

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

SEP282 – PROCESSOS PARA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

- AULA 4
- PROCESSOS PRIMÁRIOS DE
CONFORMAÇÃO 2

PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais – Recalque Matriz Aberta



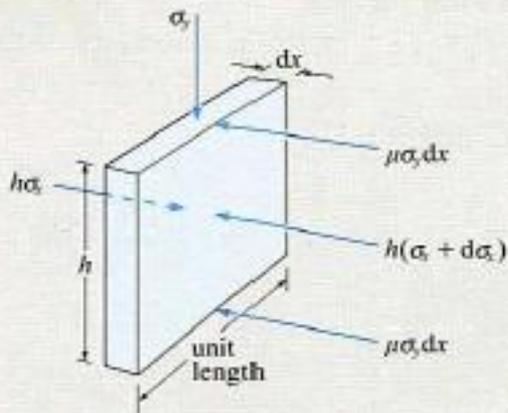
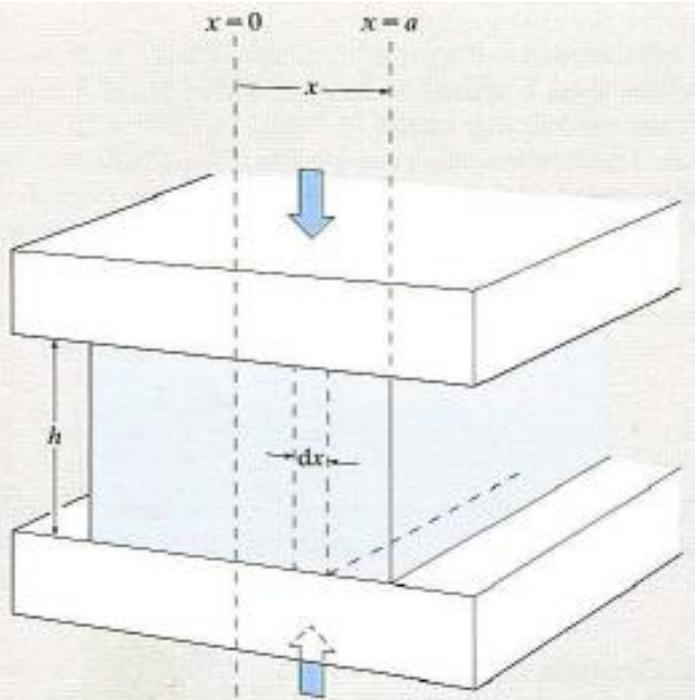
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Recalque plano

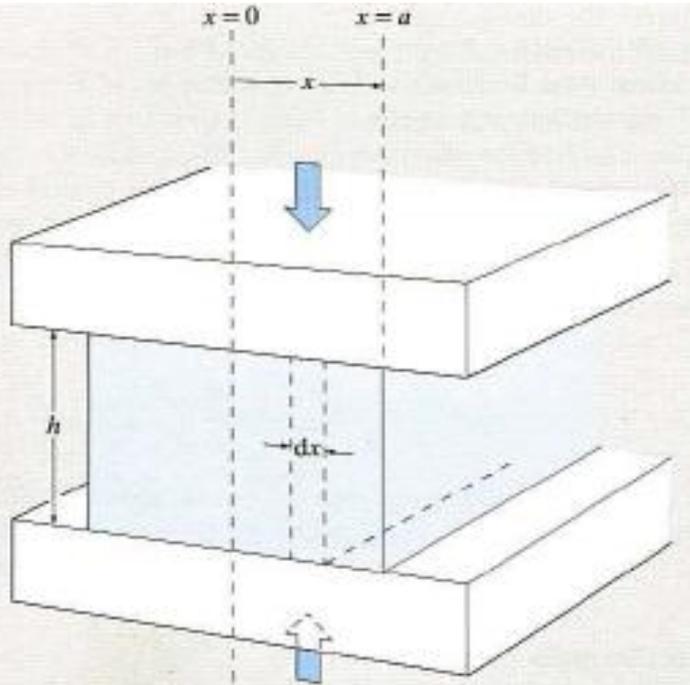
Deformação plana, material rígido plástico

A carga de forjamento é dada pela integração da tensão na direção y necessária para deformar a peça de largura $2a$ na altura inicial h

Quando reduzida a altura, a peça se expande proporcionalmente mantendo o volume original



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

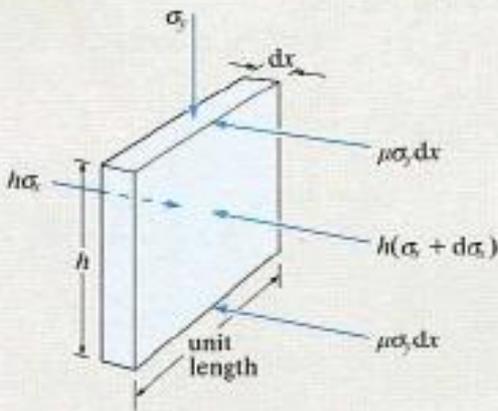


Considere a força agindo no elemento vertical de comprimento unitário e espessura dx . O elemento está a uma distância x da linha central, a qual não desliza. A força vertical é:

