



**Labconf**

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR

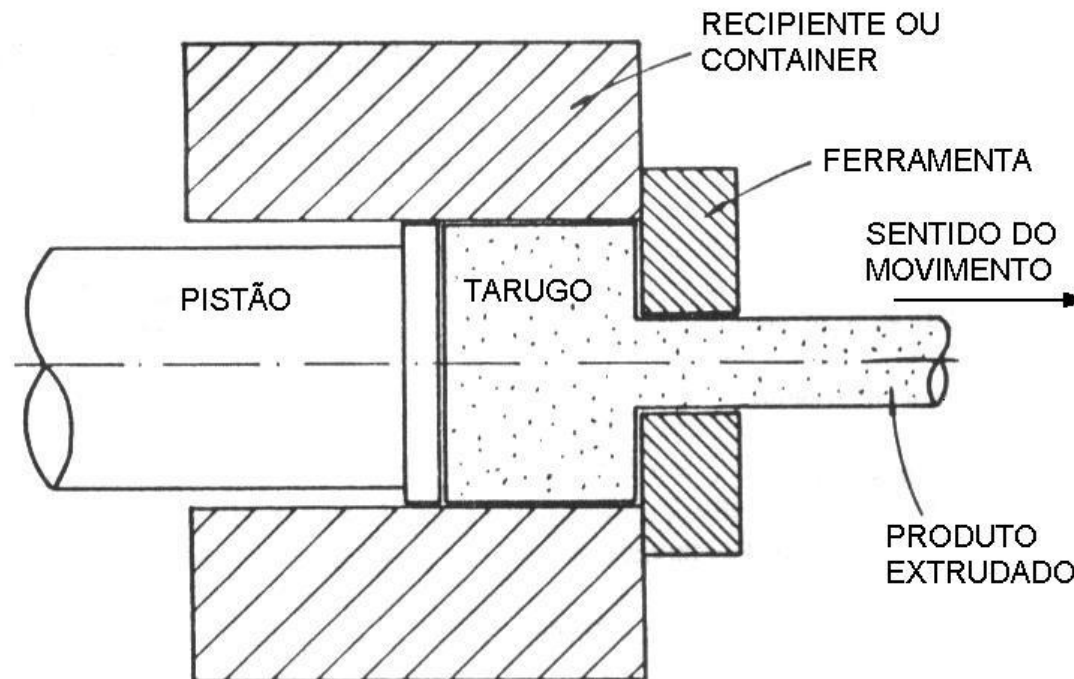


# ***Extrusão***

**Prof. Paulo Marcondes, PhD.**  
**DEMEC / UFPR**

# Definição de extrusão

- Processo pelo qual um bloco é reduzido em seção transversal ao ser forçado a escoar através do orifício de uma matriz sob alta pressão.



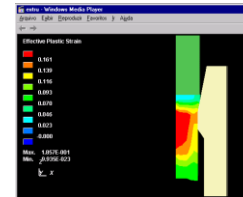
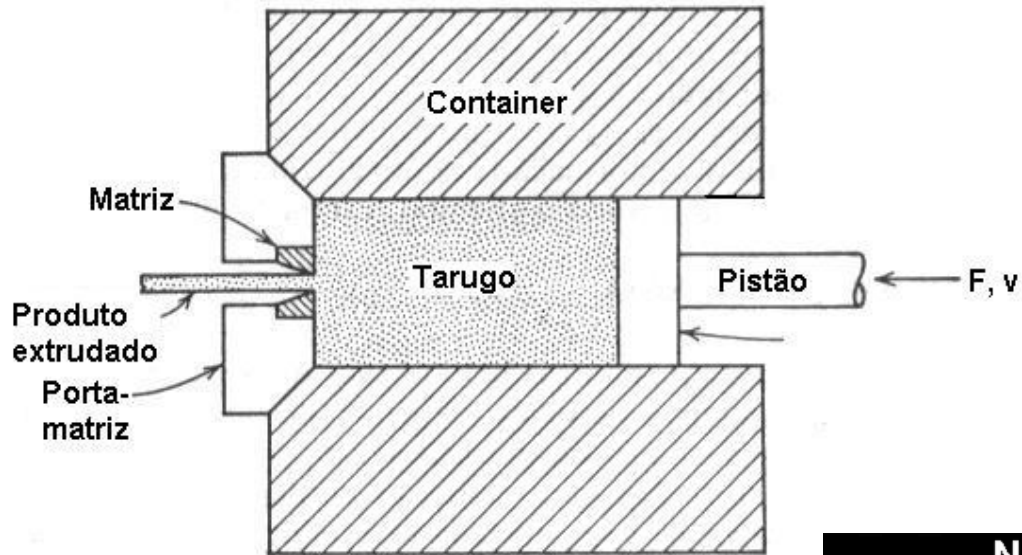
# Temperaturas típicas



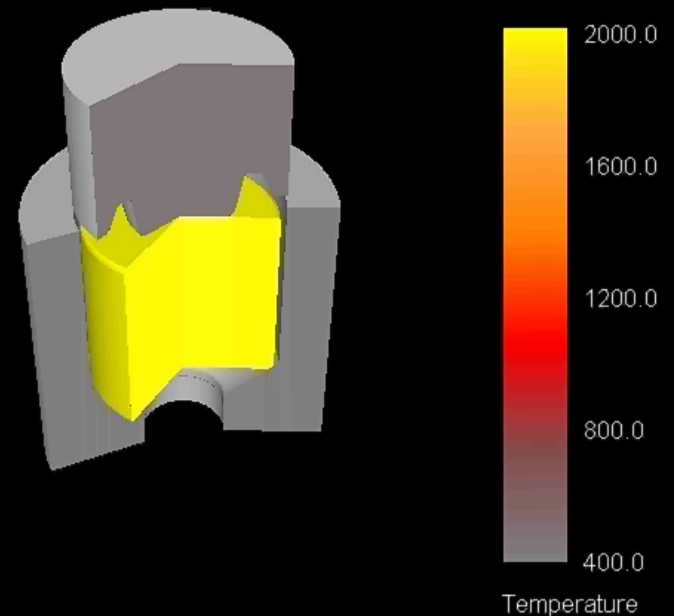
<b>Metal</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Chumbo</b>	<b>200 - 250</b>
<b>Alumínio e ligas</b>	<b>375 - 475</b>
<b>Cobre e ligas</b>	<b>650 - 950</b>
<b>Aços</b>	<b>875 - 1300</b>
<b>Ligas refratárias</b>	<b>975 - 2200</b>



