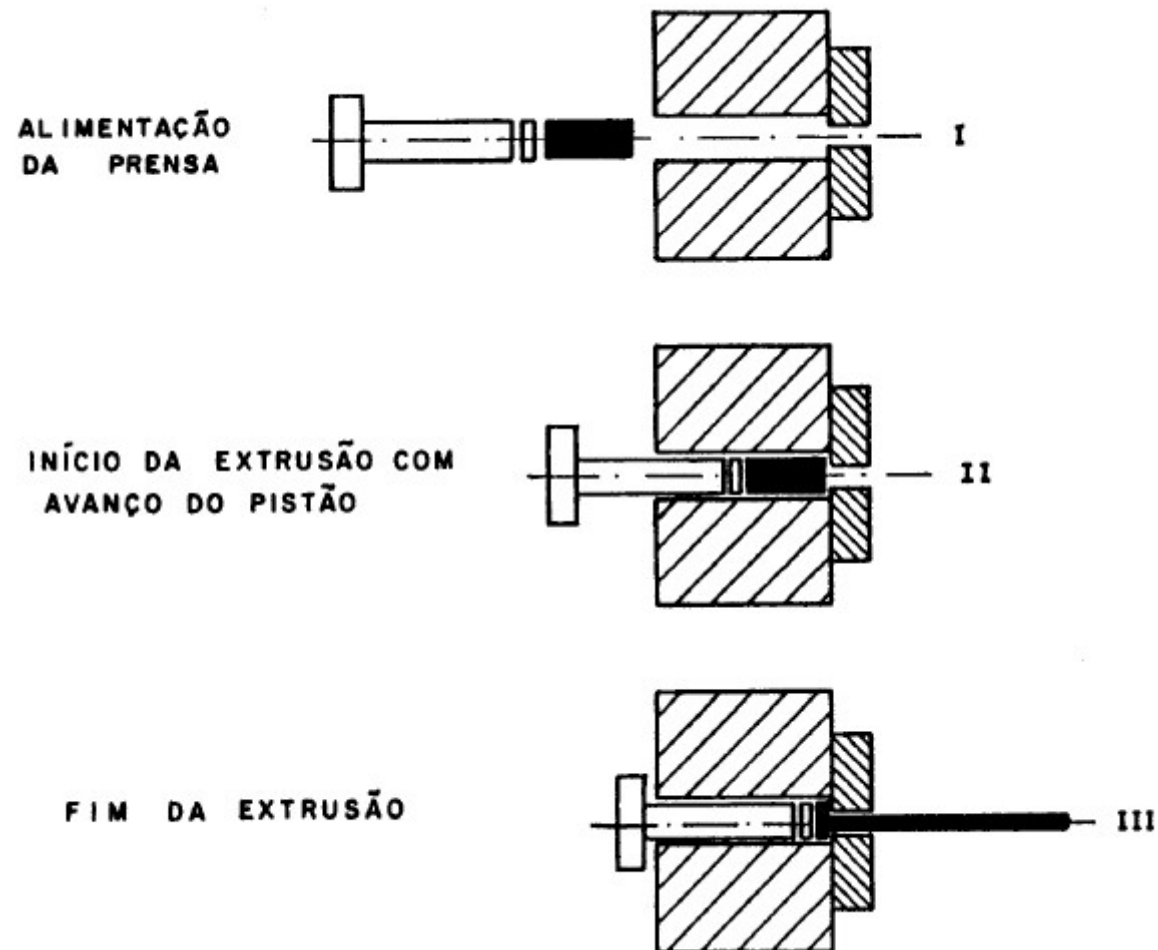
Matriz de extrusão



Matriz de extrusão

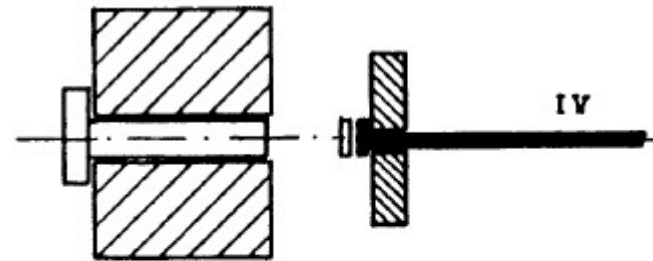
- Influencia diretamente na qualidade do produto
- Baixa rugosidade – superfície polida
- Alta resistência à abrasão
- Alta resistência mecânica
- Aplicação de revestimentos superficiais