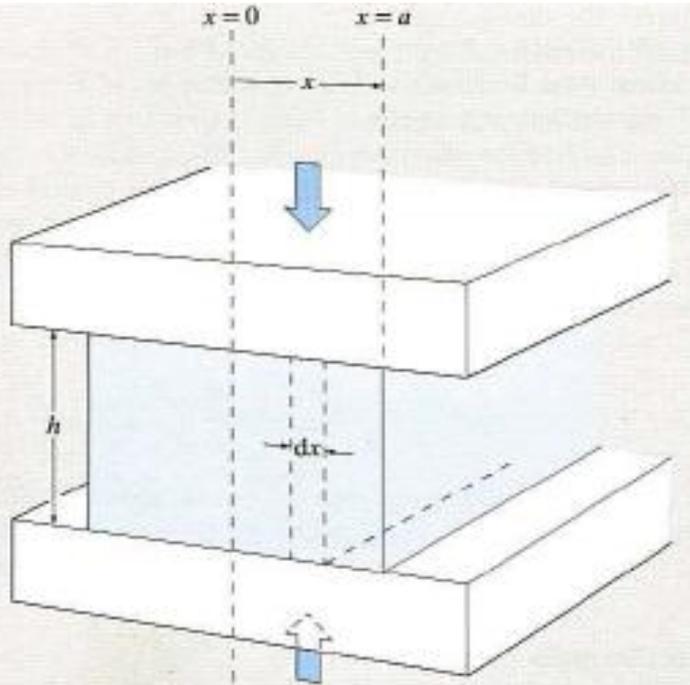
$$\text{Tensão} \times \text{área} = \sigma_y \cdot d_x \cdot 1$$

Se o coeficiente de atrito é μ a força de atrito (horizontal) será $\mu\sigma_y d_x \cdot 1$

A força total agindo nos dois lados será então $2\mu\sigma_y d_x$.



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO



O balanço de forças na horizontal resulta:

$$h \cdot 1 \cdot (\sigma_x + d\sigma_x) + 2\mu\sigma_y dx \cdot 1 = h \cdot 1 \cdot \sigma_x$$

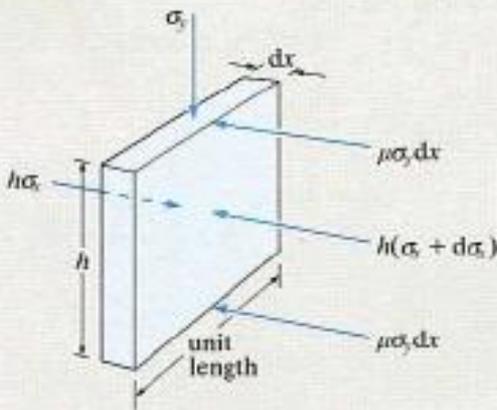
Rearranjando:

$$2\mu\sigma_y dx = -hd\sigma_x$$

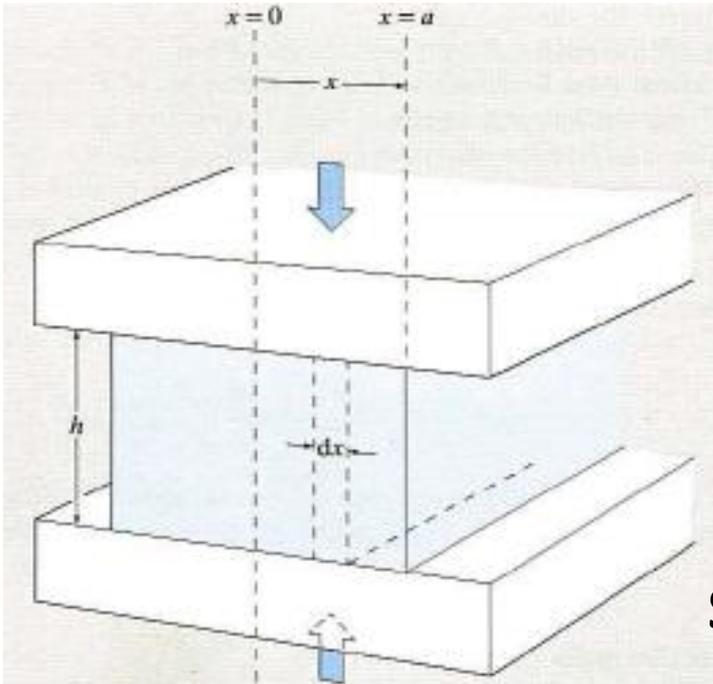
mas $\mu\sigma_y = \tau$

Portanto: $d\sigma_x = -2\tau dx/h$

Integrando $\sigma_x = -\frac{2\tau}{h}x + C$ (I)



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO



Usando o critério de escoamento de VonMises para deformação plana:

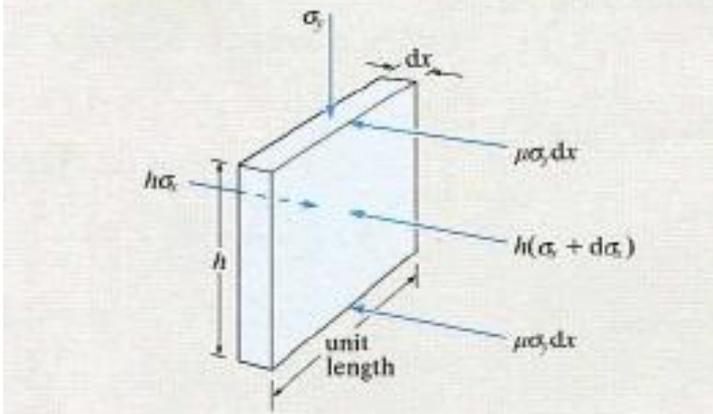
$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_y - \sigma_x = \left| 2\bar{\sigma} / \sqrt{3} \right|$$

