

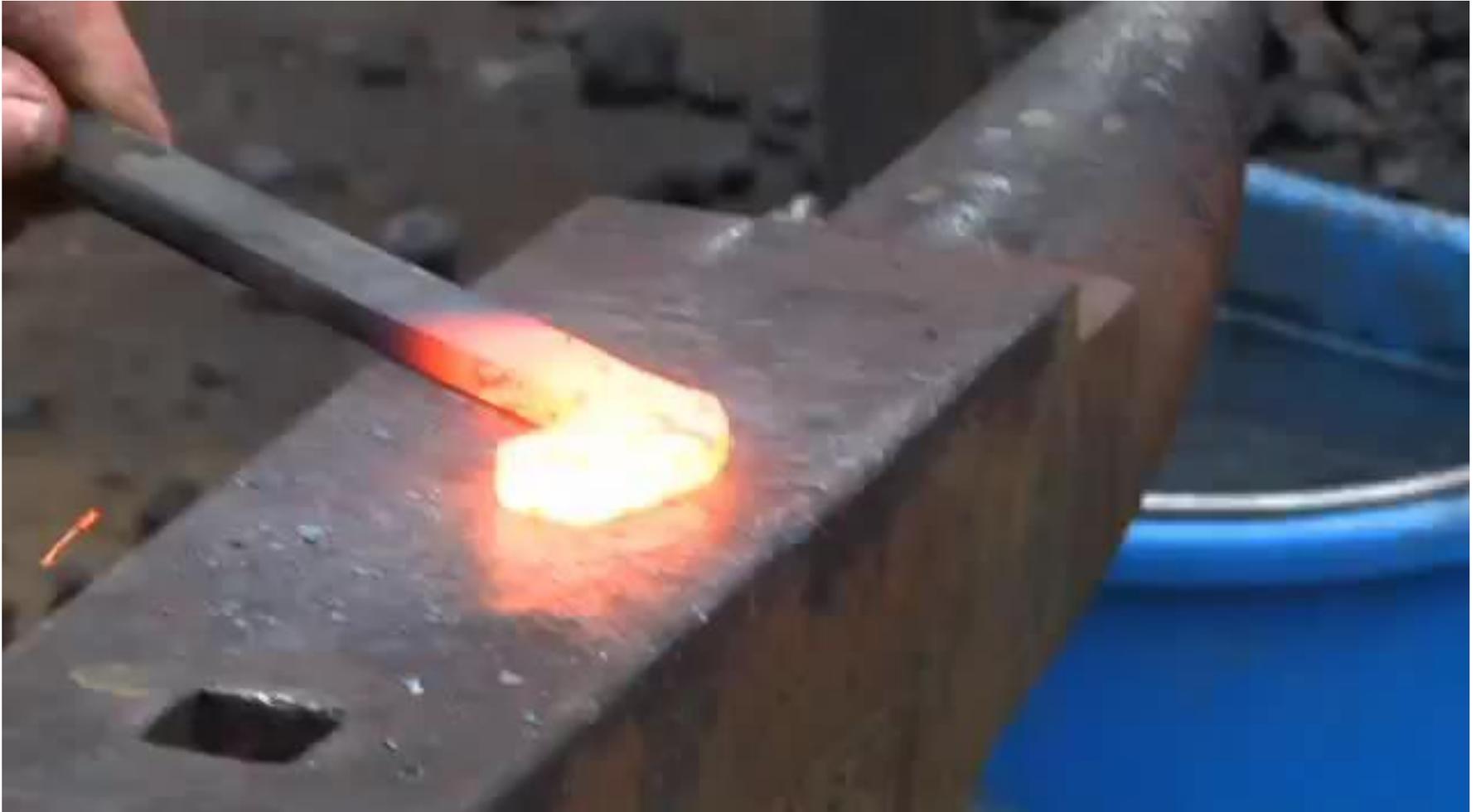
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

SEP277 - PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO E NÃO-CONVENCIONAIS