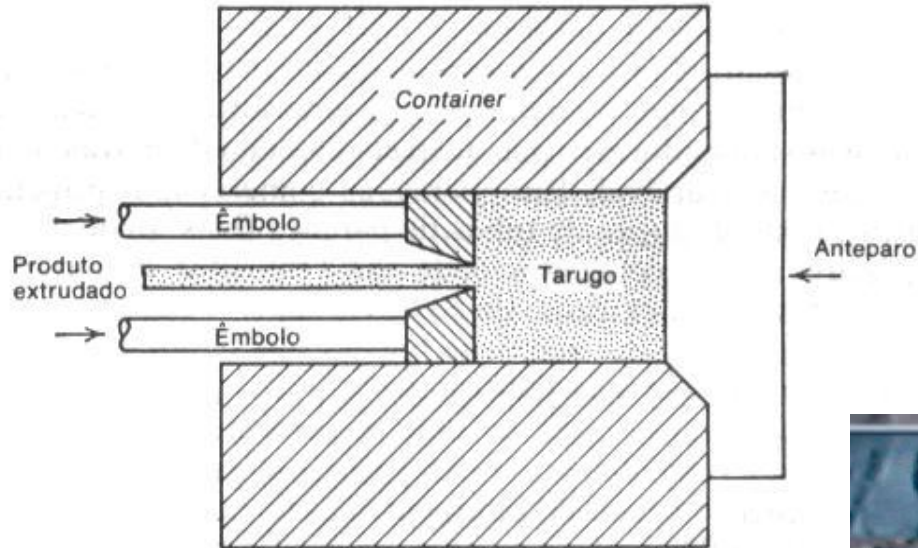
# Extrusão direta



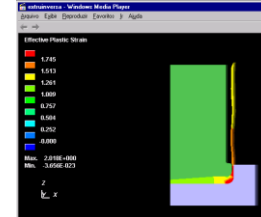
## Non-Isothermal (Hot) Extrusion



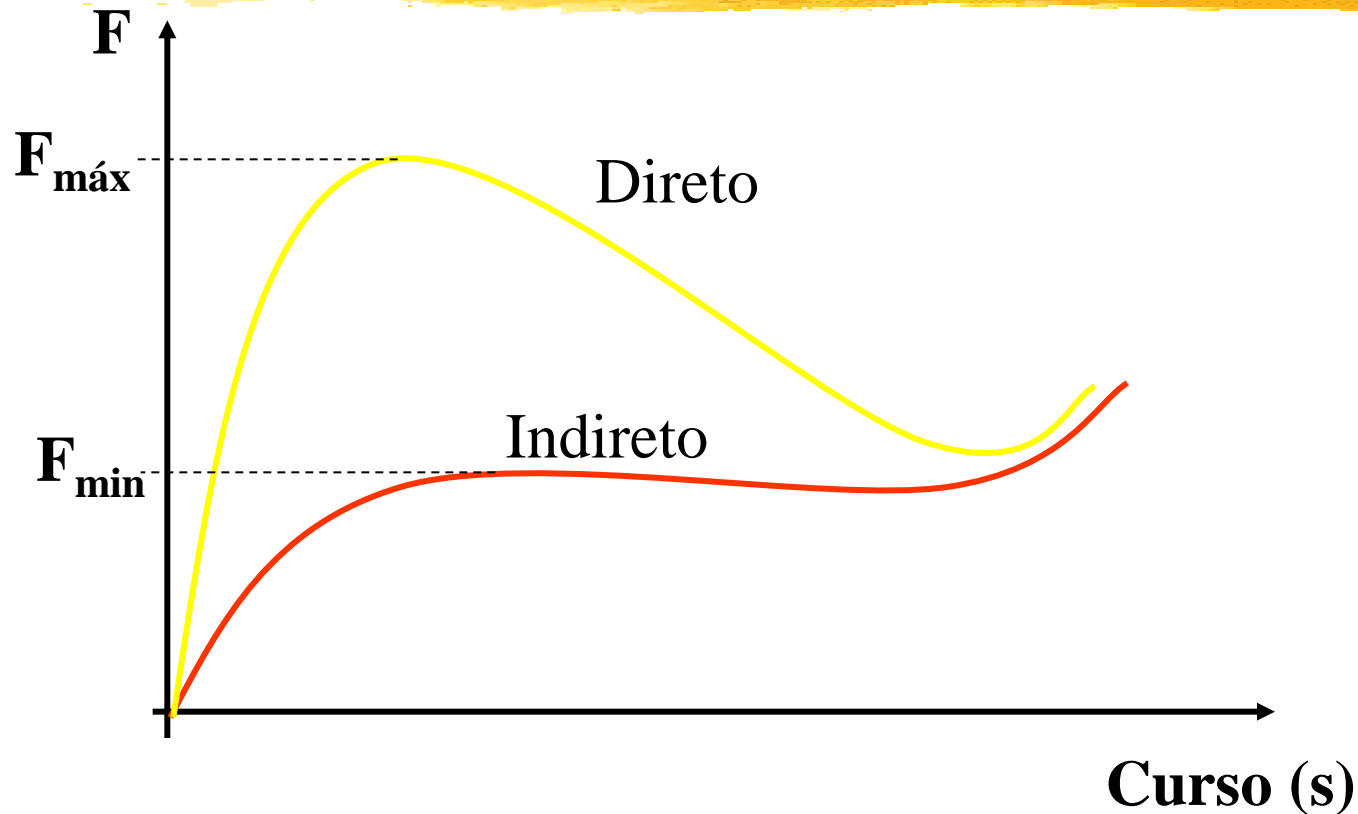
# Extrusão inversa, indireta ou reversa



Extrusão indireta



# Extrusão direta X extrusão indireta

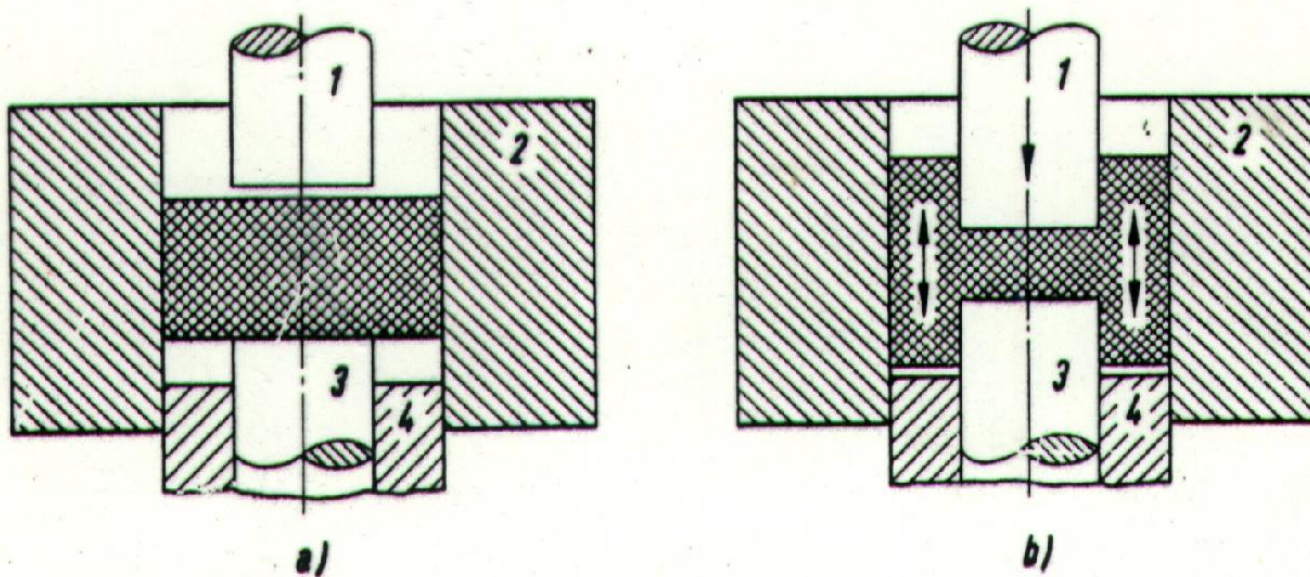


⌘ Variação da força de extrusão em função do curso do êmbolo



## • Extrusão combinada.

- ✓ Combinação dos processos de extrusão a frio.
- ✓ É utilizada quando se devem produzir corpos ocos e maciços que possuam paredes e fundos de espessuras diferentes, ou que sejam providos de rebordos e rebaixos.
- ✓ Neste processo o material escoar no sentido e em oposição ao movimento do estampo, conforme ilustrado na figura.





# Extrusão lateral

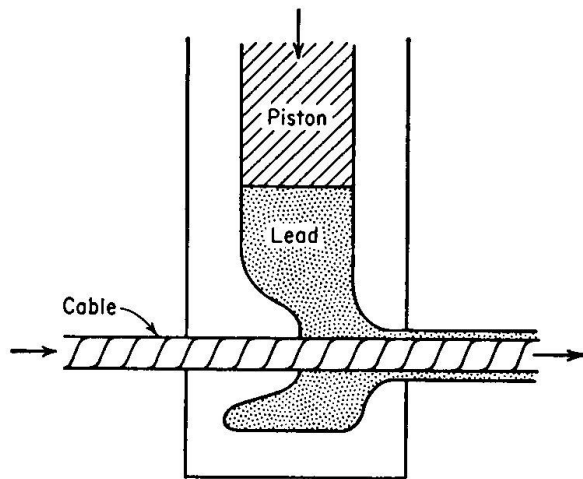
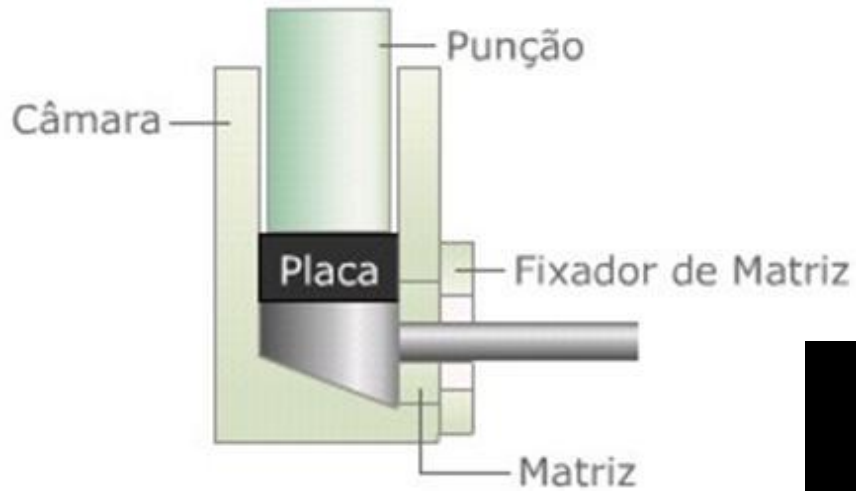
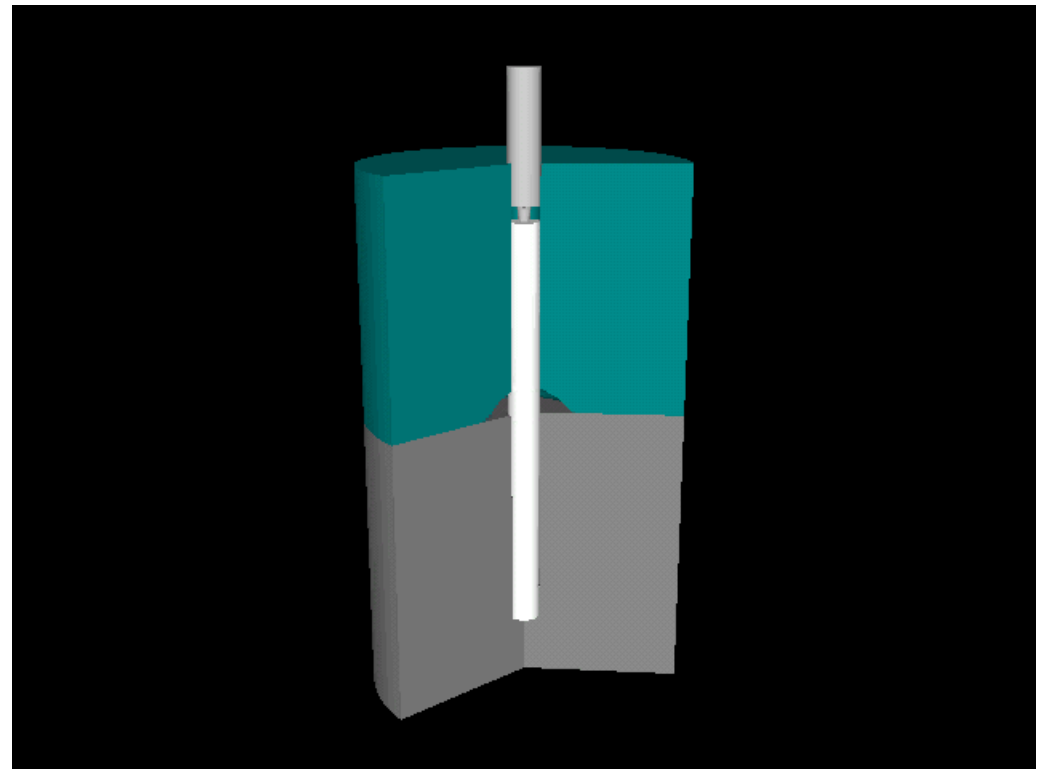
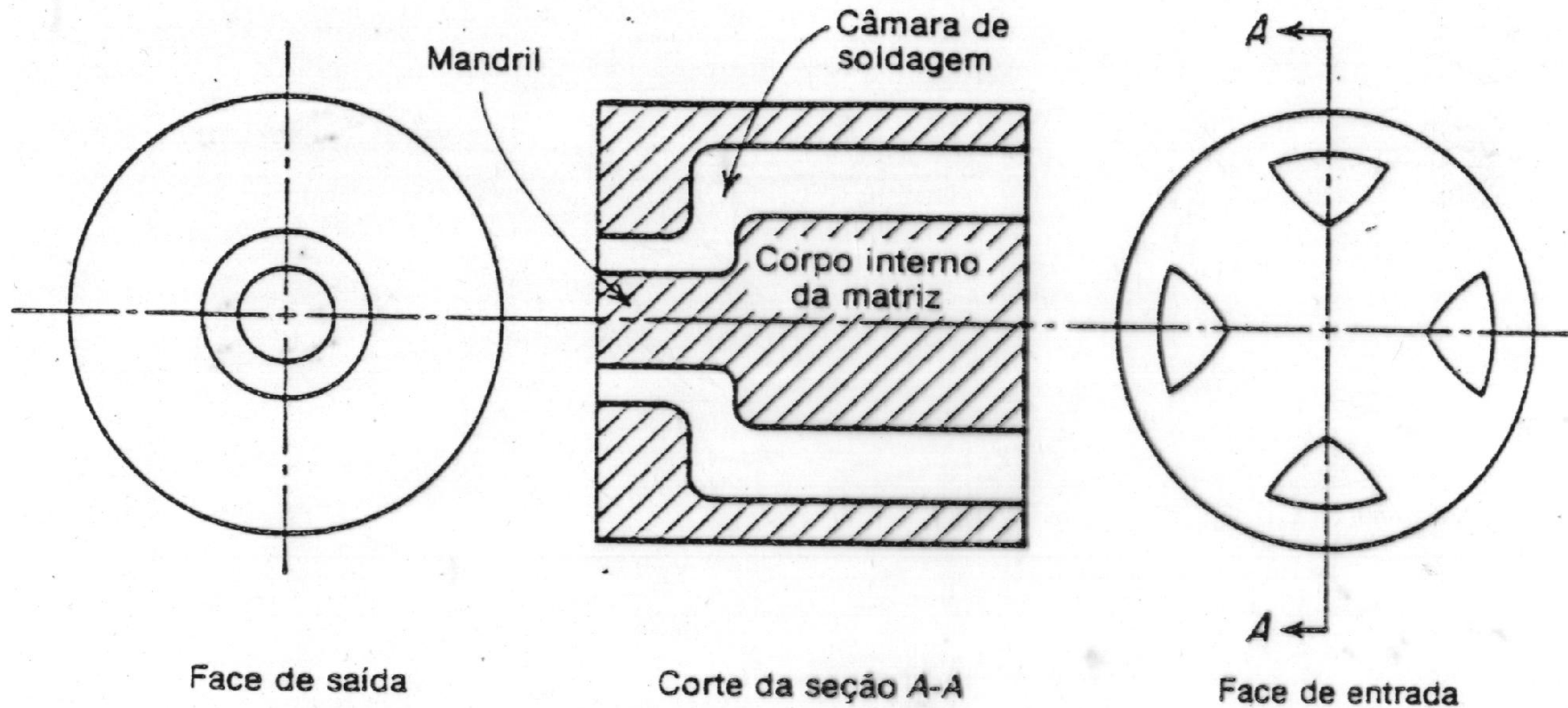