Ou seja:
$$\sigma_y = \sigma_x + \left| \frac{2\bar{\sigma}}{\sqrt{3}} \right|$$

Substituindo (I):
$$\sigma_y = -\frac{2\tau}{h}x + C + \left| \frac{2}{\sqrt{3}}\bar{\sigma} \right|$$

Na borda:

$$x = l/2 \quad \sigma_x = 0 \quad \sigma_y = 0 + \left| \frac{2\bar{\sigma}}{\sqrt{3}} \right|$$

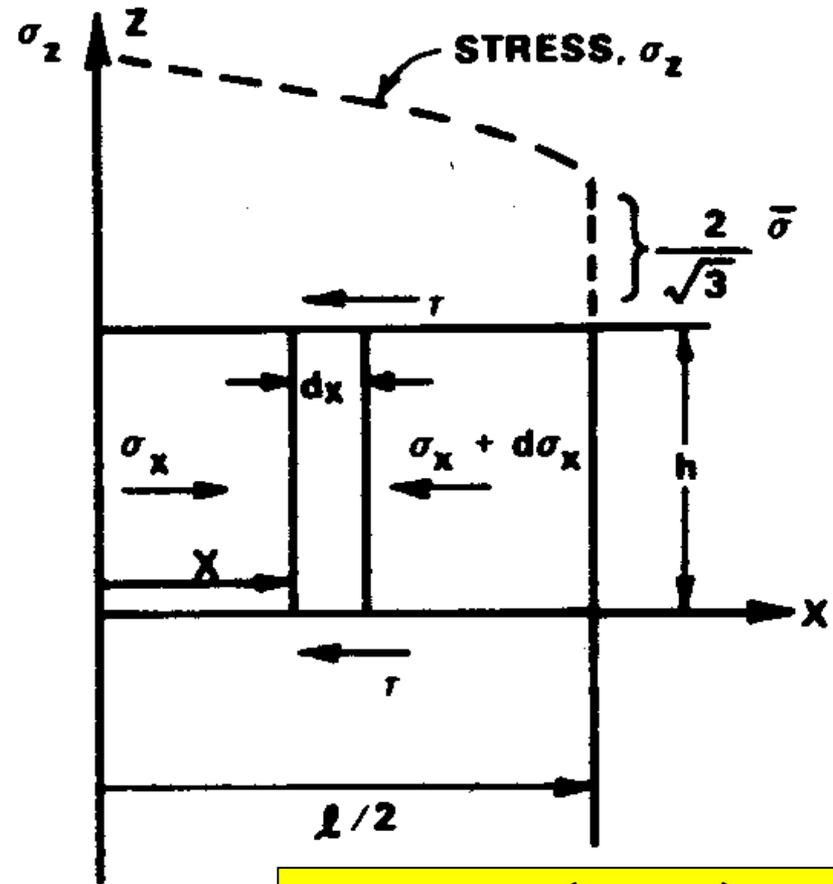
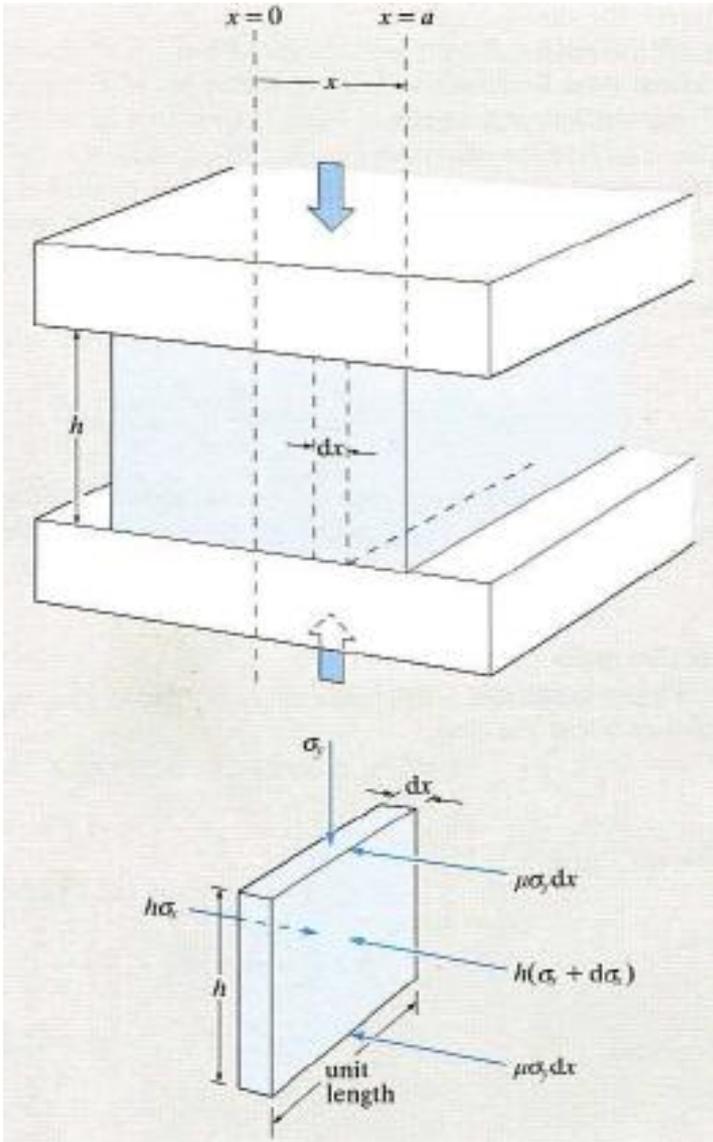