Processo de extrusão

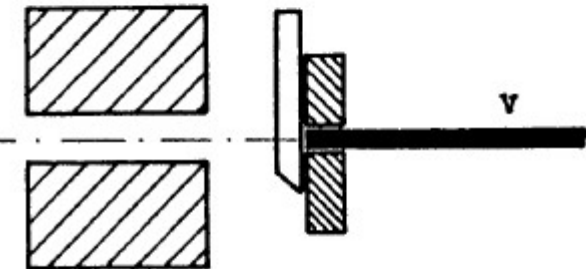
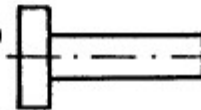


Processo de extrusão

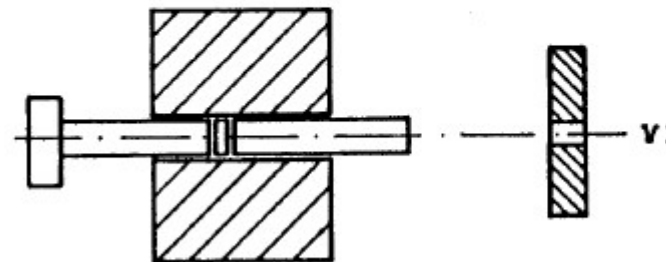
RETIRADA DA FERRAMENTA
E DO EXTRUDADO COM O
RESÍDUO DO TARUGO



RECUO DO PISTÃO
E CORTE DO
RESÍDUO DO TARUGO



RETIRADA DA CASCA DO
TARUGO COM AVANÇO DO
PUNÇÃO USANDO O DISCO
DE RASPAGEM

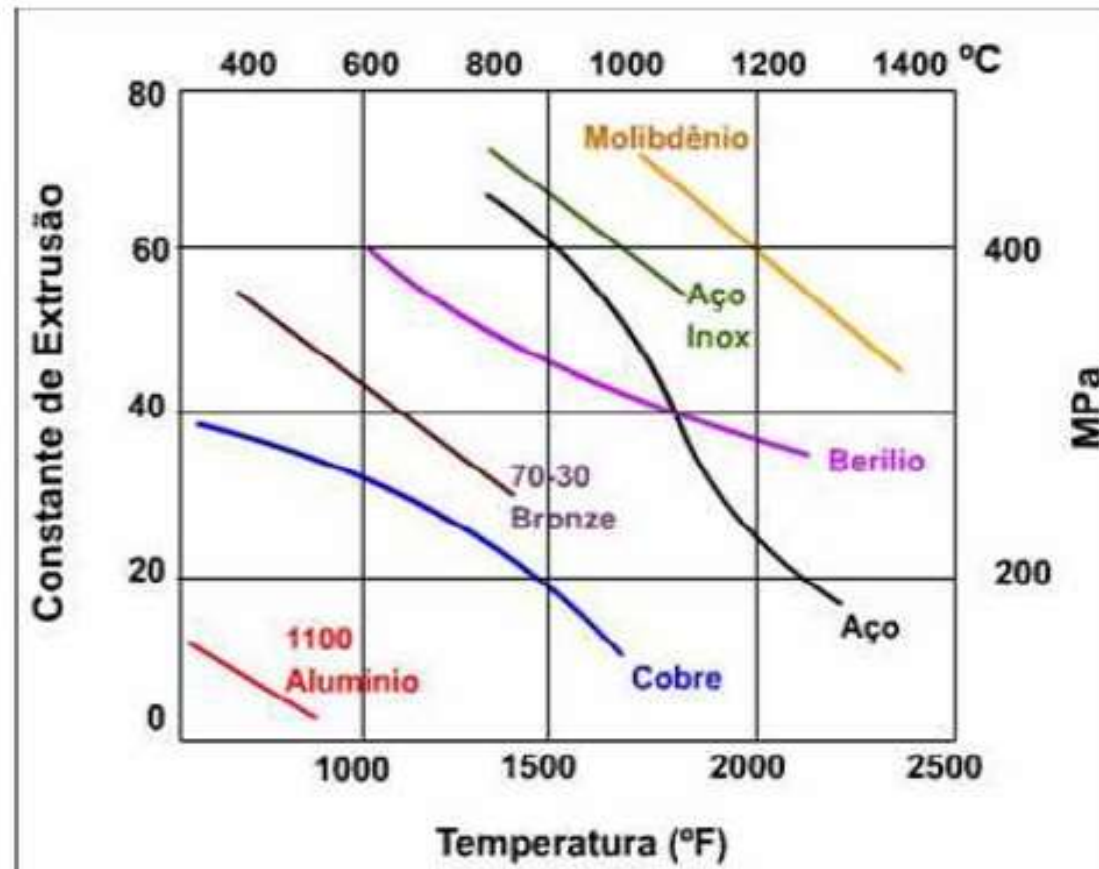


Força de extrusão

$$F = A_0 K \ln \left(\frac{A_0}{A_f} \right)$$

onde: F = Força; A_0 = Area Inicial; K = Constante de Extrusão e A_f = Area Final.