Fig. 18-2 Extrusion of lead sheath on electrical cable.



# Matriz de extrusão de tubos sem mandril.



# Matriz de extrusão de formas ocas com mandril.

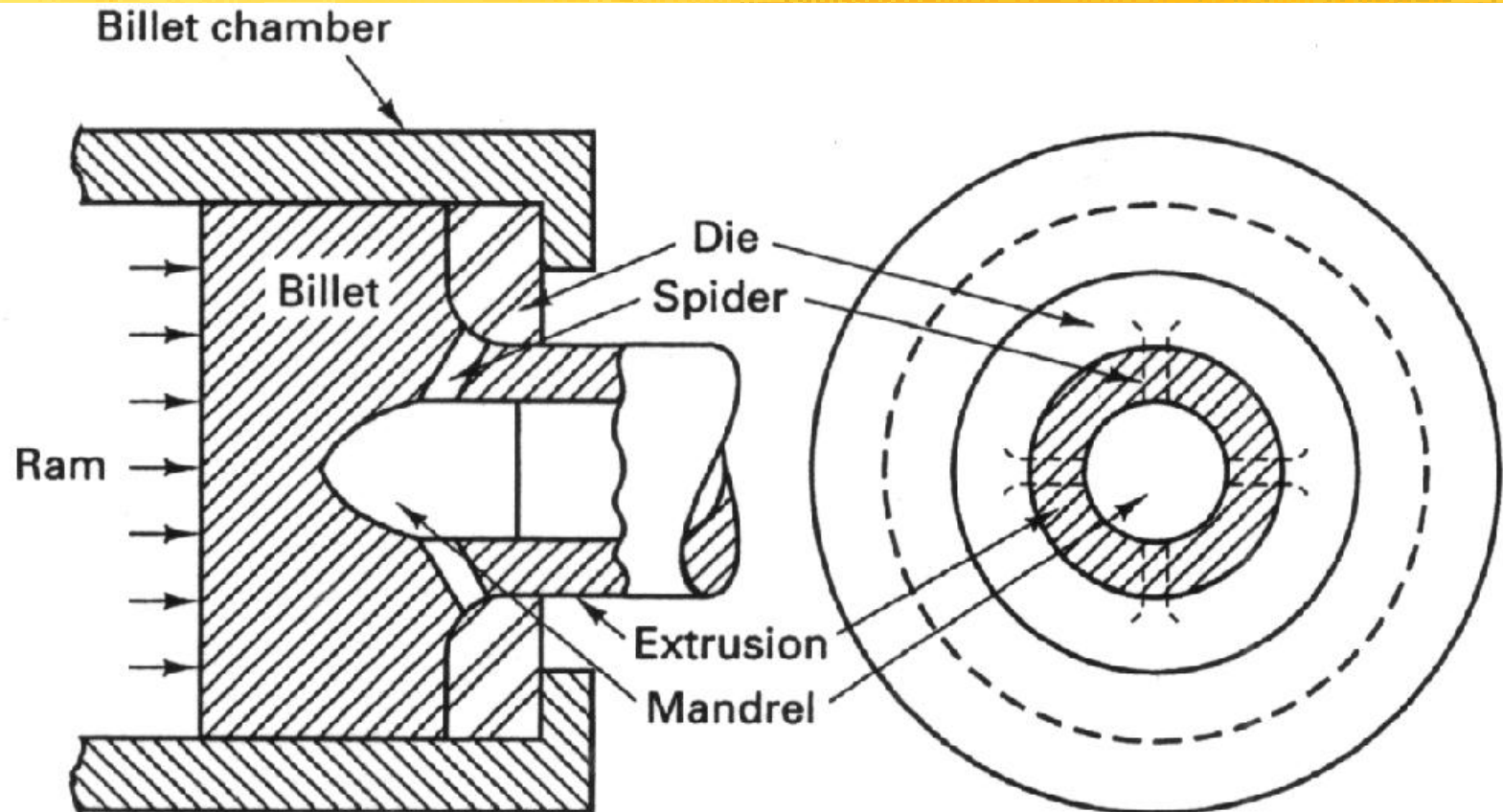
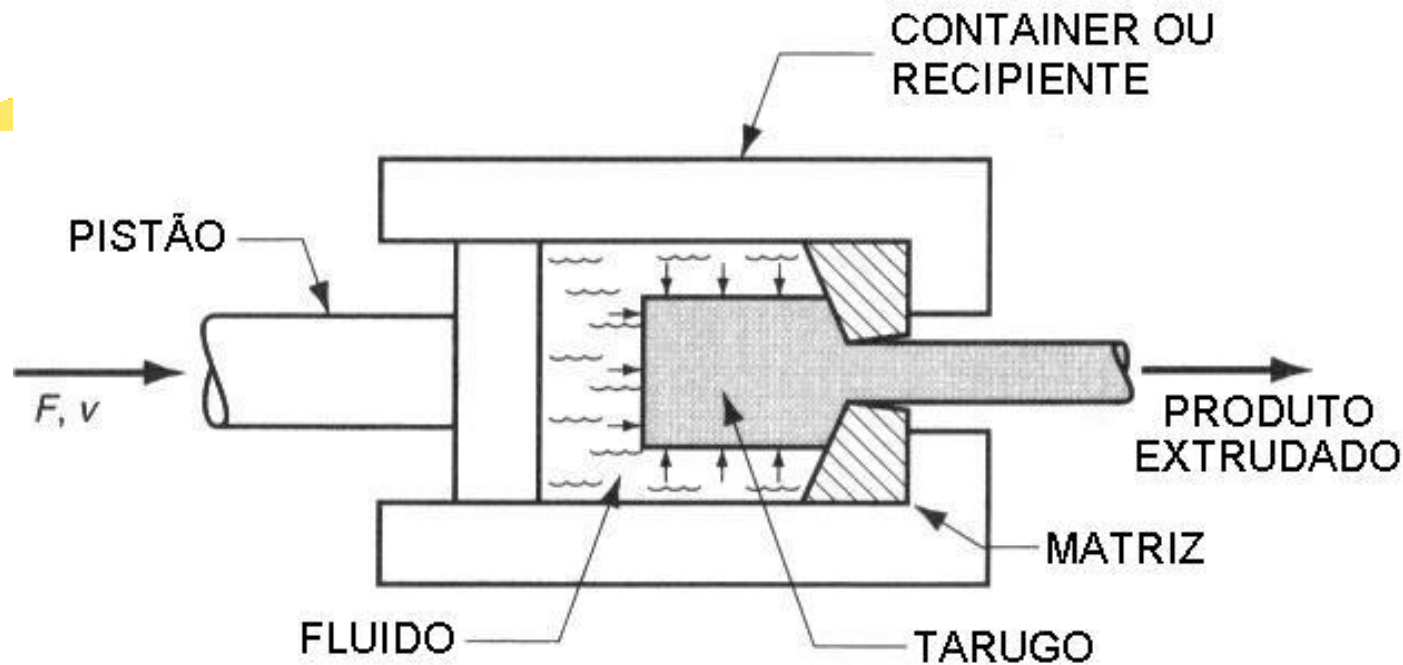


FIGURE 18-25 Hot extrusion of a hollow shape using a spider-mandrel die. Note the four arms connecting the die and the mandrel.