Assim:

$$\sigma_y = -\frac{2\tau}{h} \left(\frac{l}{2} - x \right) - \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}$$

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

A forma da tensão na direção vertical será:



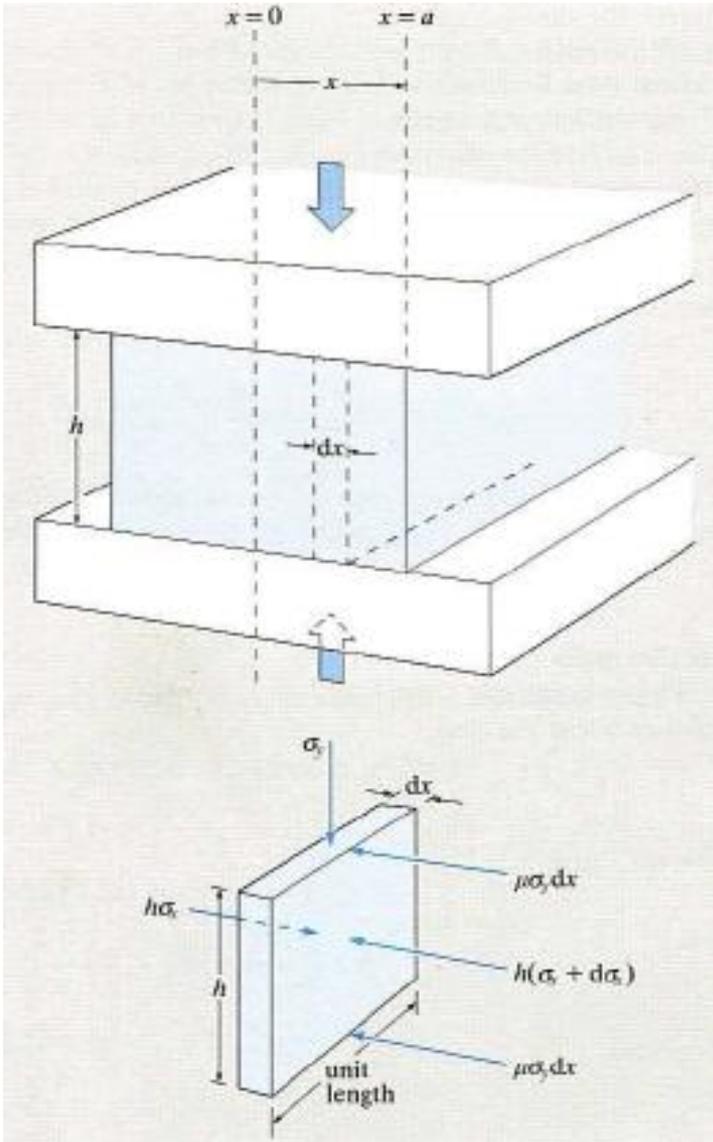
$$\sigma_y = -\frac{2\tau}{h} \left(\frac{l}{2} - x \right) - \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}$$

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

A carga de recalque será:

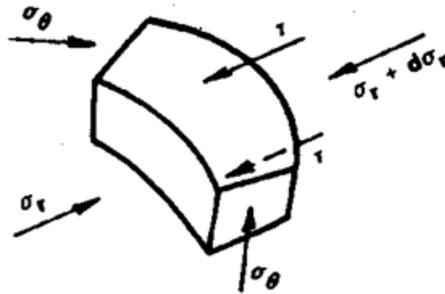
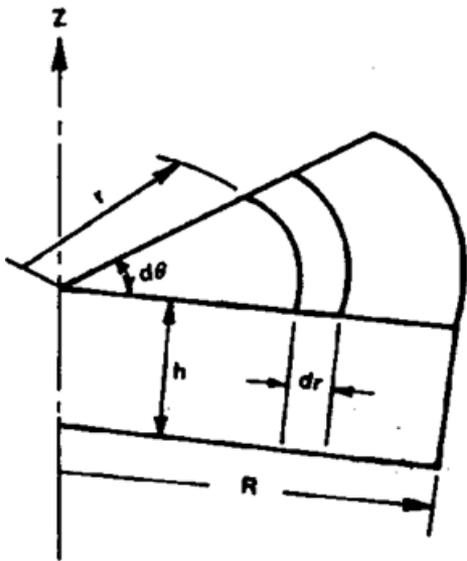
$$L = \int_{-l/2}^{l/2} \sigma_y dx$$

$$L = \frac{2\bar{\sigma}}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{m\ell}{4h} \right) \ell$$



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Recalque axissimétrico



$$\Sigma F_r = \sigma_r (d\theta) r h - (\sigma_r + d\sigma_r) (r + dr) h d\theta + 2\sigma_\theta \operatorname{sen} \frac{d\theta}{2} h dr - 2\tau d\theta dr = 0$$