Força de extrusão



Exercício

- 1) Um tarugo circular de cobre com diâmetro de 200 mm é extrudado a 600 °C , produzindo uma barra com diâmetro de 60 mm. Calcule a força necessária para esta operação.

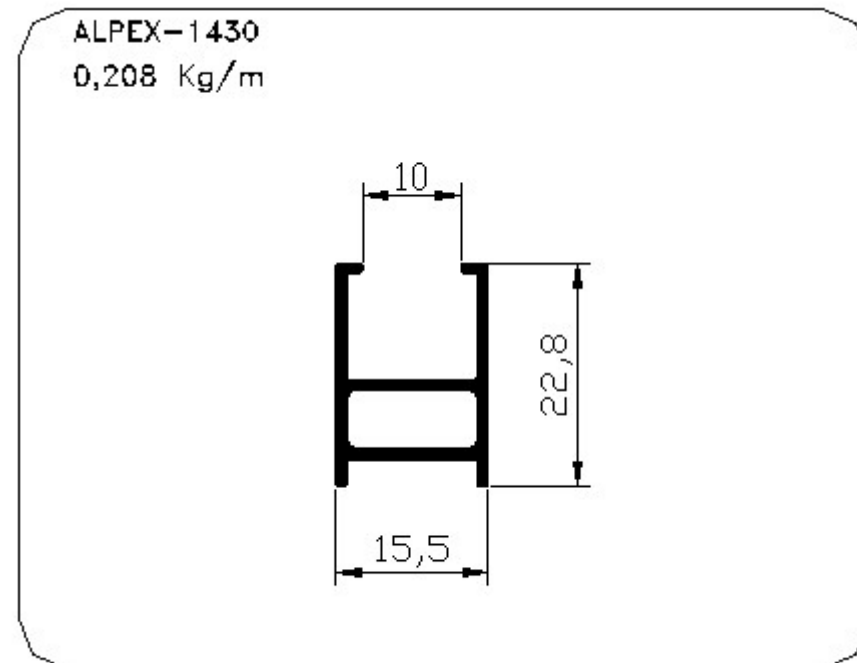
Exercício

- 2) Calcule a força de extrusão necessária caso no exemplo anterior fosse utilizado um tarugo de aço a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$

Exercício

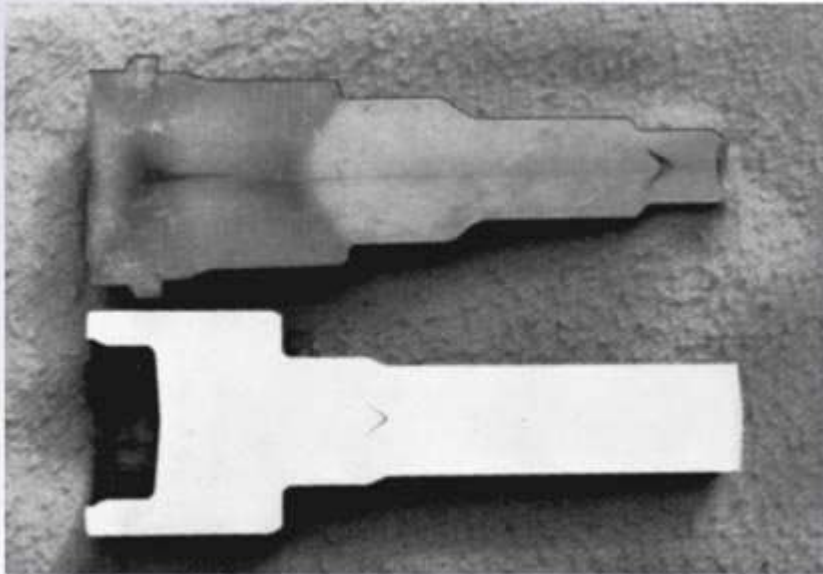
- 3) O perfil abaixo, de liga de alumínio 1010, é utilizado na montagem de janelas de correr. Considere que este produto extrudado é produzido a partir de um tarugo com diâmetro de 120 mm e que a matriz utilizada contém 4 cavidades .

