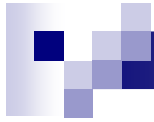




PROCESSO DE EXTRUSÃO



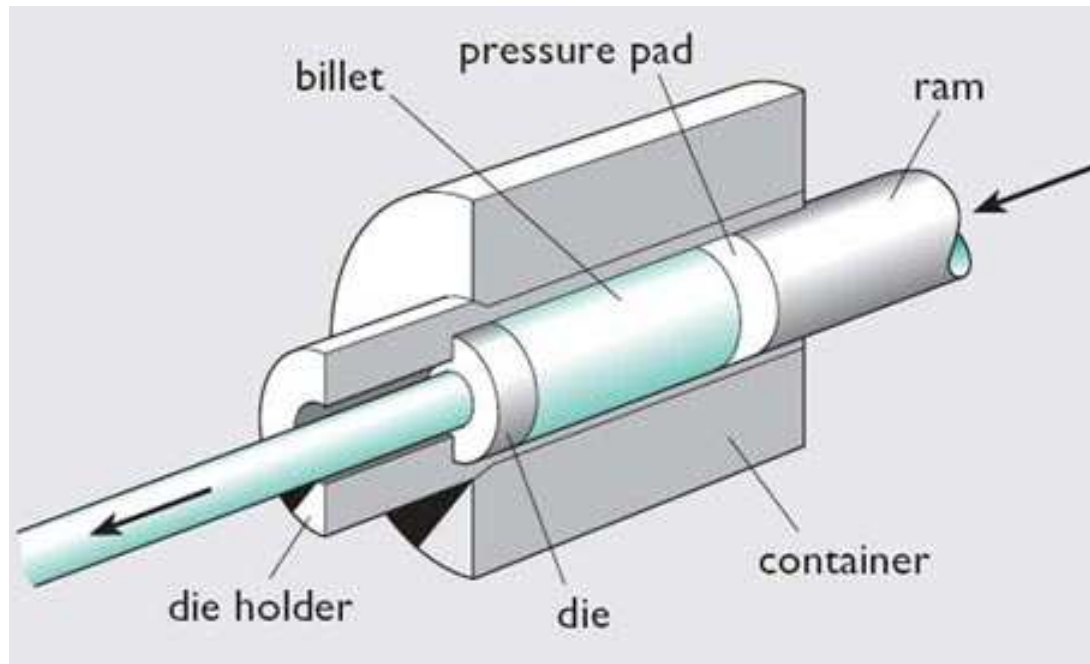
EXTRUSÃO

HISTÓRICO

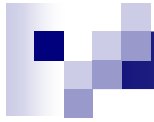
- Antecede o século XIX
- Início em Tubos de Chumbo
- Auge na Segunda Guerra Mundial
- Tecnologia das Prensas

EXTRUSÃO

É o processo na qual um bloco/tarugo de um material é reduzido em sua seção transversal forçando sua passagem através de orifício de uma matriz sob alta pressão



- Conformação de metais por deformação plástica
- Altas pressões Hidráulicas
- Materiais de elevada plasticidade



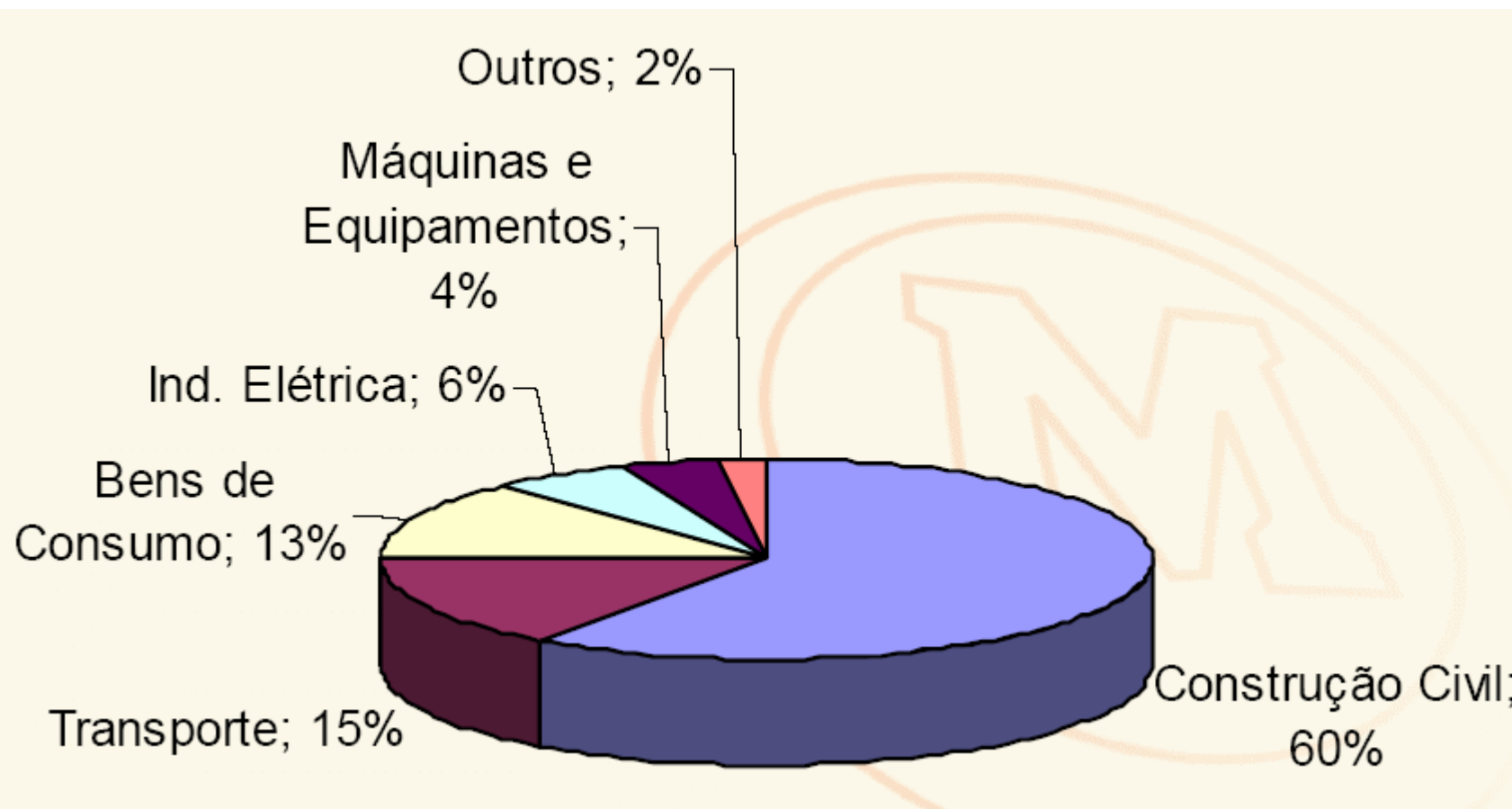
MATERIAIS:

Quase todos os materiais. Também materiais frágeis, como Ferro Fundido, mediante uso de punção com contra-pressão.

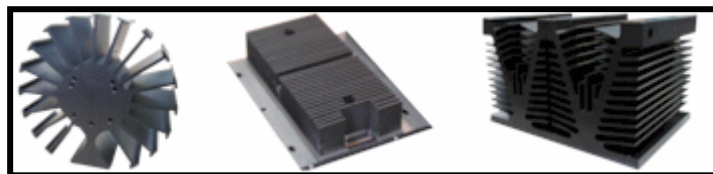
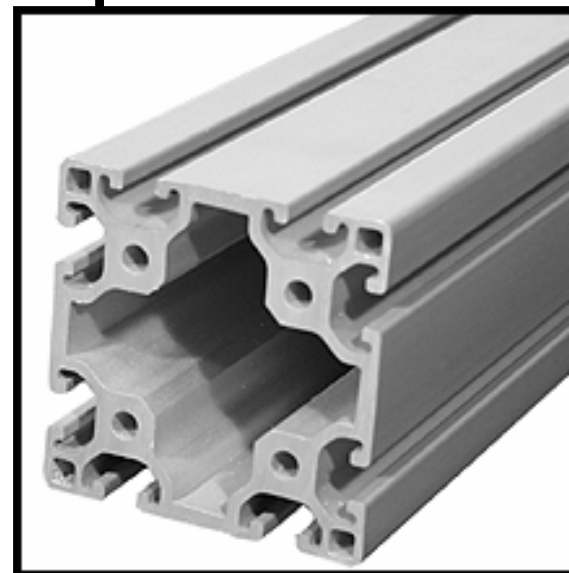
EQUIPAMENTOS:

Prensa mecânica de manivela e excêntrica, bem como prensa hidráulica.