## • Extrusão hidrostática.

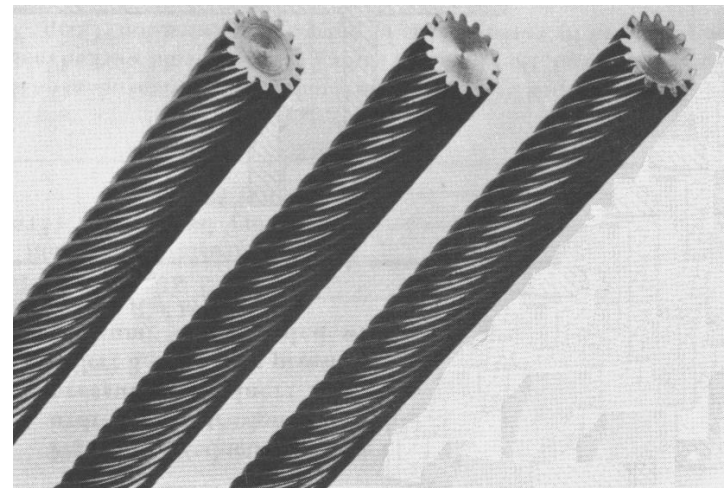
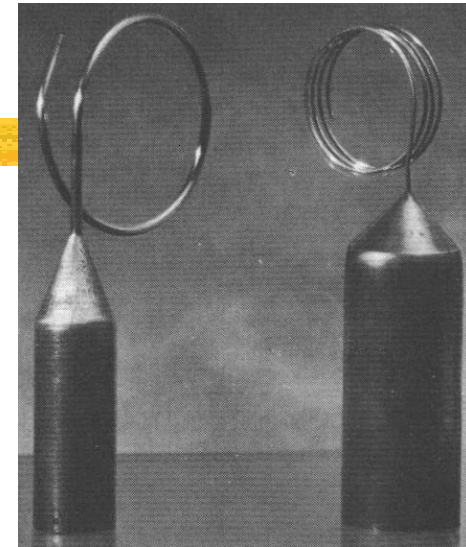
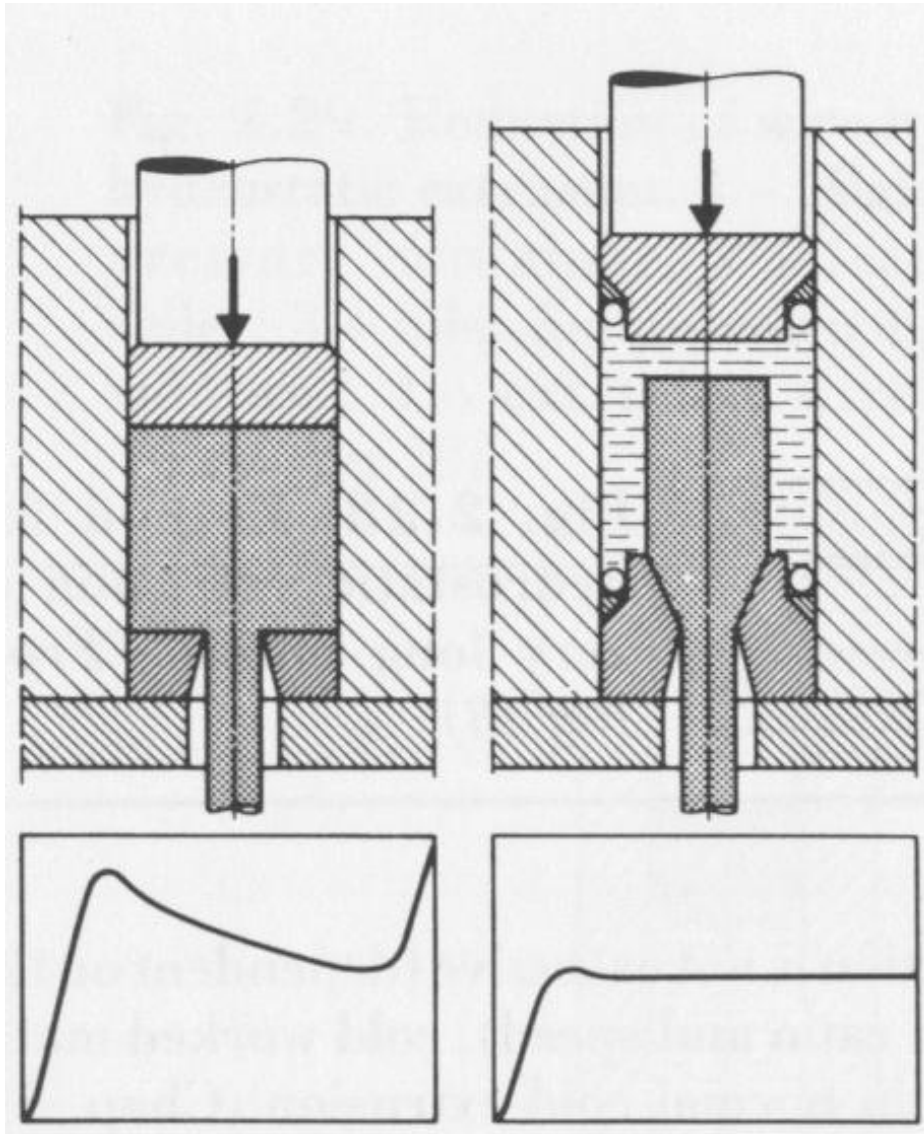


### - Vantagens:

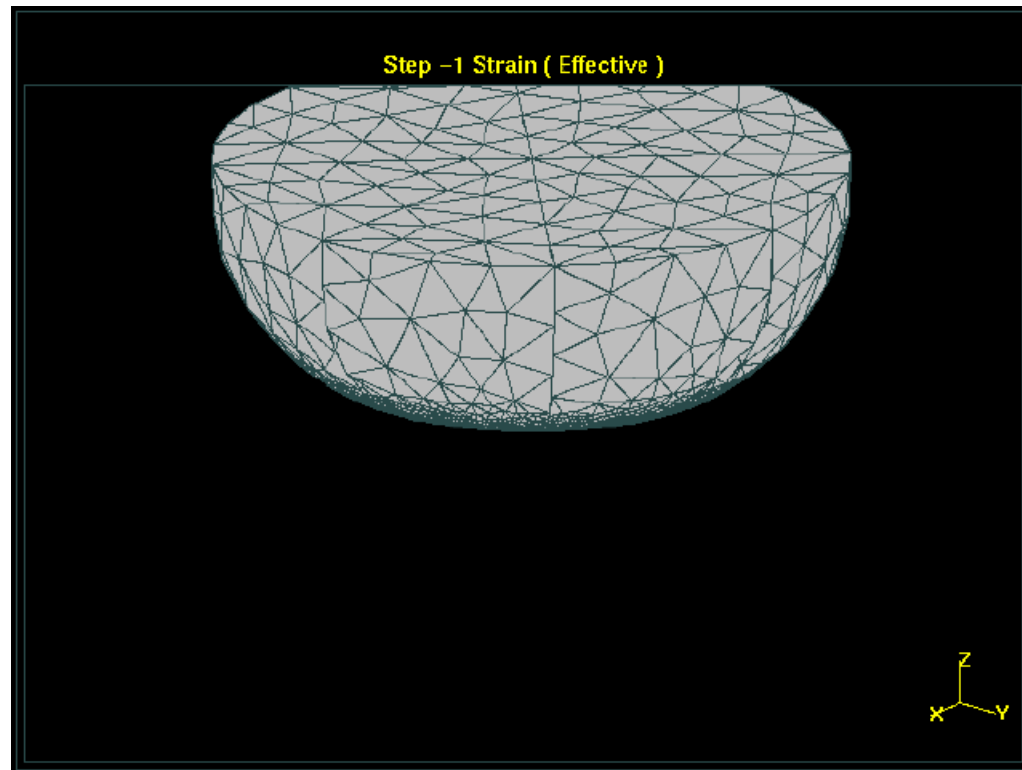
- ✓ Não há fricção (tarugos longos com moderada pressão).
- ✓ Ângulos baixos para a matriz (menor deformação redundante e pressão de extrusão).