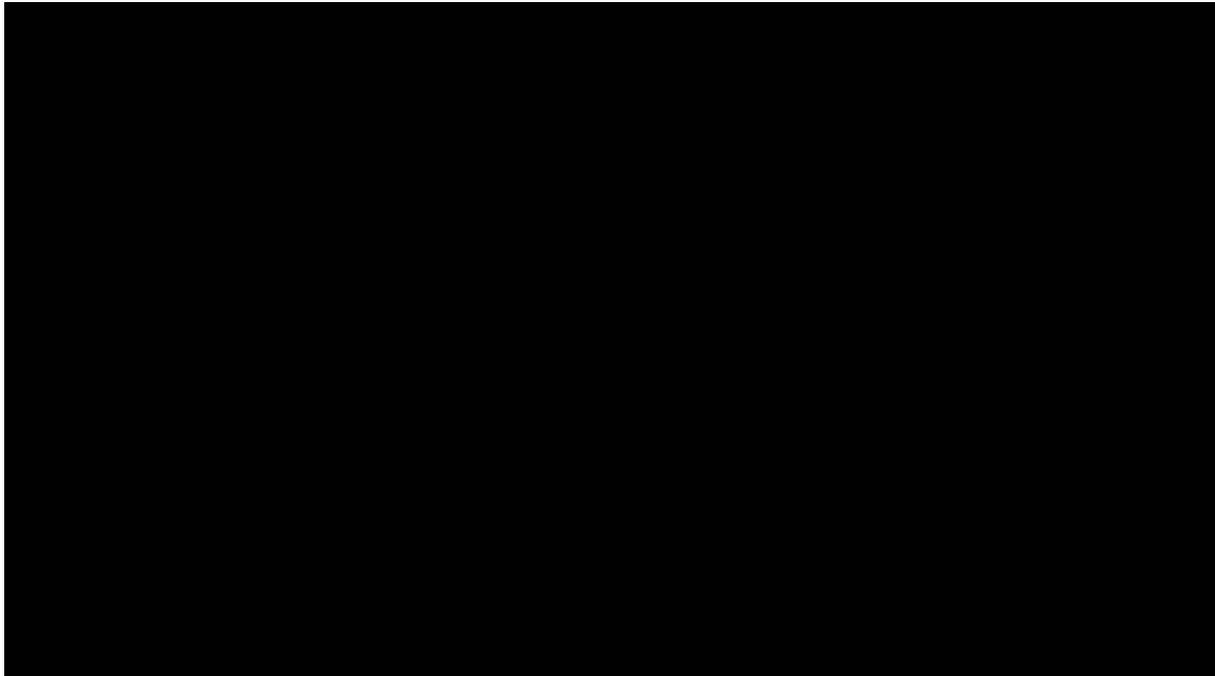
$$\sigma_r = -\frac{2\tau}{h} r + C$$

$$\sigma_z = \frac{2\tau}{h} (r - R) - \bar{\sigma}$$

$$L = \bar{\sigma} \pi R^2 \left(1 + \frac{2}{3\sqrt{3}} m \frac{R}{h} \right)$$

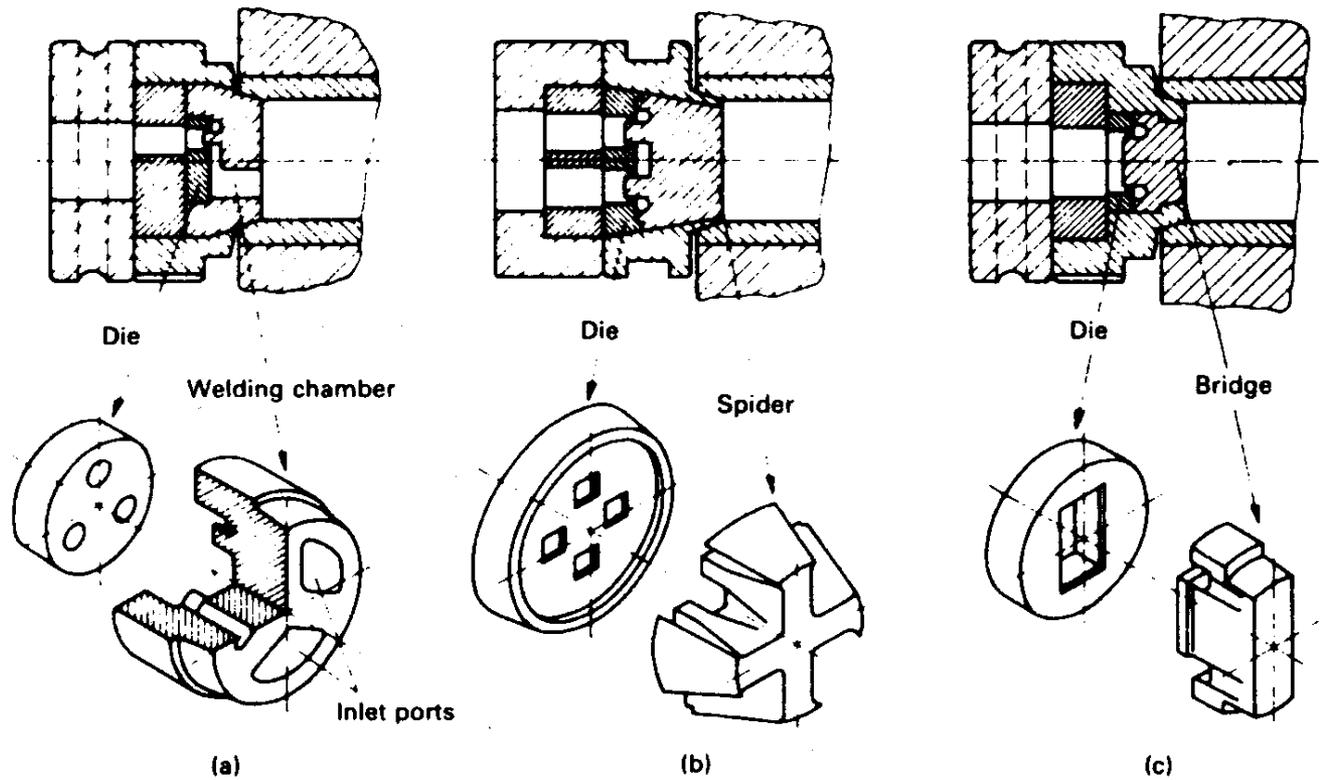
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais - Extrusão