O MERCADO DOS EXTRUDADOS



Exemplos de perfis feitos por extrusão

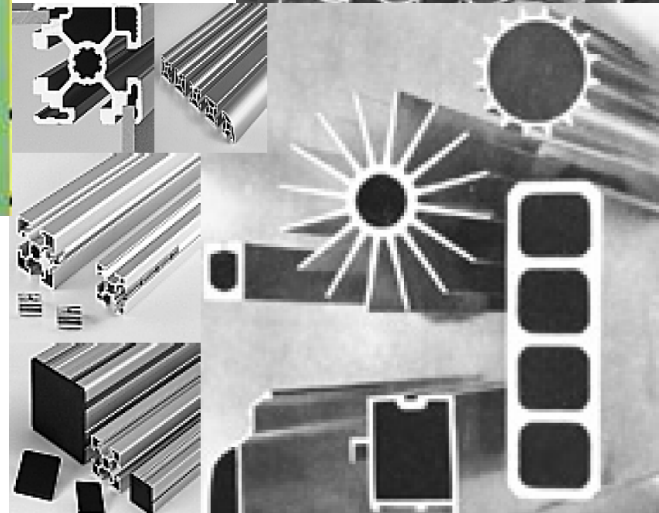


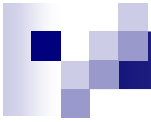


PRODUTOS EXTRUDADOS

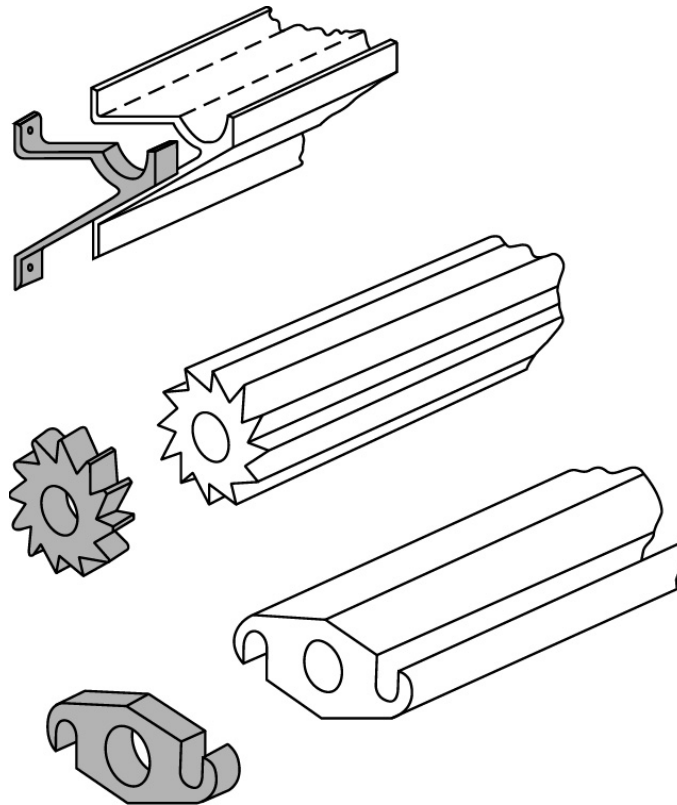


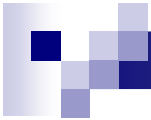
PRODUTOS EXTRUDADOS





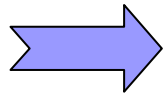
Exemplos de produtos obtidos por corte de produtos extrudados





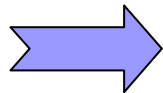
Classificação dos Processos de Extrusão

Existem vários modos de classificar o processo de extrusão



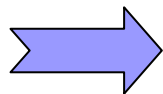
Pela Direção

- Extrusão Direta/Indireta
- Extrusão Forward/Backward



Pela Temperatura de Operação

- a frio
- a quente

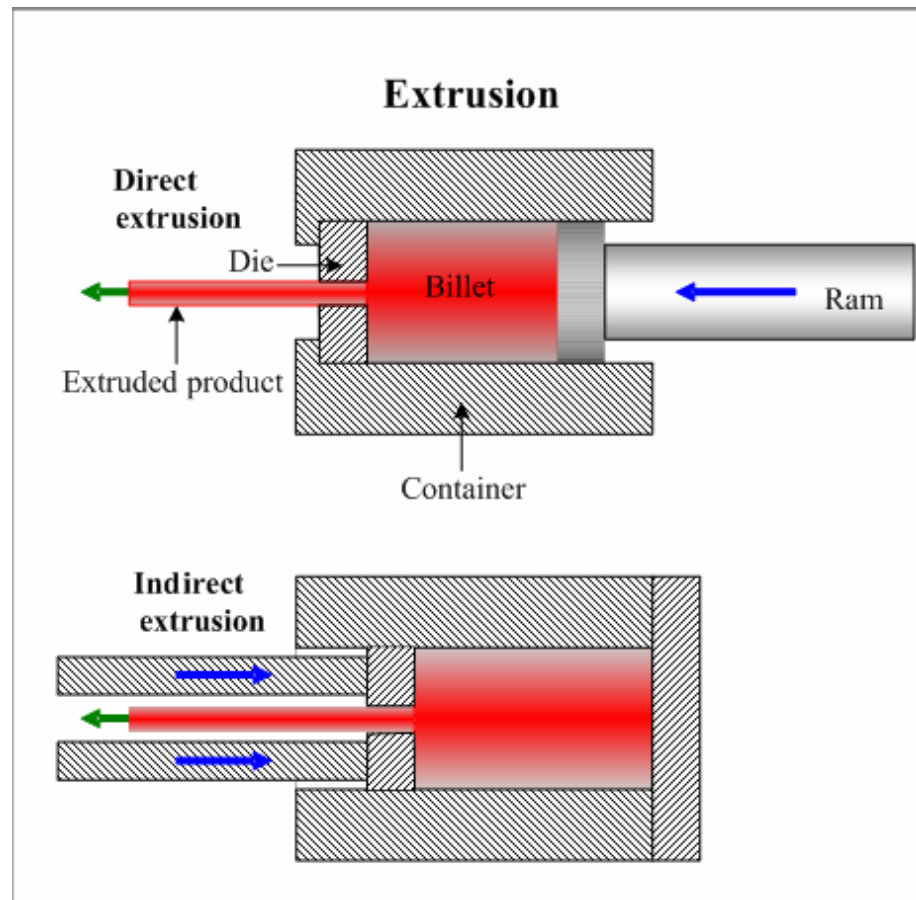


Pelo Equipamento

- Extrusão horizontal e Vertical

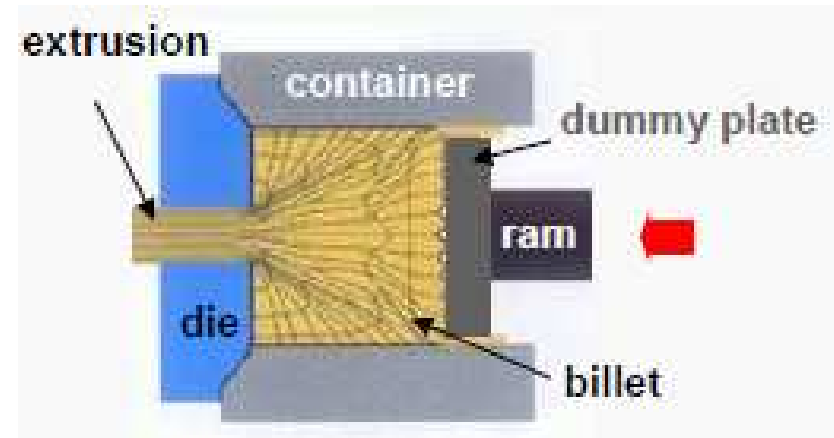
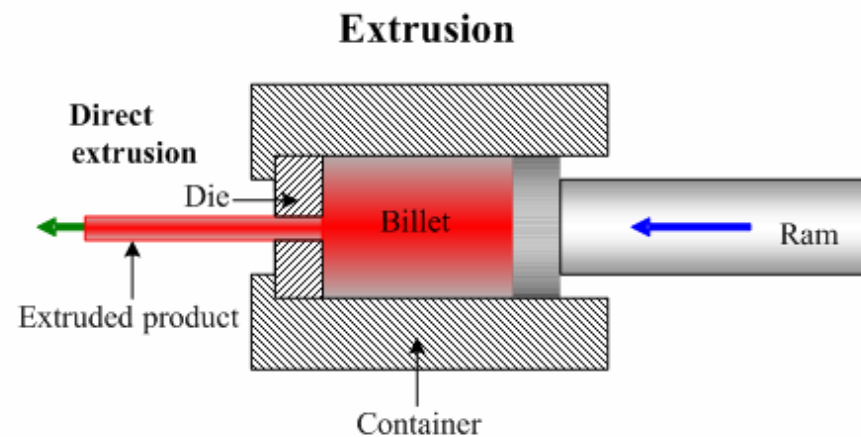
TIPOS DE EXTRUSÃO