# Extrusão hidrostática.

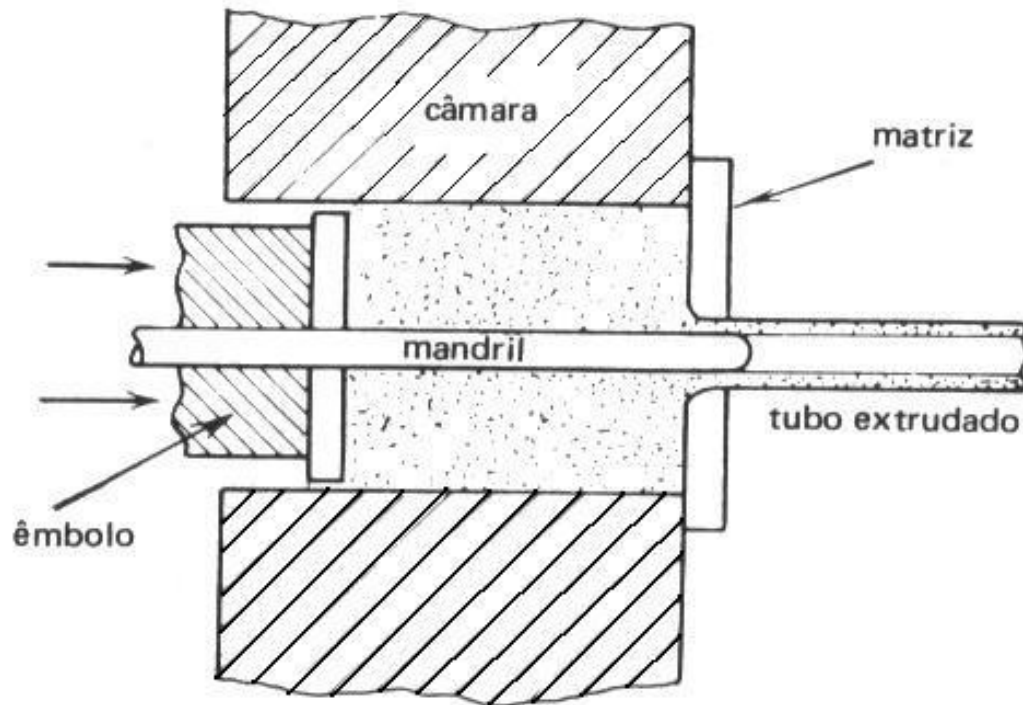


# Extrusão helicoidal.





# Extrusão de tubos.

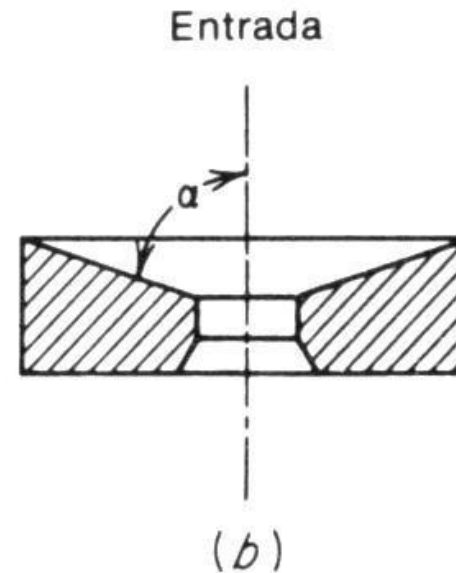
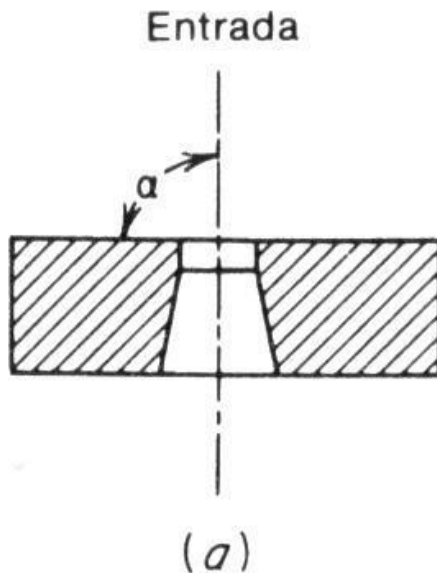


- ✓ Processo é normalmente realizado a quente.
- ✓ Determinação da parede do tubo (folga) .

# Matrizes.



- ✓ Matriz de face plana (zona morta e cisalhamento interno formando o próprio ângulo de matriz).
- ✓ Matriz de face cônica.
- ✓ Capacidade de resistência a altas temperaturas, oxidação e atrito.
- ✓ Fabricadas em aços ligados ou metal duro.



# Lubrificação na extrusão.



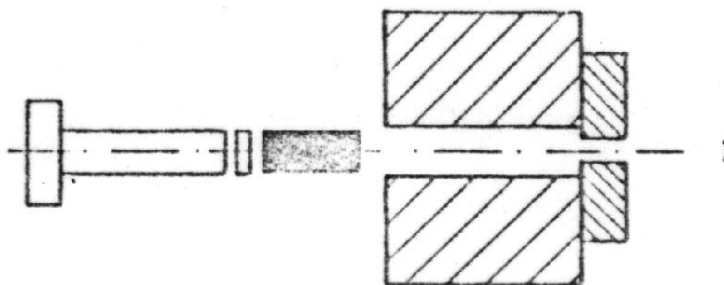
- ✓ Baixa resistência ao cisalhamento.
- ✓ Bastante estável.
- ✓ Para extrudar aços e ligas a base de níquel usam-se:

Vidro moído no estado pastoso (Ugine-Sejournet)  
Filme fino e contínuo.

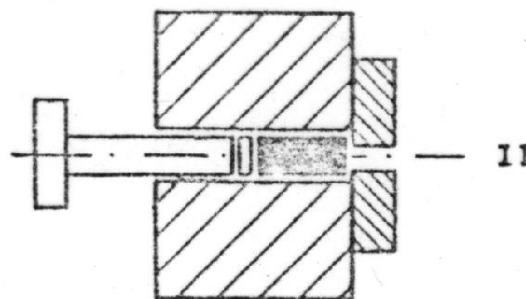
- ✓ No processo de extrusão a frio costuma-se realizar operação de recozimento e fosfatização prévia com Zn ou Cu para melhorar a aderência do lubrificante.

# Ciclos do processo de extrusão.

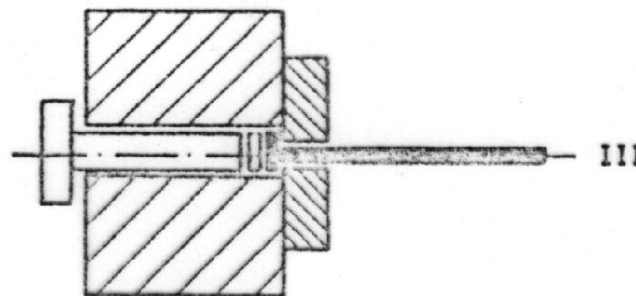
ALIMENTAÇÃO  
DA PRENSA



INÍCIO DA EXTRUSÃO COM  
AVANÇO DO PISTÃO

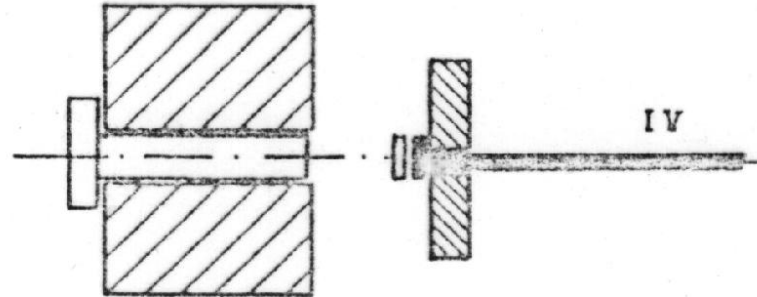


FIM DA EXTRUSÃO

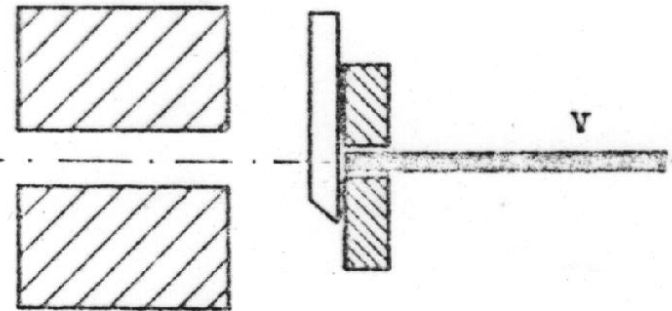
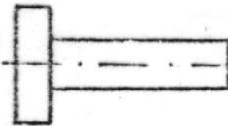