Calcule a força de extrusão necessária quando o processo é realizado a 400 °C.
Espessura = 1,8 mm

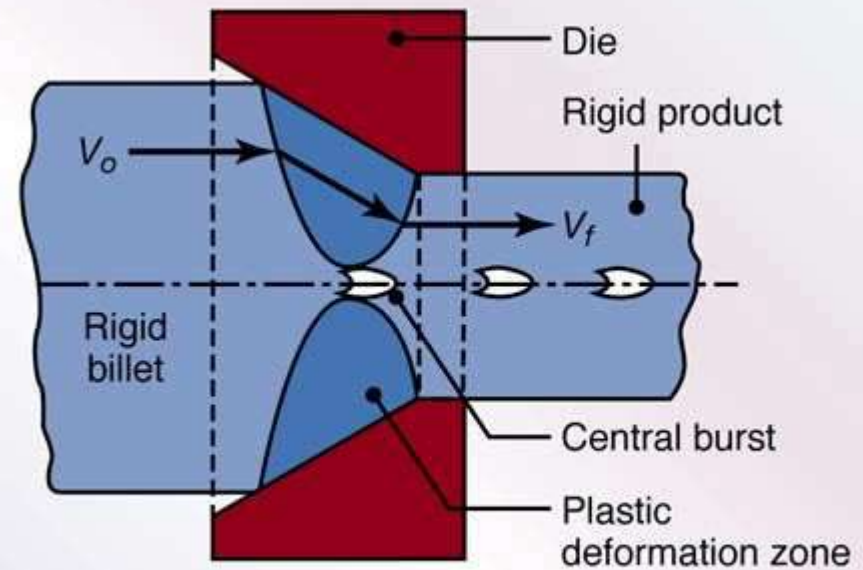


Defeitos em produtos extrudados

Trincas internas



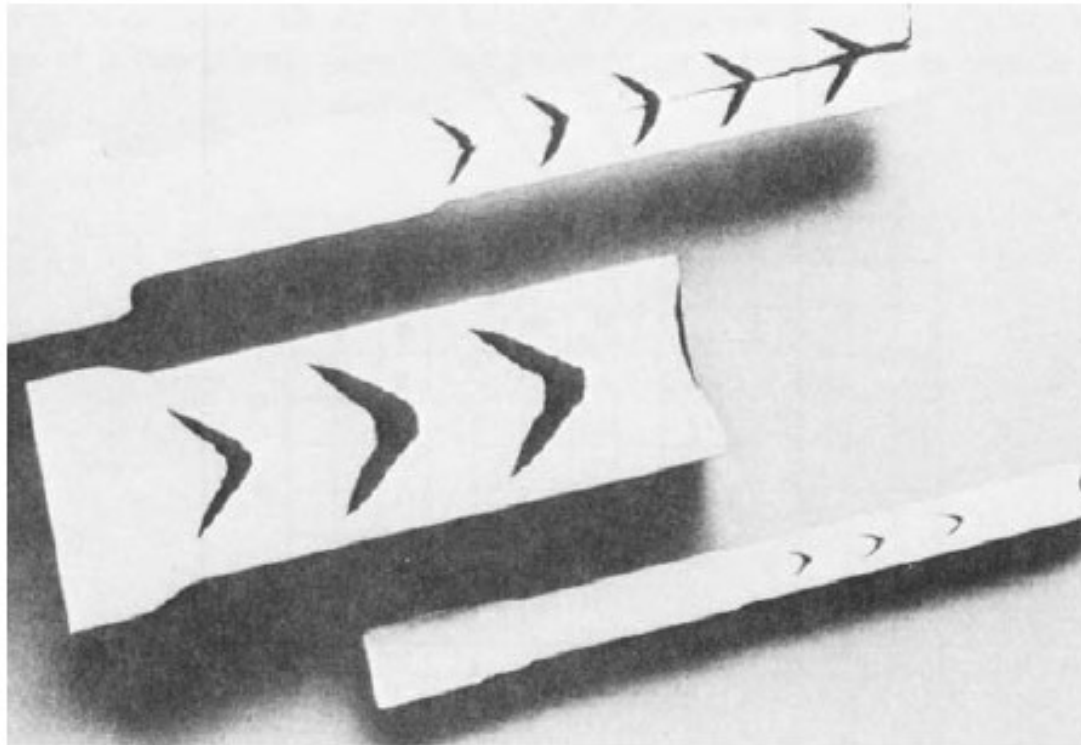
(a)



(b)

Defeitos em produtos extrudados

Trincas internas



Defeitos em produtos extrudados

Riscos



Defeitos em produtos extrudados

Torção



Defeitos em produtos extrudados

Ondulação



Defeitos em produtos extrudados

Bolhas



Defeitos em produtos extrudados

Rasgos



Defeitos em produtos extrudados

Desvio de planicidade



Defeitos em produtos extrudados

Amassamento