- Extrusão Direta
- Extrusão Indireta



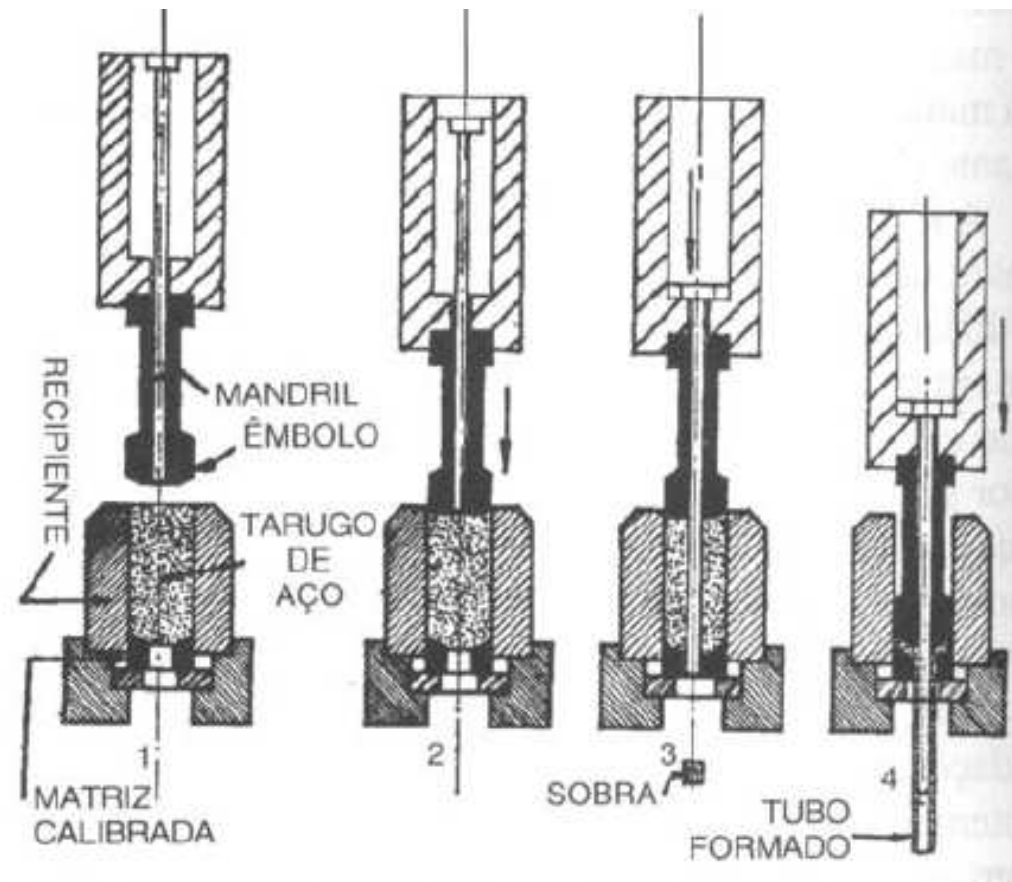
EXTRUSÃO DIRETA

- Matriz e recipiente fixos
- Flui material no sentido da força aplicada
- Material extrudado passa pela matriz
- Melhor acabamento superficial
- Maiores valores de Atrito



EXTRUSÃO

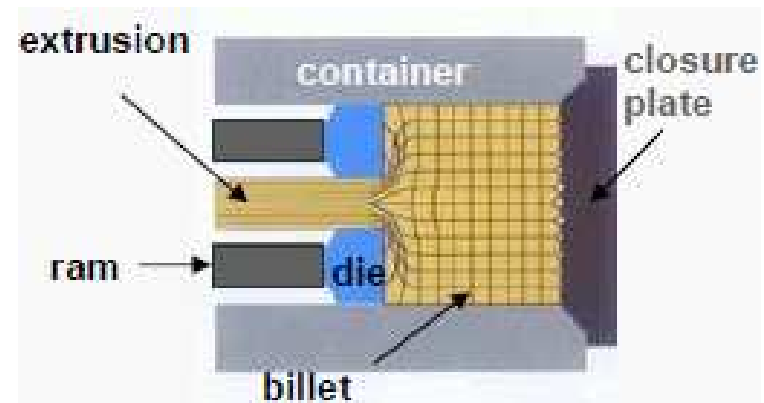
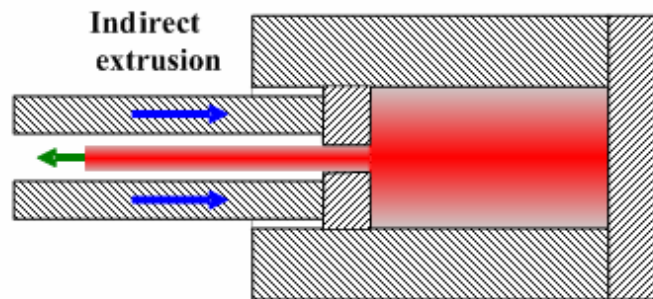
EXTRUSÃO DIRETA DE TUBO



Fabricação de tubos por extrusão.

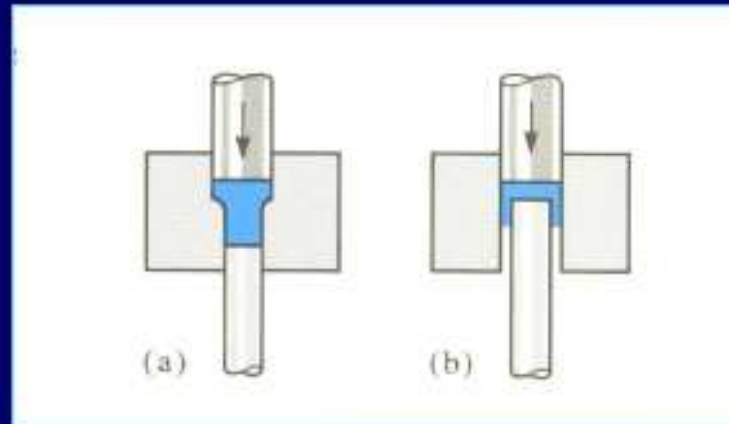
EXTRUSÃO INDIRETA

- Recipiente fixo e matriz móvel
- Fluxo de metal contrário ao da Força
- Embolo Oco e Móvel
- Força menor que a do método direto
- Acabamento superficial não tão bom