# Ciclos do processo de extrusão – Casca e cilindro seco

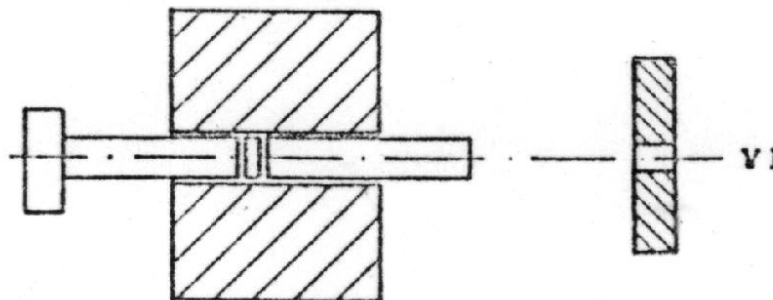
RETIRADA DA FERRAMENTA  
E DO EXTRUDADO COM O  
RESÍDUO DO TARUGO



RECUO DO PISTÃO  
E CORTE DO  
RESÍDUO DO TARUGO



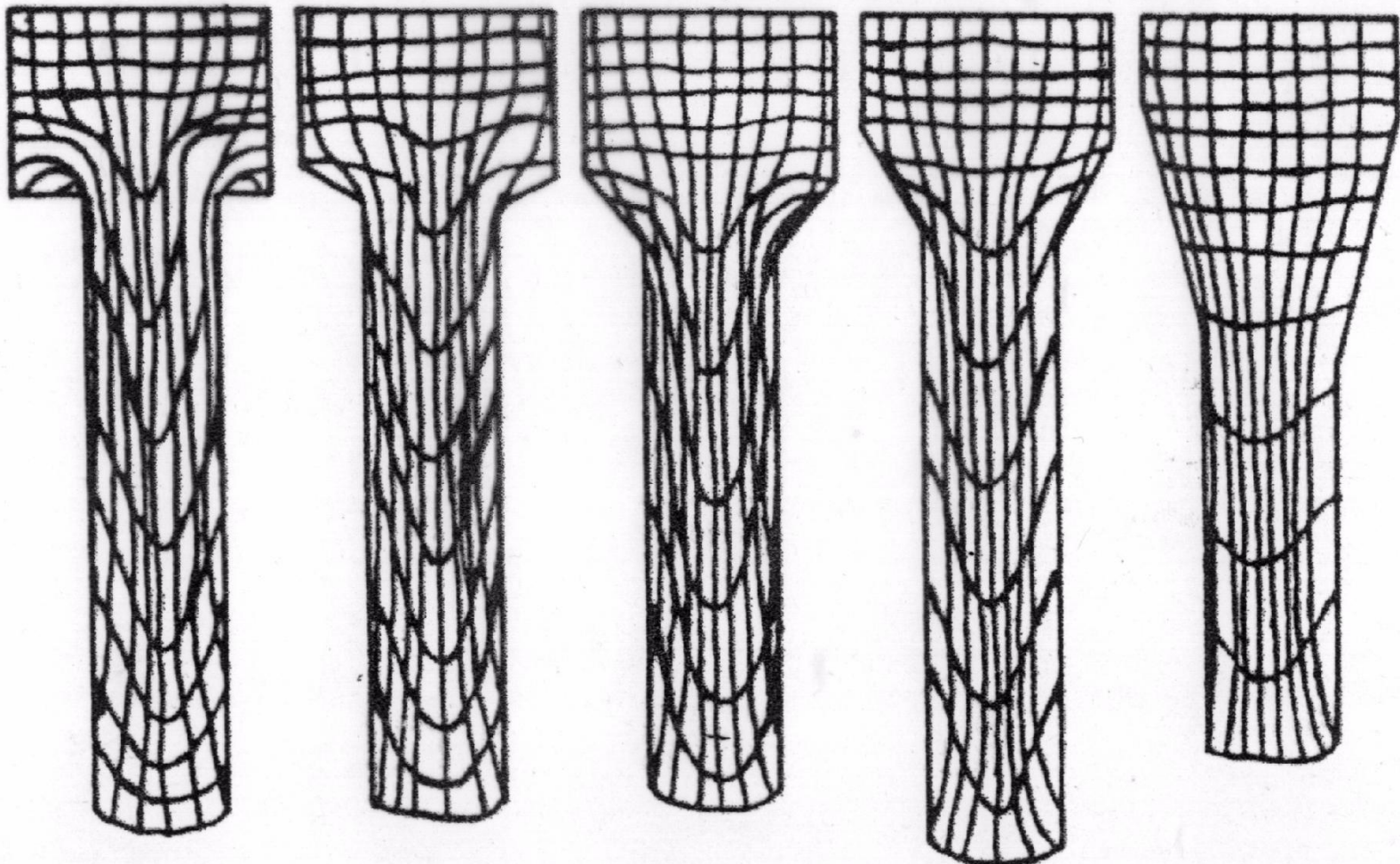
RETIRADA DA CASCA DO  
TARUGO COM AVANÇO DO  
PUNÇÃO USANDO O DISCO  
DE RASPAGEM





# Modos de escoamento na extrusão.

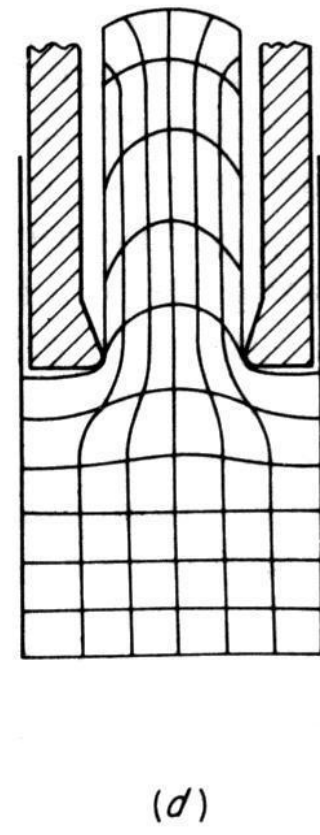
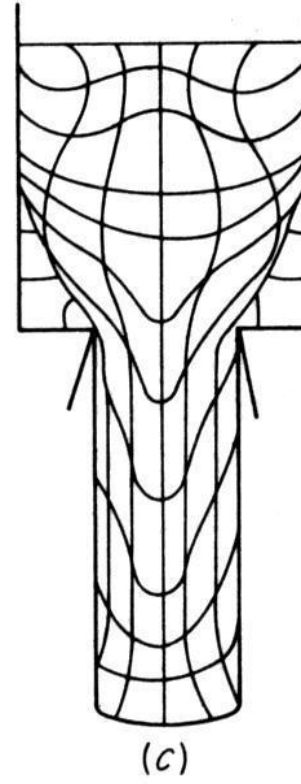
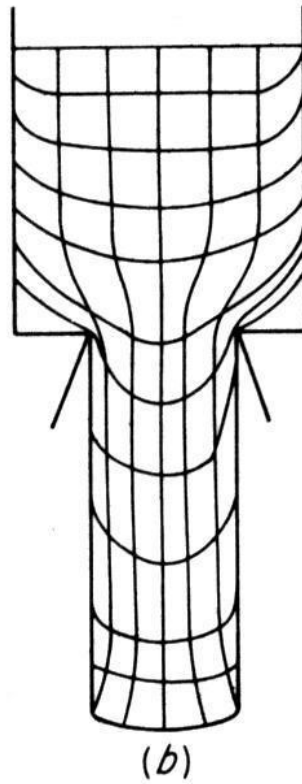
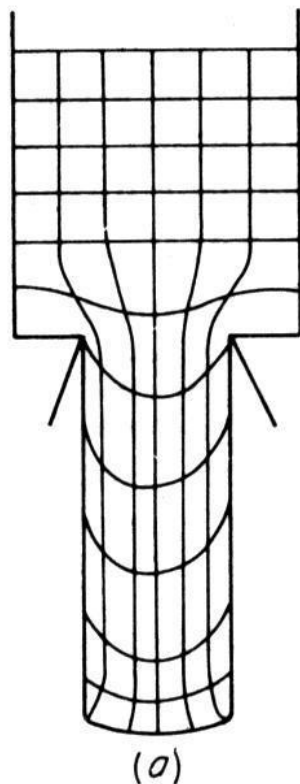
- ✓ Modificação do modo de escoamento com o ângulo da matriz reta e cônica.