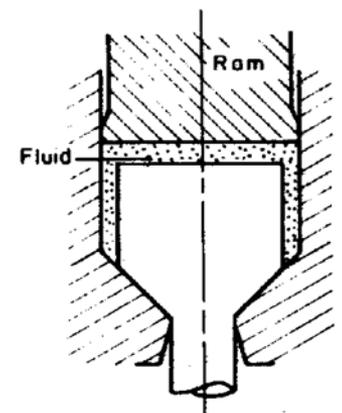
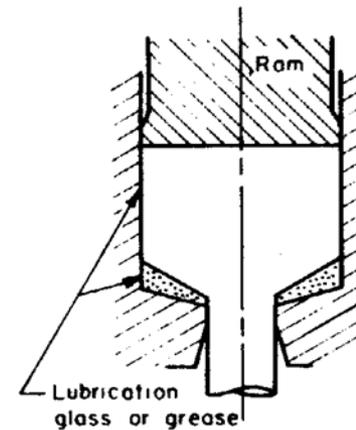
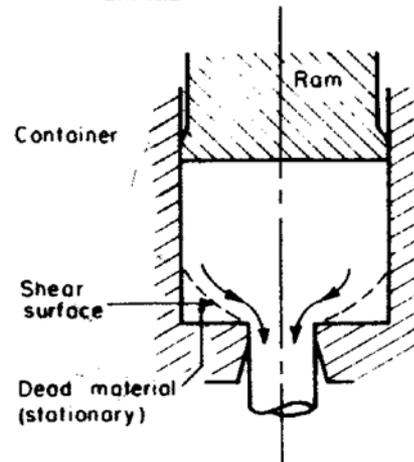
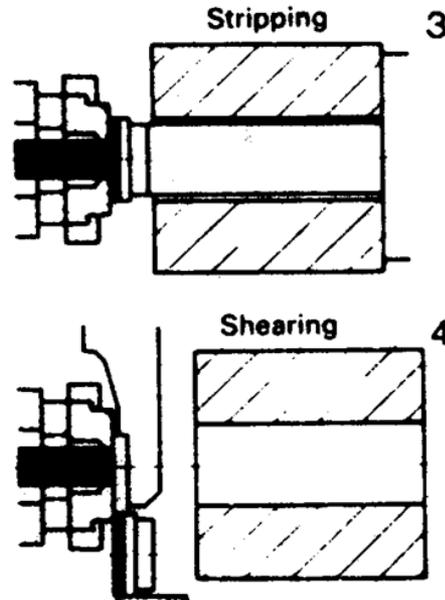
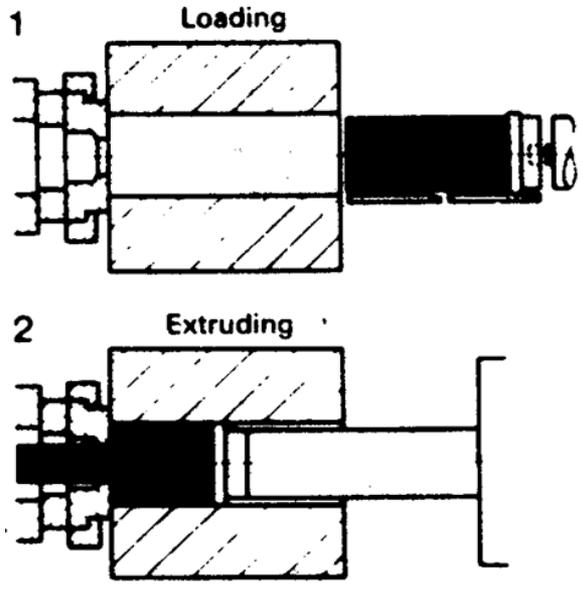
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Extrusão de perfis diversos



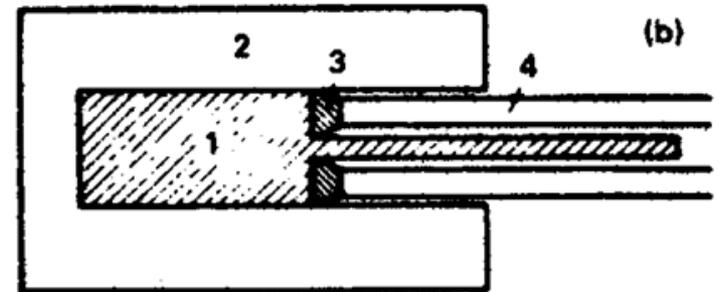
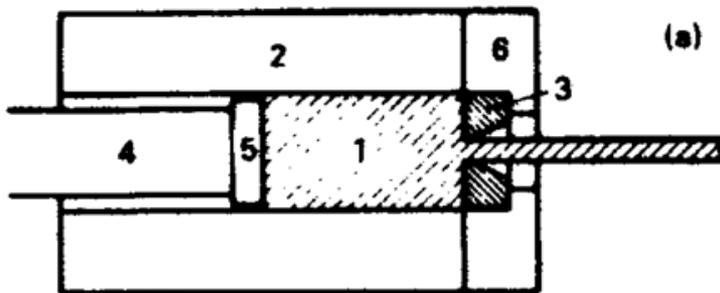
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Extrusão direta:

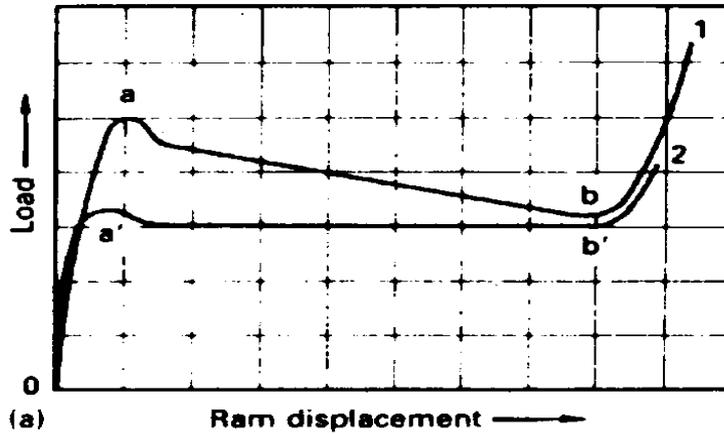


PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

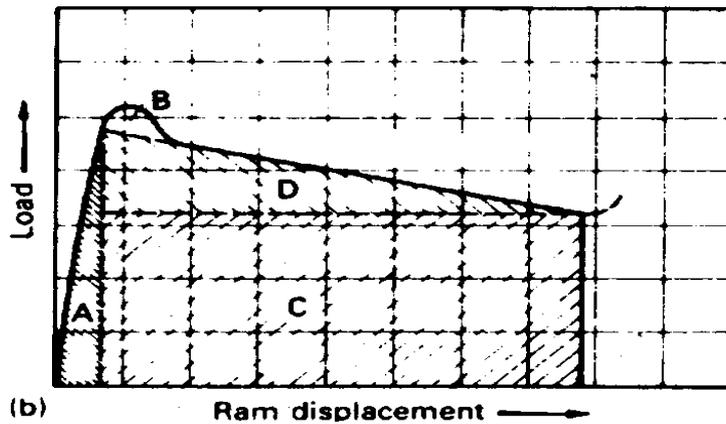
Processo de retro-extrusão



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

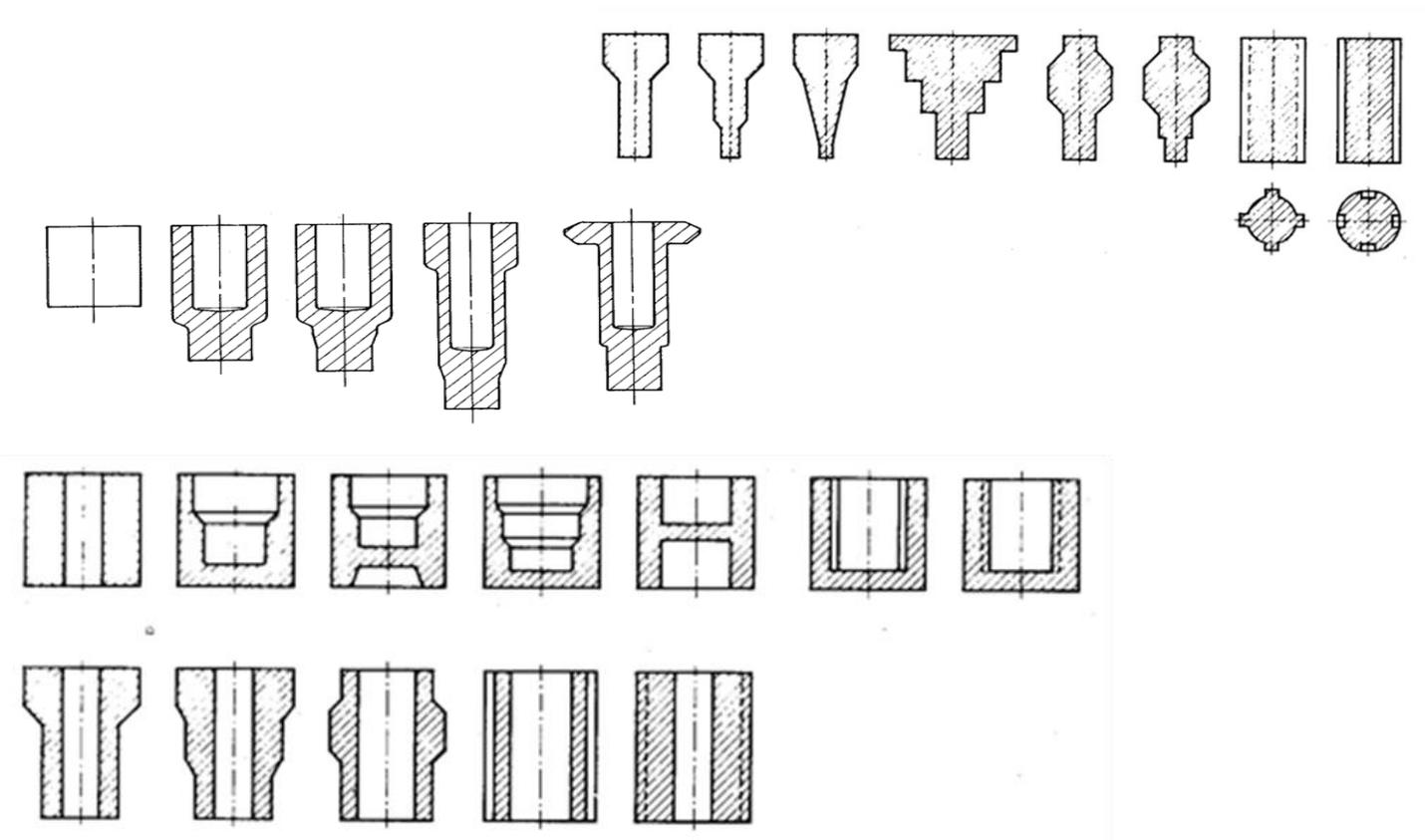


Carga no processo de extrusão



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Extrusão combinada



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Cargas de extrusão

$$P = P_{fd} + P_{fc} + P_{dh} + P_{ds}$$

Sendo:

P_{fd} : a carga necessária para superar o atrito na superfície da matriz (na extrusão direta) ou na interface entre matriz e punção (na reto-extrusão),

P_{fc} : a carga necessária para superar o atrito na câmara na extrusão direta ($P_{fc} = 0$ na retro-extrusão),

P_{dh} : a carga necessária para deformação homogênea, e

P_{ds} : a carga necessária para cisalhamento interno devido à deformação heterogênea

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Carga de extrusão fórmulas empíricas

Fonte	Fórmula	Comentários
Siebel ⁽¹³⁻¹³⁾ Também Feldman ⁽¹³⁻¹⁾	$P = A_0 \bar{\sigma}_a \ln R + \frac{2}{3} \alpha A_0 \bar{\sigma}_a$ $+ \frac{A_0 \bar{\sigma}_a \ln R \mu}{\cos \alpha \sin \alpha} + \pi DL \bar{\sigma}_0 \mu$	<i>P</i> inclui cargas devido à deformação homogênea, cisalhamento, fricção na matriz e na câmara da matriz
P.E.R.A. ⁽¹³⁻¹²⁾	$P = A_0 \bar{\sigma}_0 (3.45 \ln R + 1.15)$	Para aços carbono 0.1-0.3%C
Billigmann ⁽¹³⁻³⁾	$P = \bar{\sigma}_a A_0 (\ln R + 0.6)$ $\left(1.25 + 2\mu \sqrt{\frac{\pi L}{A_0}} \right)$	