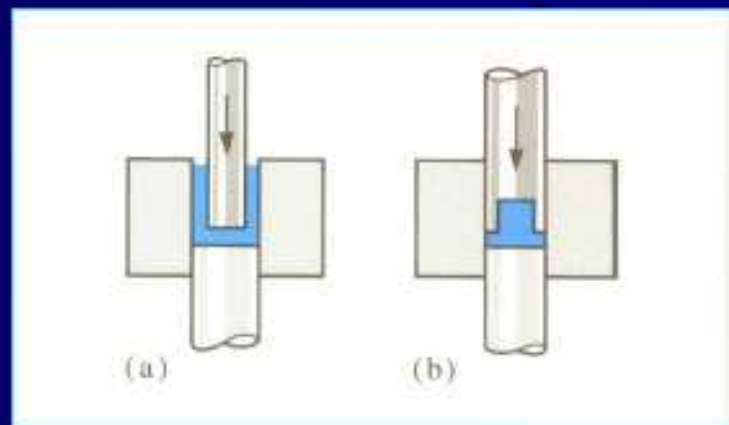


Extrusão Forward e Backward

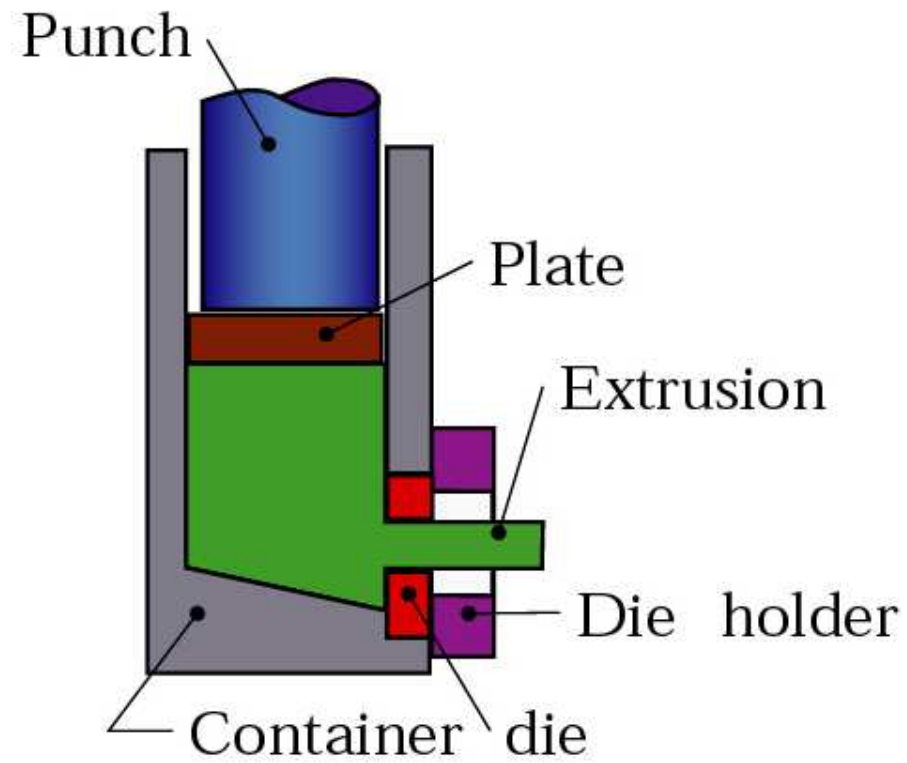
1) Forward extrusion



2) Backward extrusion



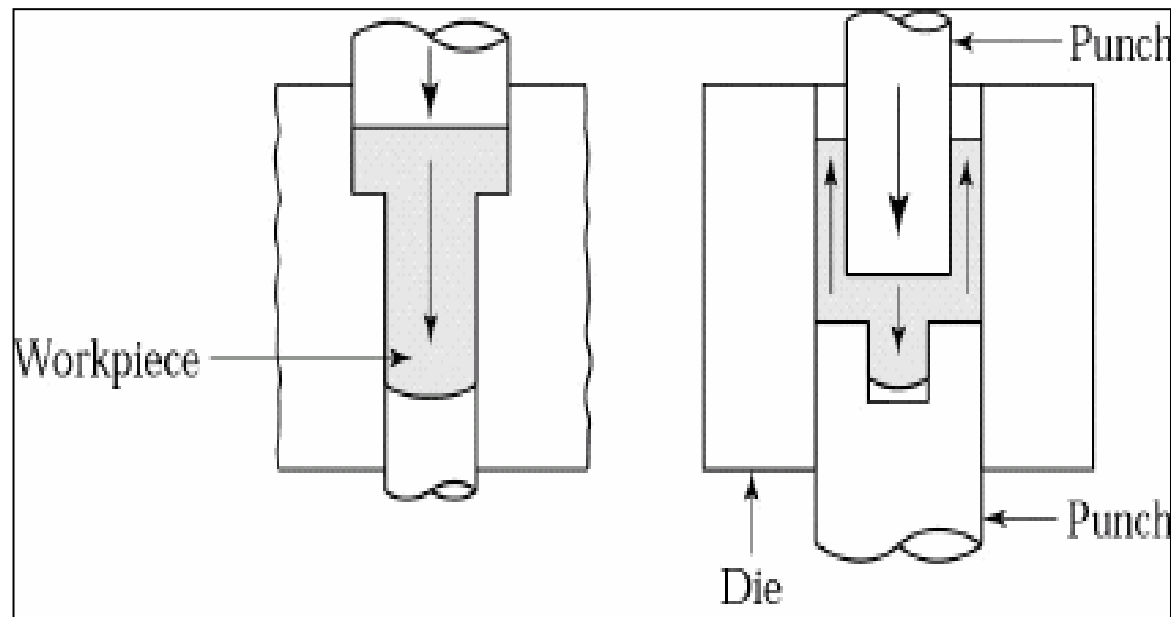
Extrusão Lateral



Combinação de Operações, tais como Extrusão Direta e Indireta e Forjamento, realizadas à frio

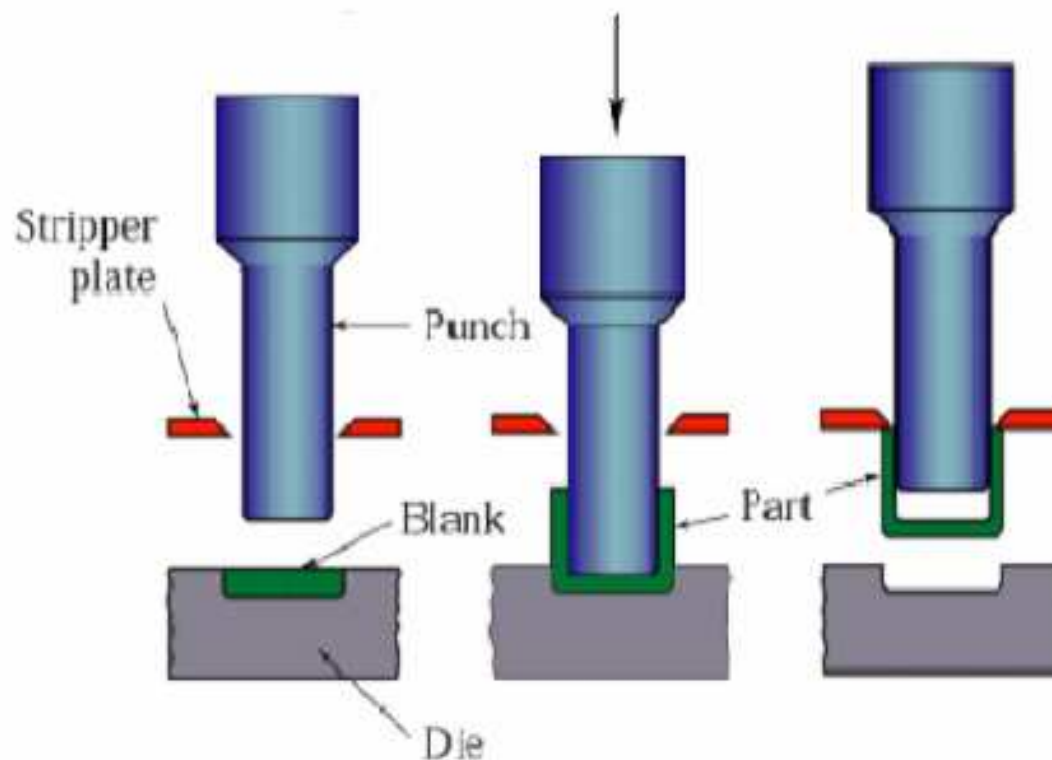
Vantagens :

- Melhoria nas propriedades Mecânicas
- Bom controle de tolerância dimensional
- Melhoria do acabamento superficial
- Eliminação da necessidade de aquecimento do material

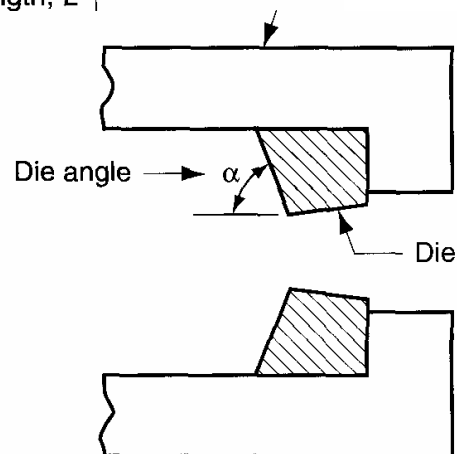
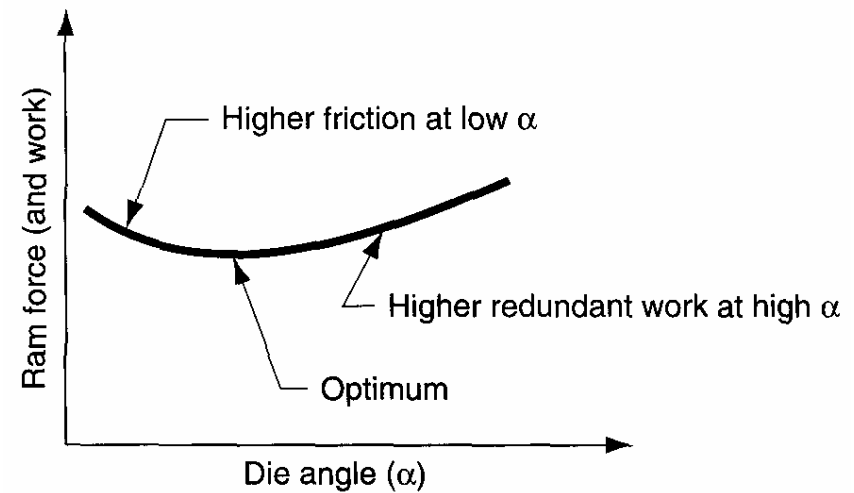
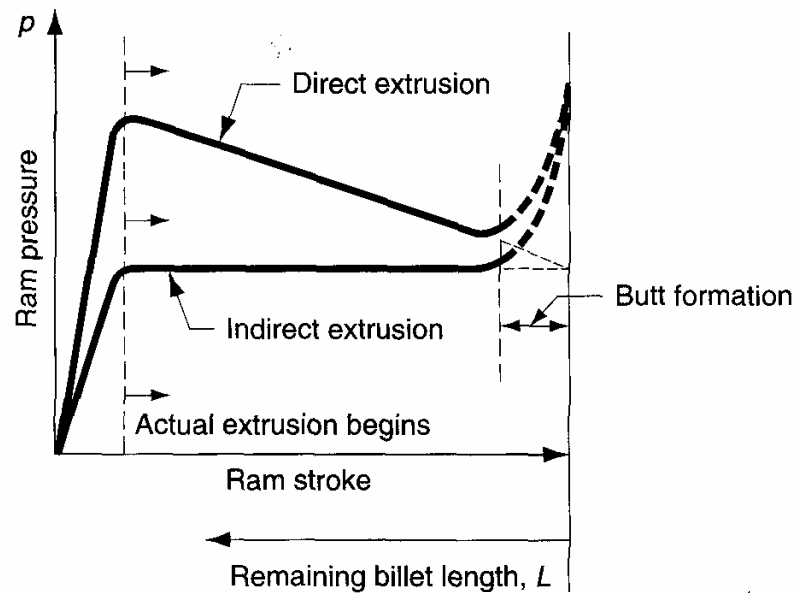