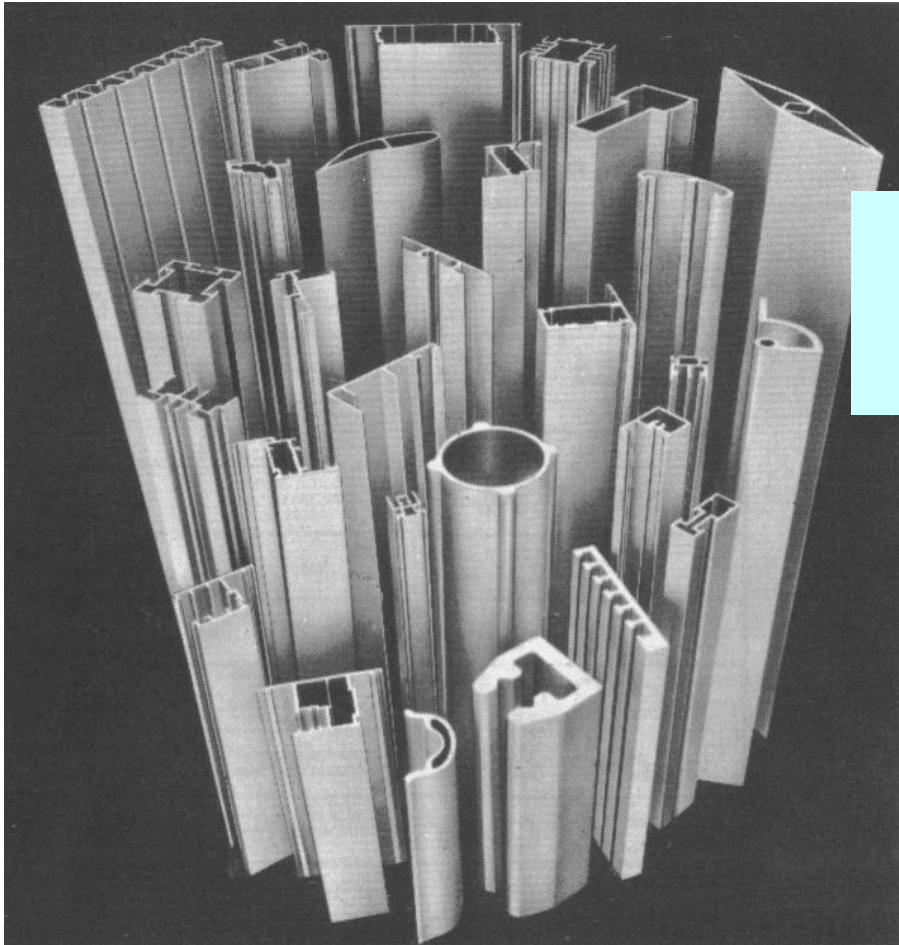


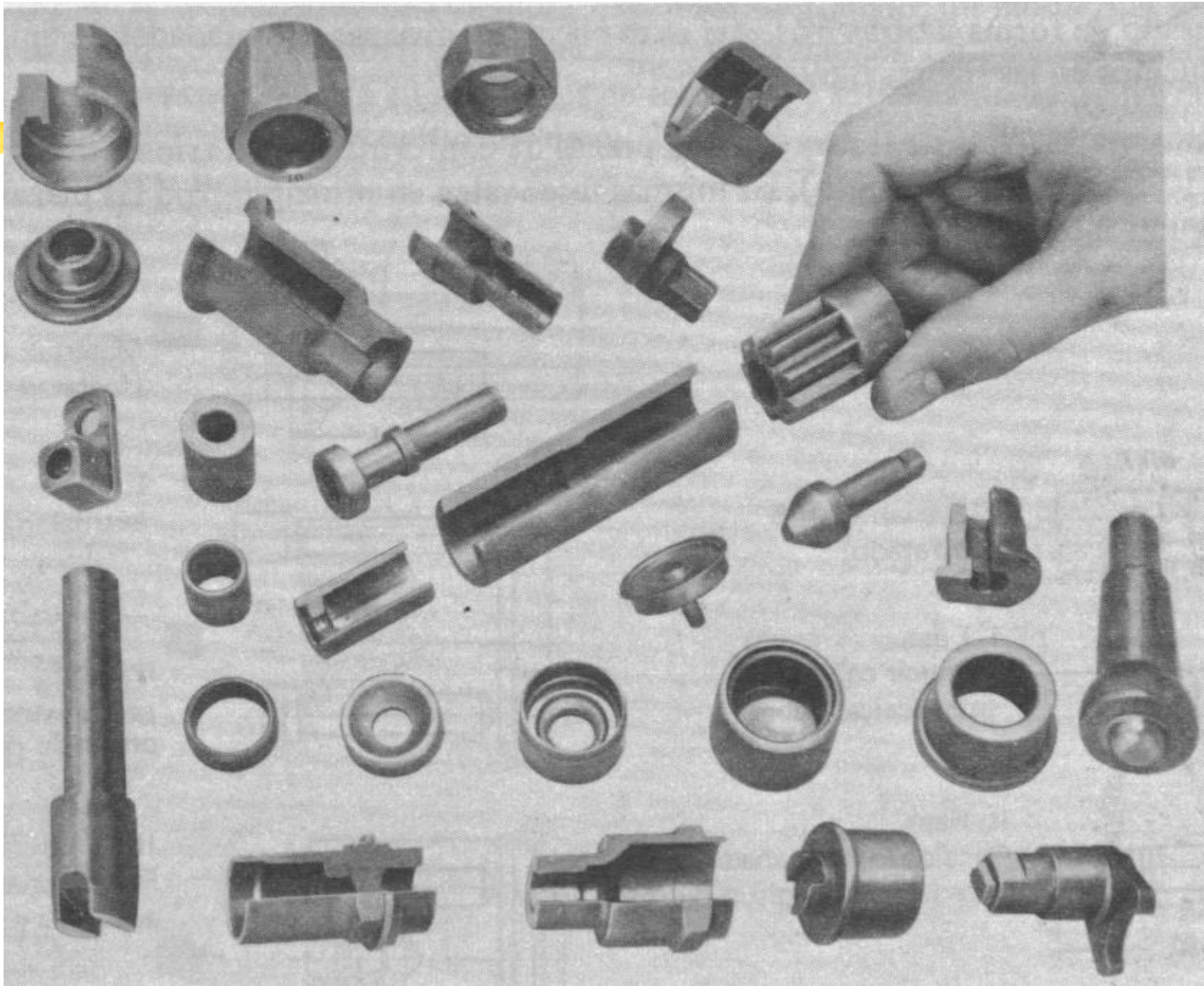
# Mecânica da extrusão.

- ✓ Metal sob pressão: fluxo pela matriz, adotando a forma de saída da mesma.
- ✓ Altos níveis de atrito entre material e container.



# Perfis de produtos extrudados a quente





# Força na extrusão.



✓ A força requerida para o processo depende da resistência do material, da relação de extrusão, da fricção na câmara e na matriz, e outras variáveis como a temperatura e a velocidade de extrusão.

A força pode ser estimada pela expressão:

(Força Ideal) 
$$F = A_o \cdot K \cdot \ln \left( \frac{A_o}{A_f} \right)$$

onde:

F = Força de extrusão.

A<sub>o</sub> = área de seção transversal do tarugo antes da extrusão.

A<sub>f</sub> = área de seção transversal do tarugo após a extrusão.

K = constante de extrusão.

✓ A força máxima de atrito entre o tarugo e o container é obtida por:



$$F_a = U \cdot l_0 \cdot \mu \cdot K$$

Onde:

$U$  = perímetro interno do container.

$l_0$  = comprimento inicial do tarugo.

$\mu$  = coeficiente de atrito.

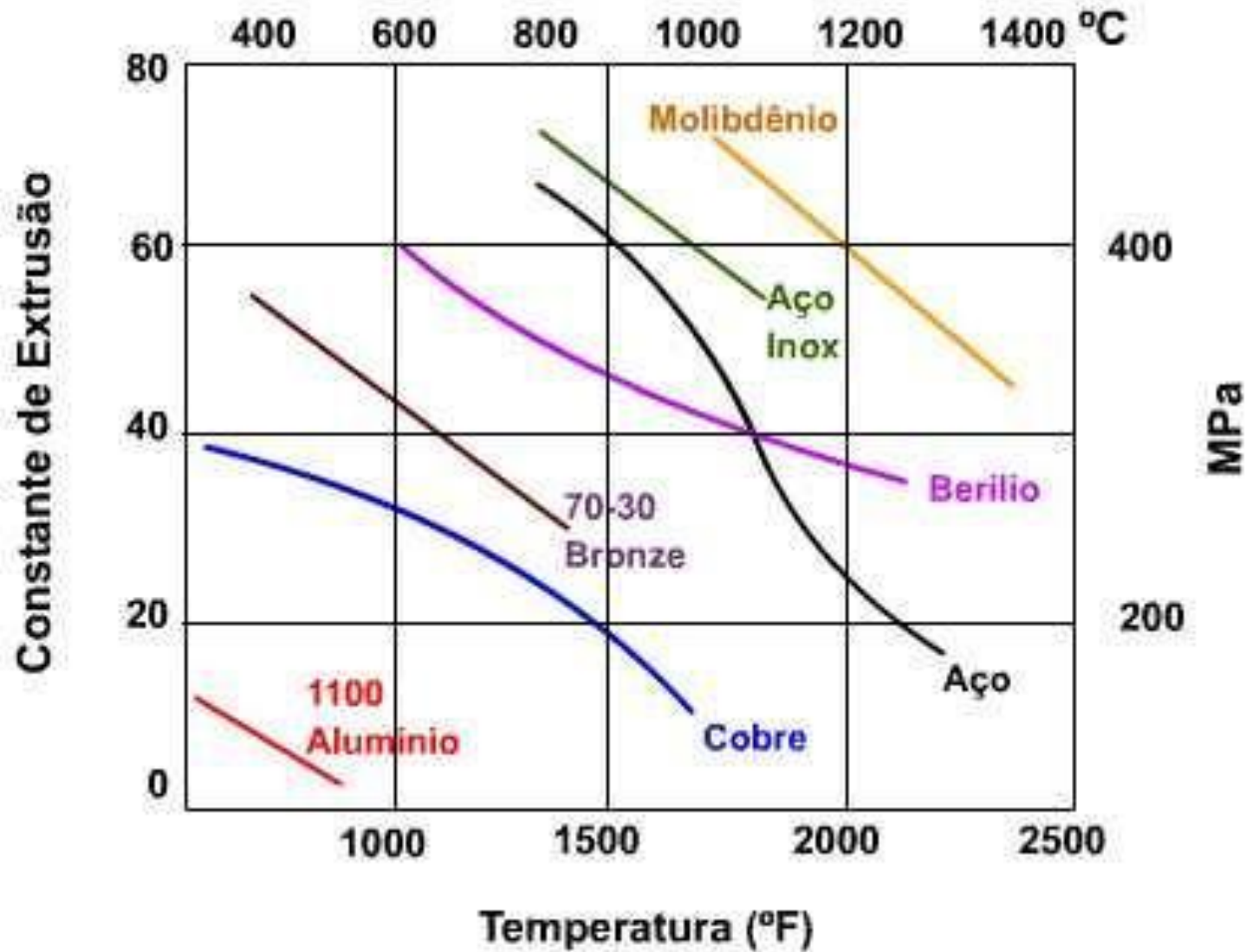
$K$  = Constante de extrusão.

✓ Sendo o atrito uma força a ser superada durante o processo, a força máxima de extrusão é calculada por:

$$F_{\max} = F + F_a$$



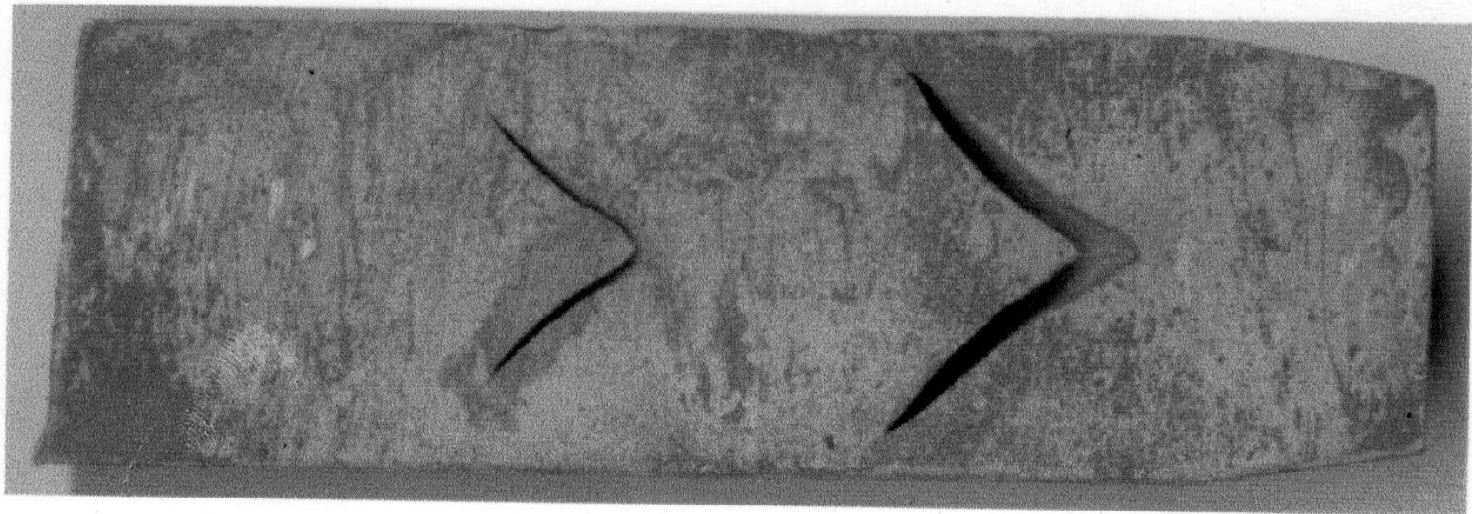
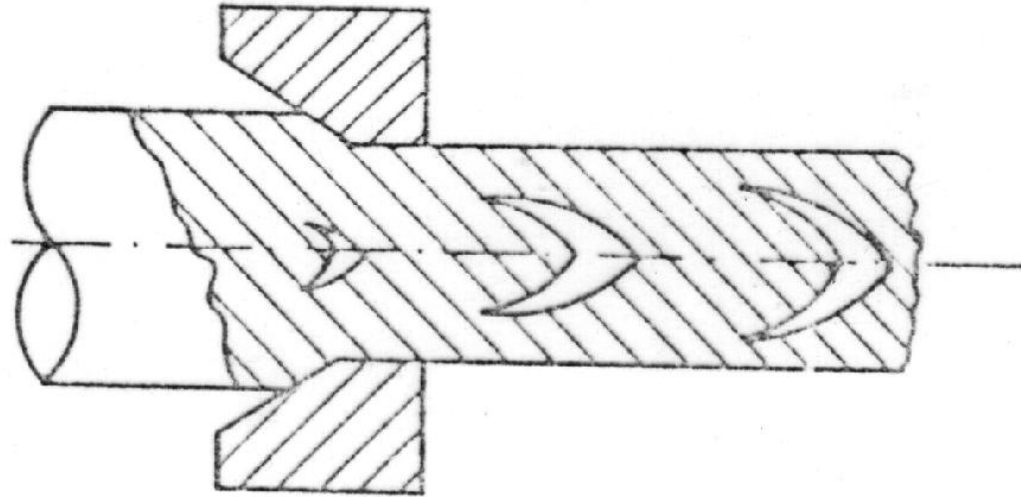
# Constante de Extrusão para Metais em Várias Temperaturas





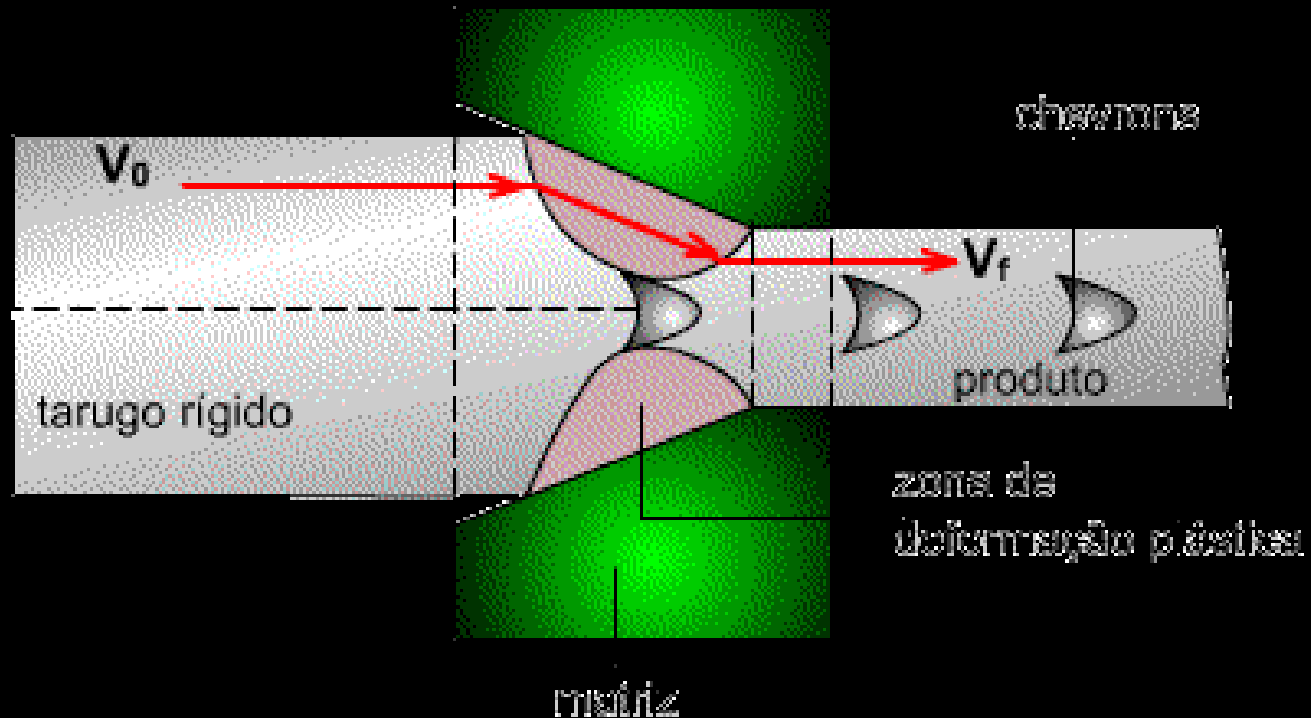


# Defeito de falta de coesão interna na forma de V (Chevron).

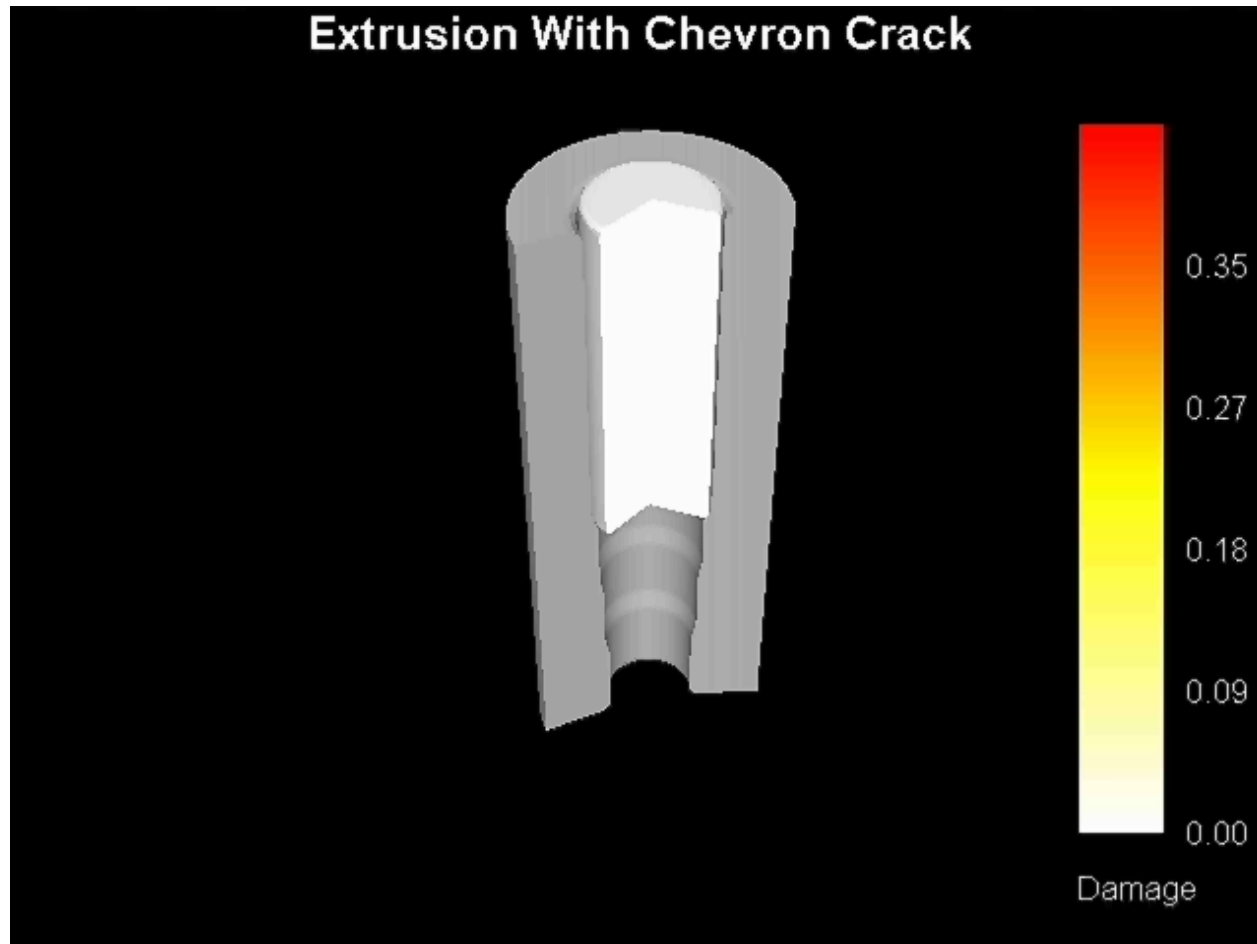


# Chevrons

## Fraturas Centrais - Chevrons



# Mecanismo de formação das 'chevrons'



# Simulação