Pugh et al ⁽¹³⁻¹⁴⁾	$P = 8.2 A_0 \sigma_u^{0.78} (\ln R)^{0.73}$ $= 2.7 A_0 H^{0.78} (\ln R)^{0.73}$	Originalmente derivada para aços com fosfato de zinco +MoS ₂ <i>H</i> = Dureza do tarugo antes da extrusão, kg/mm ² . σ_u em ton/in ² , 1 ton = 2240lb, <i>P</i> em tons
James-Kottcamp ⁽¹³⁻¹⁵⁾	$P = 0.5 A_0 (\bar{\sigma}_0 + \sigma_u F_n) \bar{\epsilon}_a$ $\exp \frac{4\mu L}{D}$ $F_n = \left(\frac{e \bar{\epsilon}_a}{n} \right)^n$ $\bar{\epsilon}_a = 1.24 \ln R + 0.53$	Baseado na deformação média, ϵ_a , determinada em modelos de teste com chumbo e $\alpha = 27^\circ$ <i>e</i> = 2.71828

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Carga de retro-extrusão fórmulas empíricas

Fonte	Fórmula	Comentários
P.E.R.A. ⁽¹³⁻¹²⁾	$P = A_0 \sigma_0 \left(3.45 \ln \frac{A_0}{A} + 1.15 \right)$	Para aços carbonos 0.1-0.3%C
Pugh et al ⁽¹³⁻¹⁴⁾	$P = A_0 6.0 \sigma_u^{0.8} (\ln R)^{0.72}$ $= A_0 2.8 H^{0.72} (\ln R)^{0.72}$	Para aços com fosfato de zinco +Bonderlube 235 H = Dureza do tarugo antes da extrusão, kg/mm ² . σ_u em ton/in ² , 1 ton = 2240lb, P em tons
James-Kottcamp ⁽¹³⁻¹⁵⁾	$P = A_0 \left(\frac{\bar{\sigma}_0 + \sigma_u F_n}{2.4} \right) \bar{\epsilon}_a$ $F_n = \left(\frac{e \bar{\epsilon}_a}{n} \right)^n$ $\bar{\epsilon}_a = 2.36 \ln R + 0.28$	Baseado na deformação média, ϵ_a , determinada em modelos de teste com chumbo e $\alpha = 27^\circ$
Schoffmann ⁽¹³⁻¹⁶⁾	$P = A_0 K_c \sigma_u \ln \frac{A_0}{A}$	$e = 2.71828$ $K_c = 2.5 \sim 3.0$ para aço de baixo carbono, mas usado $K_c = 3.0$