Extrusão por Impacto

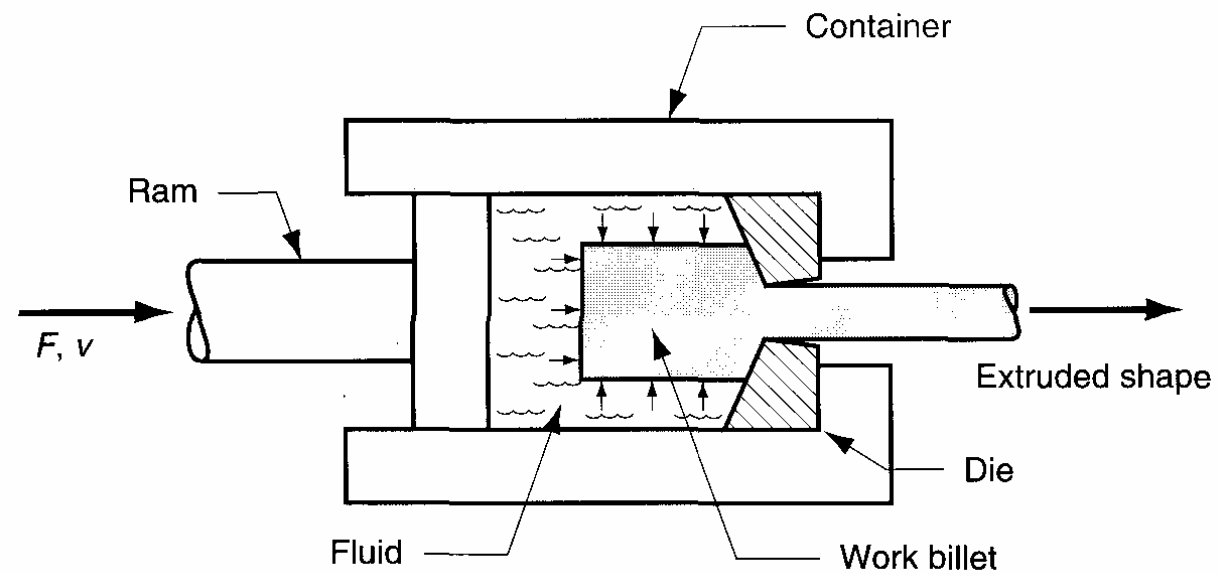
- Similar a extrusão indireta
- O Puncão desce rapidamente na chapa a qual sofre uma extrusão backward

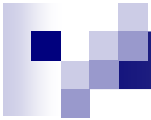


Variação da força do embolo com curso do embolo e ângulo da matriz.



Extrusão Hidrostática





Vantagens

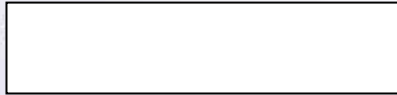
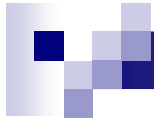
- Não há fricção entre o tarugo e o recipiente;
- Devido ao baixo atrito entre a matriz e o tarugo pode-se usar baixos ângulos de extrusão;
- Resistência mais alta do produto devido a ausência de vazios e poros;
- O processo é versátil na troca das matrizes;
- A própria pressão assenta a matriz no recipiente;
- Menor restrição quanto a forma da seção transversal

Desvantagens

- Perda de energia e eficiência devido a compressão do fluido com o aumento considerável da pressão;
- A ponta do tarugo deve ser cônica e deve ser posicionada por pressão contra a matriz para promover a vedação inicial;
- É difícil controlar a velocidade de extrusão;
- Apresenta problemas associados à vedação do pistão carregamento cíclicos (fadiga dos componentes do equipamento).

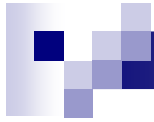


Os processos de extrusão podem ainda ser divididos pela temperatura da peça:		
Extrusão a frio	Extrusão semi-aquecida	Extrusão a quente
•Elevada economia •Combinação com outros processos •Alta qualidade dimensional e superficial •Fabricação de peças complexas •Melhores propriedades mecânicas •Alta taxa de produção	•Propriedades semelhantes às dos extrudados a frio. •Menor tensão de escoamento •Importância cada vez maior	•Melhora da trabalhabilidade •Menor esforço do atuador •Vidro pode ser usado como um lubrificante •Controlar o resfriamento é um problema



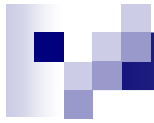
Typical Extrusion Temperature Ranges for Various Metals and Alloys

	°C
Lead	200-250
Aluminum and its alloys	375-475
Copper and its alloys	650-975
Steels	875-1300
Refractory alloys	975-2200



MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

- Tarugo
- Forno ou Aquecedores
- Matriz
- Prensa Hidráulica
- Punção ou haste do Embolo
- Disco de Apoio
- Recipiente
- Disco de Pressão
- Equipamento para Estiramento do Produto Extrudado



TARUGOS

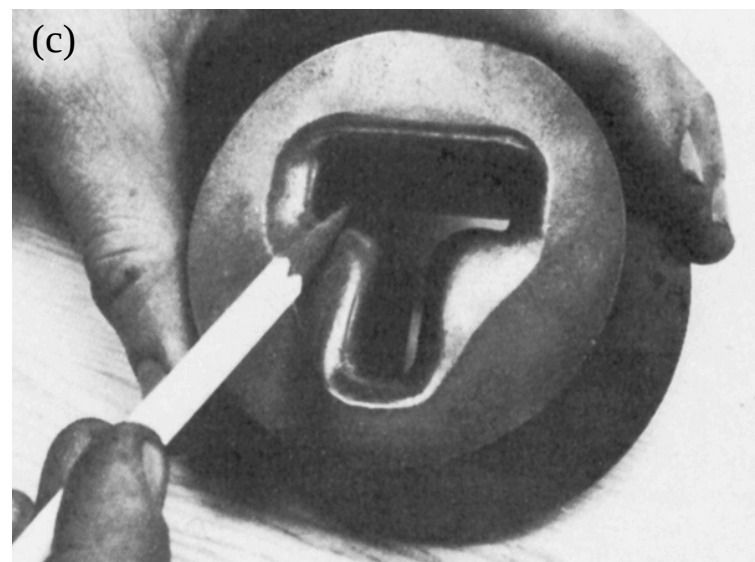
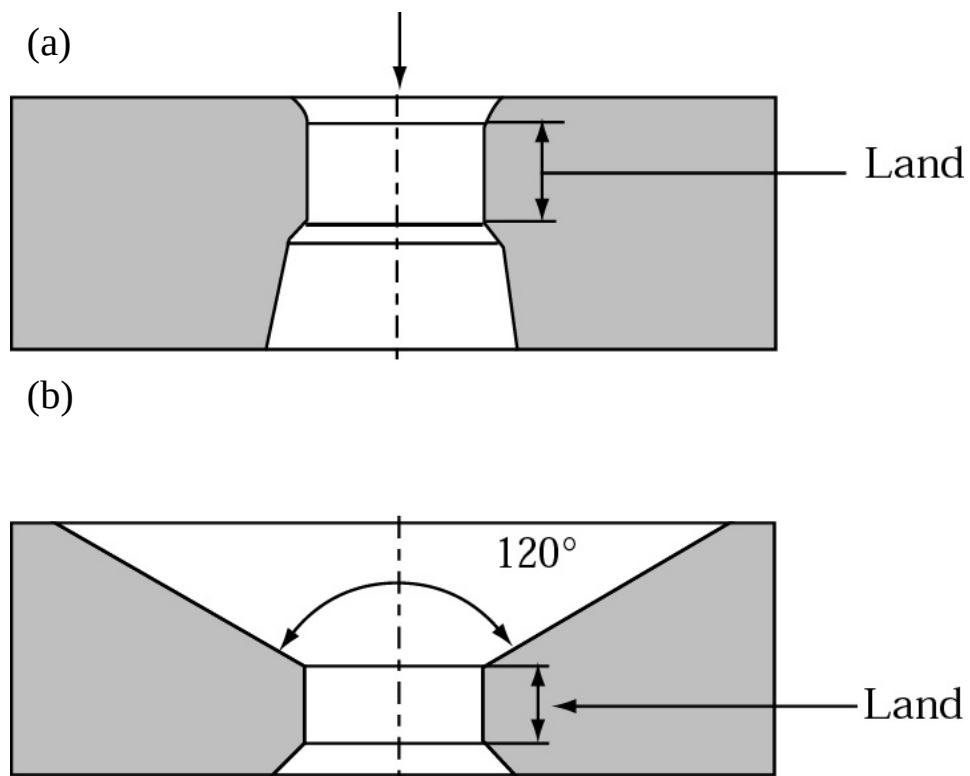


Matriz

Material: Aço alta resistência, cerâmicas (zirconia, Si_3N_4)



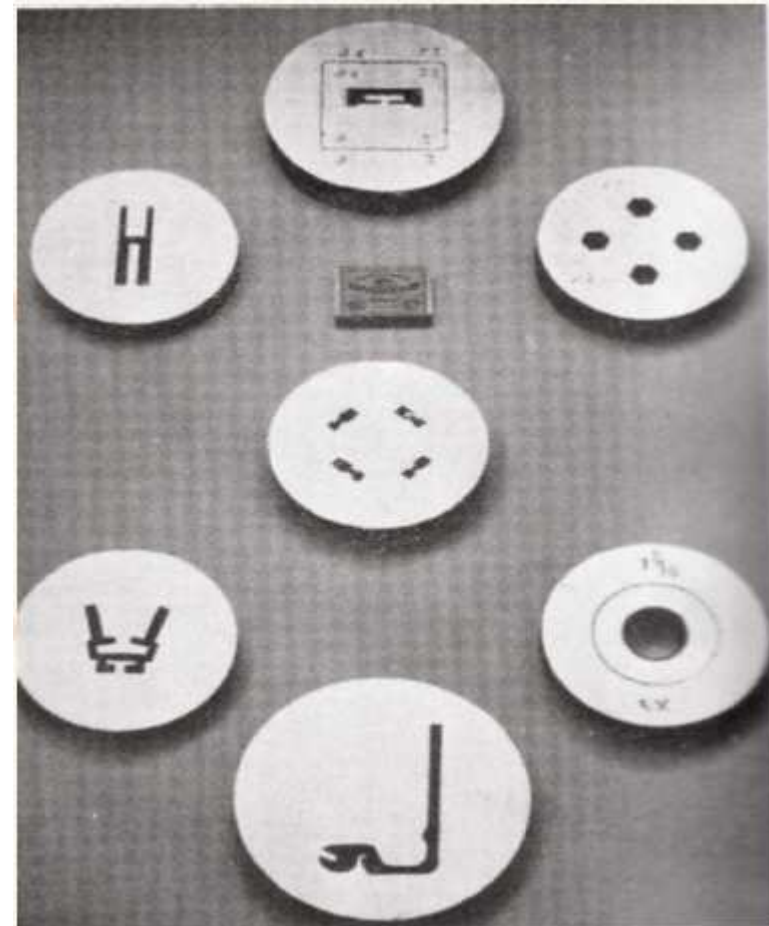
Configurações Típicas de matriz de extrusão



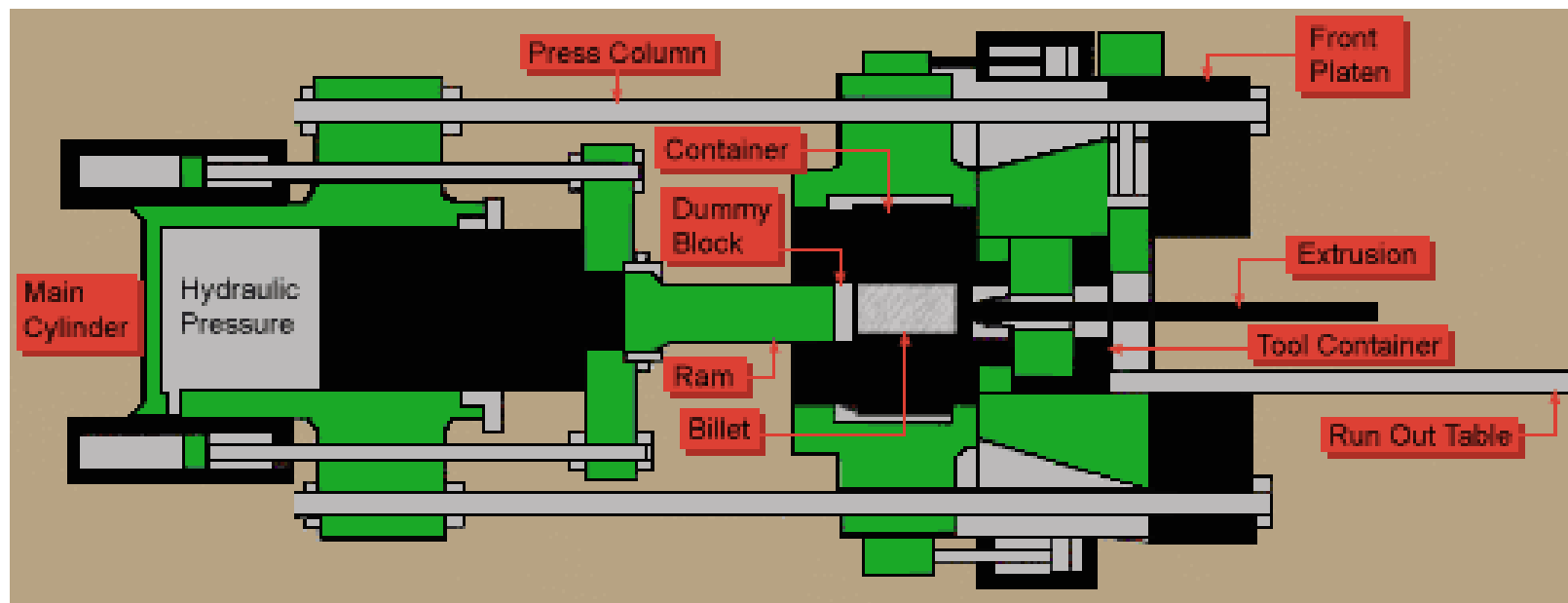
(a) die for nonferrous metals; (b) die for ferrous metals; (c) die for T-shaped extrusion, made of hot-work die steel and used with molten glass as a lubricant.

MATRIZ

- Influencia diretamente na qualidade do produto
- Perfis maciços ou tubulares
- Polimento: Rugosidade muito baixa
- Alta resistência à abrasão
- Alta Dureza
- Revestimentos Superficiais



Esquema de uma Típica Extrusão com Prensa Hidráulica Horizontal

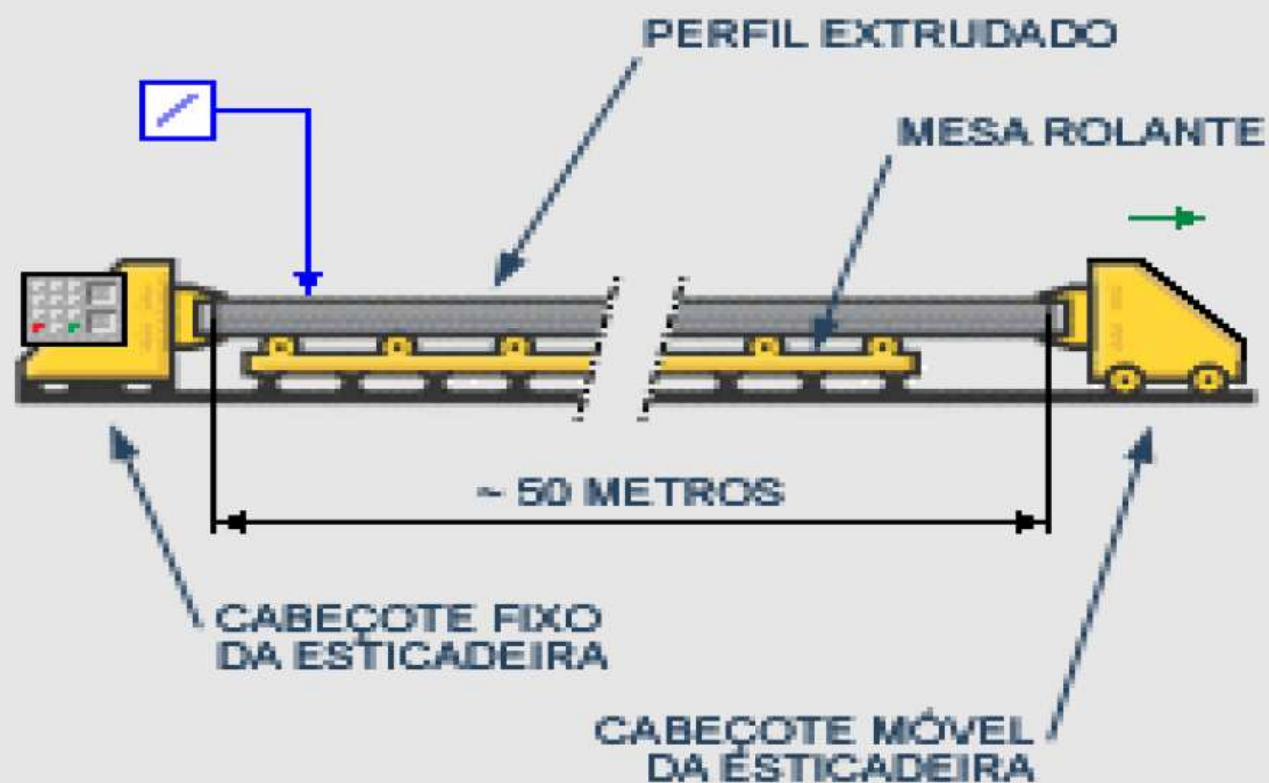


PRENSA HIDRÁULICA HORIZONTAL





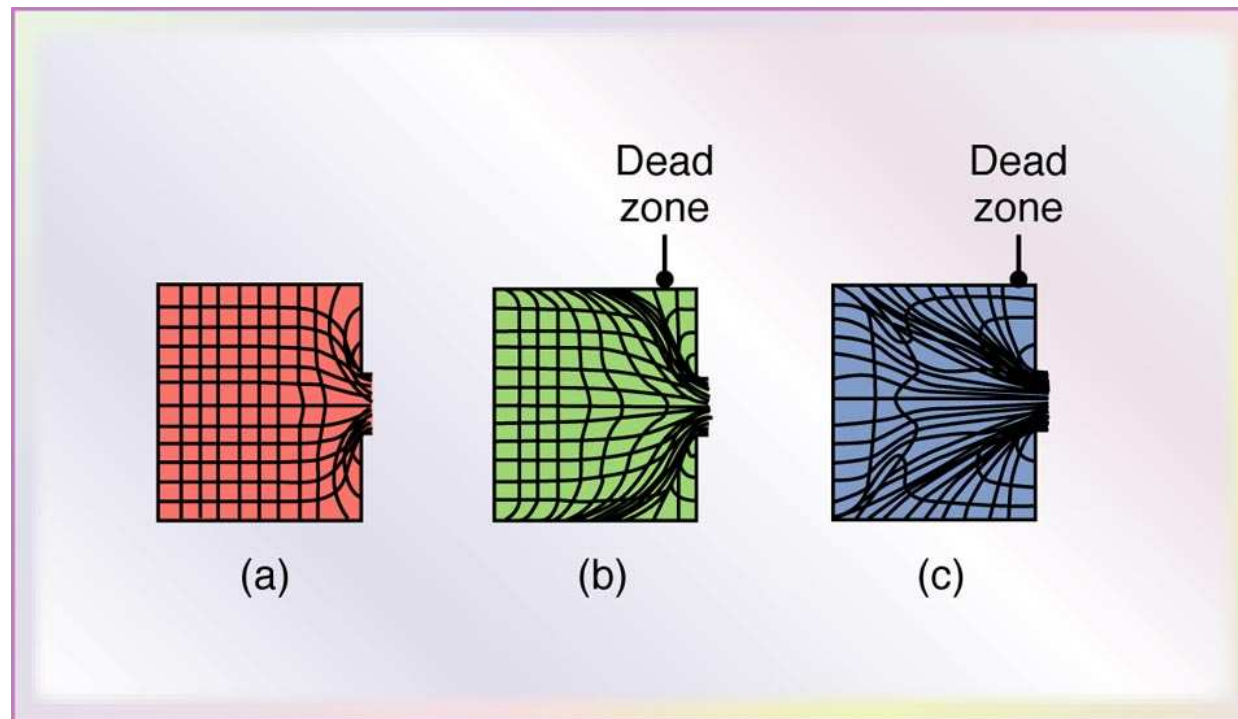
ESTIRAMENTO



LINHA DE ESTIRAMENTO DE BARRAS



Tipos de fluxo de metal na extrusão com matriz quadrada



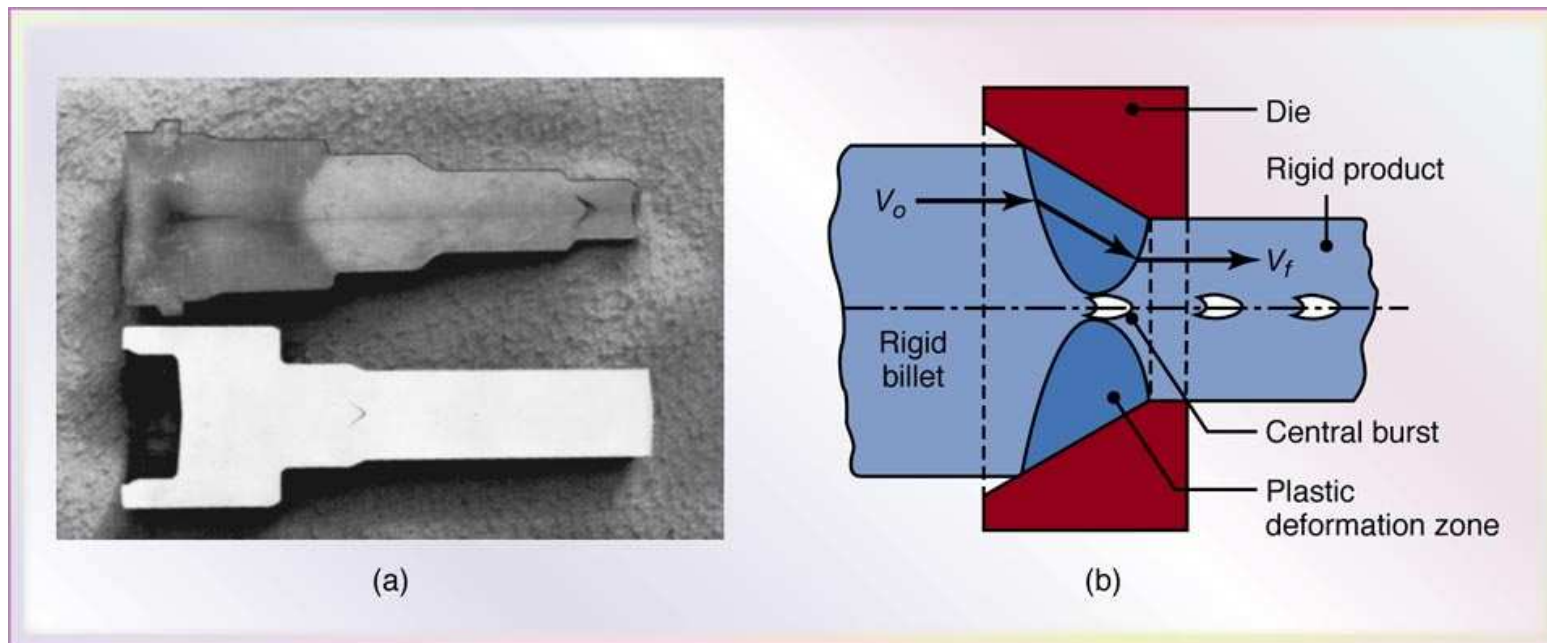
Types of metal flow in extruding with square dies. (a) Flow pattern obtained at low friction or in indirect extrusion. (b) Pattern obtained with high friction at the billet-chamber interfaces. (c) Pattern obtained at high friction or with coiling of the outer regions of the billet in the chamber. This type of pattern, observed in metals whose strength increases rapidly with decreasing temperature, leads to a defect known as pipe (or extrusion) defect.

DEFEITOS

Podem resultar:

- de defeitos na matéria-prima (fissuras, lascas, vazios, inclusões);
- do processo de deformação.

Exemplo de defeito: Trincas internas em ponta de flecha ("chevrons") - veja figura abaixo



(a) Chevron cracking (central burst) in extruded round steel bars. The tendency toward chevron cracking increases if the two plastic zones do not meet. Note that the plastic zone can be made larger either by decreasing the die angle or by increasing the reduction in cross-section (or both). *Source:* After B. Avitzur.

DEFEITOS EM PRODUTOS EXTRUDADOS





DEFEITOS EM PRODUTOS EXTRUDADOS





DEFEITOS EM PRODUTOS EXTRUDADOS

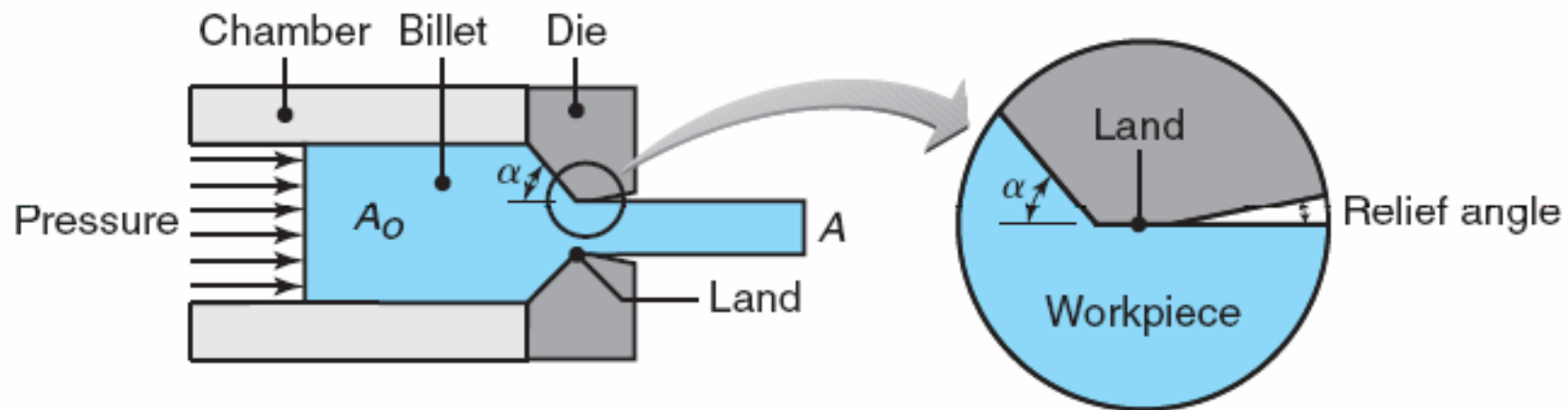


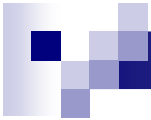
DEFEITOS EM PRODUTOS EXTRUDADOS



Parâmetros de Extrusão

- Atrito
- Propriedades Mecânicas do Material
- Razão de extrusão: $R_e = \frac{A_0}{A}$
- Velocidade
- Temperatura
- Geometria da Matriz





Método da deformação homogênea

$$P_e = \bar{Y} \cdot \ln(R_e)$$

ou

$$P_e = \frac{K\bar{\epsilon}^{n+1}}{n+1}$$

P_e = pressão de extrusão

$\bar{Y}$ = tensão de escoamento média

R_e = razão de extrusão

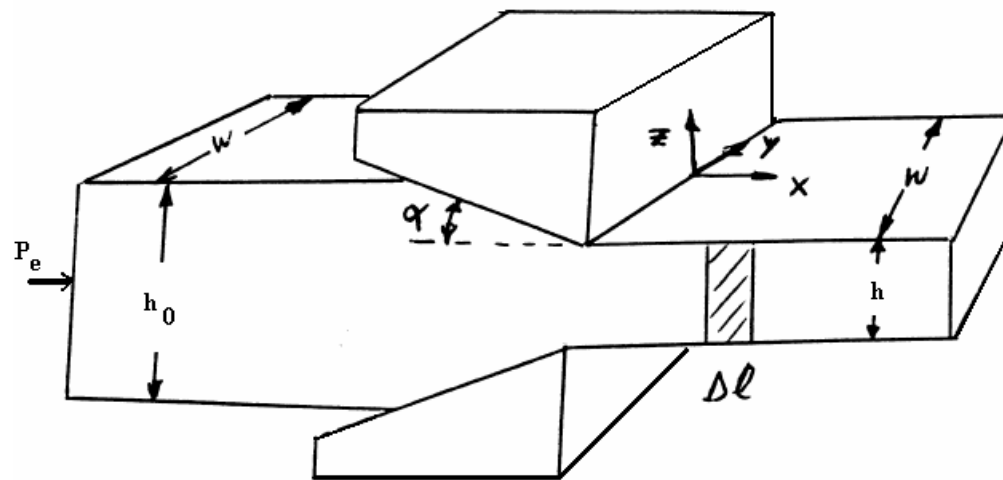
$$R_e = \frac{A_0}{A}$$

$$R_e = \frac{1}{1-r}$$

Considerando eficiência

$$P_e = \frac{K\bar{\epsilon}^{n+1}}{\eta(n+1)}$$

Placas (estado plano de deformação)



$$\bar{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln R_e$$

$$P_e = \frac{K \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln R_e \right)^{n+1}}{\eta(n+1)}$$



Método dos blocos

Seção circular

$$P_e = \bar{Y} \cdot \left(\frac{1+B}{B} \right) (R_e^B - 1)$$

α = ângulo metade da matriz

R_e = razão de extrusão

$$B = \mu \cot g \alpha$$

μ = coeficiente de atrito

$$F_e = P_e \cdot A_s$$

A_s = área da seção transversal do tarugo

Placas

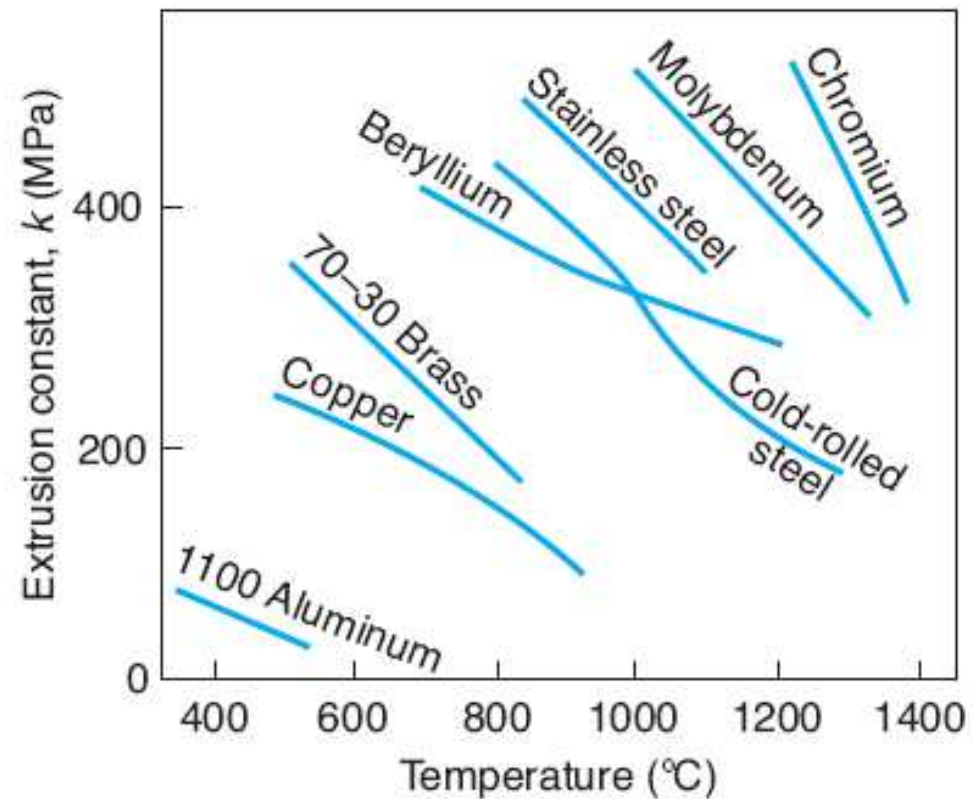
$$P_e = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{Y} \cdot \left(\frac{1+B}{B} \right) (R_e^B - 1)$$

Força de Extrusão

Cálculo para diversos materiais em função da temperatura

$$F = A_0 k \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

k = extrusion constant





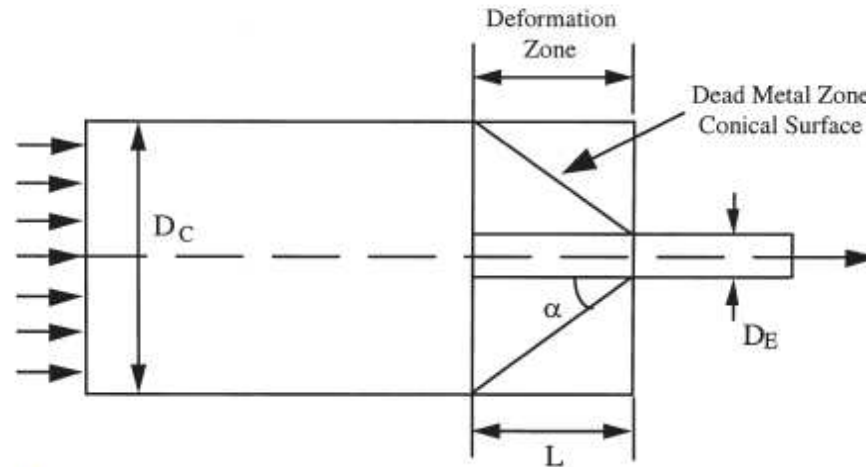
Cálculo da Força em Extrusão a Quente

Um tarugo circular feito de latão 70–30 é extrudado na temperatura de 675°C. O diâmetro do tarugo é 125 mm, e o diâmetro final do material a ser extrudado é 50 mm. Calcule a força de extrusão requerida na operação.

Solução

Para o latão, k is 250 MPa, Assim:

$$F = \frac{\pi(125)^2}{4} (250) \ln \left[\frac{\pi(125)^2}{\pi(50)^2} \right] = 5.6 \text{ MN}$$



Comprimento da zona de deformação

$$L = \frac{(D_C - D_E)}{2 \tan \alpha}$$

Taxa de deformação efetiva

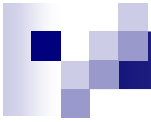
$$\dot{\epsilon} = \frac{6V D_C^2 \tan \alpha}{(D_C^3 - D_E^3)} 2 \ln \frac{D_C}{D_E} \quad (\text{Eq 9})$$

where V is the average ram speed, D_C is the container bore, D_E is the diameter of the extruded rod, and α is the dead-metal zone semiangle.



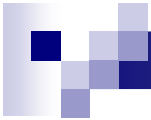
EXEMPLO 1

- Uma chapa de metal tendo uma espessura inicial de 0,1 in e largura 12 in está sendo forçada através de uma matriz com faces retas e que forma um ângulo de 30° . Se a tensão de escoamento média é de $30\sqrt{3}$ ksi e o coeficiente de atrito médio é 0,08, calcule a força necessária para completar esta operação para uma redução de 10 %.



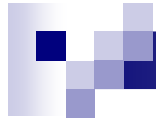
EXEMPLO 2

- Calcule a força requerida para extrusão da liga de Al 1100-O de um ϕ 6 in para ϕ 2 in. Assumir que o trabalho redundante é 40 % do trabalho ideal e o trabalho devido ao atrito é 25% do trabalho total de deformação. O Al obedece o seguinte comportamento: $\bar{\sigma} = 26\bar{\epsilon}^{0,2} \text{ksi}$.



EXEMPLO 3

- Uma placa de aço tem uma espessura inicial de 10mm e largura 250 mm. Essa chapa será extrudada em 1 passe para obter as dimensões finais 8,5 mm de espessura e 250 mm de largura. Se o comportamento do material em tração é $\bar{\sigma} = 600\bar{\epsilon}^{0,3} MPa$, determine a força de extrusão necessária para realizar a operação. Considerar que a eficiência do processo é de 65%.



Referências Adicionais

- **Manufacturing Engineering Technology in SI Units, 6th Edition**
Chapter 15: Metal Extrusion and Drawing Processes and Equipment

Manufacturing, Engineering & Technology, Fifth Edition, by Serope Kalpakjian and Steven R. Schmid. ISBN 0-13-148965-8. © 2006 Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.