- AULA 2
- PROCESSOS PRIMÁRIOS DE CONFORMAÇÃO

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais – forjamento manual



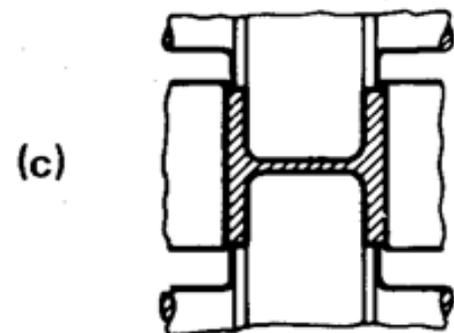
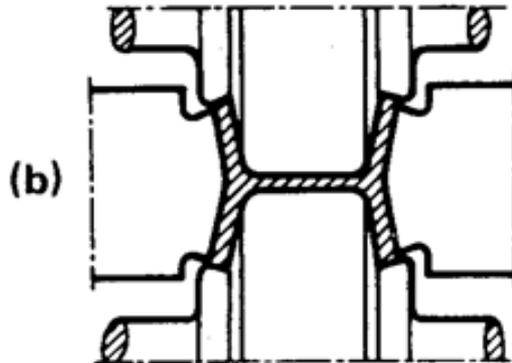
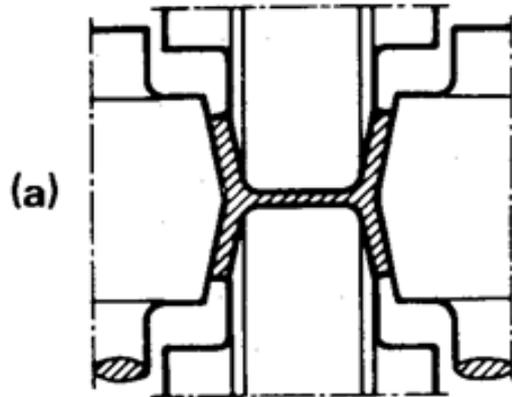
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Processo de laminação de placas e chapas



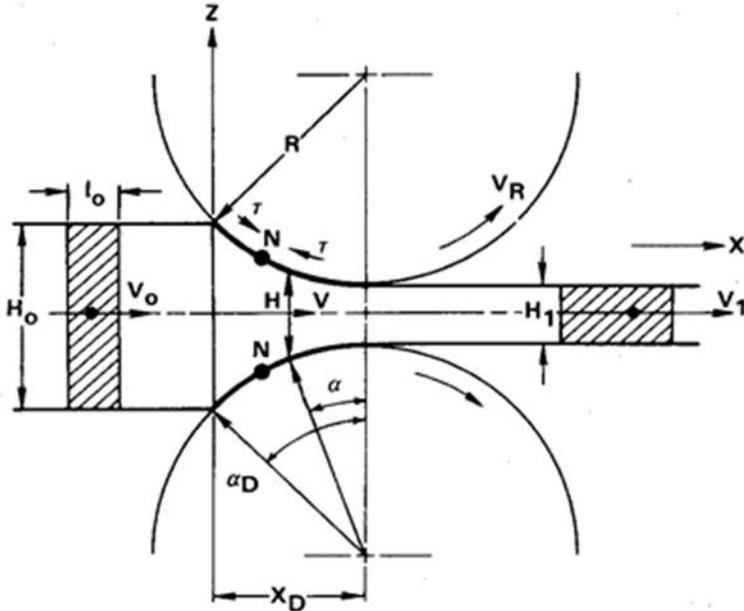
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Processo de laminação de perfis



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Laminação de tiras



Carga de separação dos rolos

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

Sendo: $h = 0.5(H_0 - H_1)$.

$$l = R\alpha_D,$$

$$\cos \alpha_D = 1 - (H_0 - H_1)2R.$$

$$\sigma_Z = \frac{K_2}{K_1} \ln \left(\frac{h_1}{h_0 + K_1 X} \right) + \sigma_{Z1}$$

Sendo: $K_1 = -2 \tan \alpha$

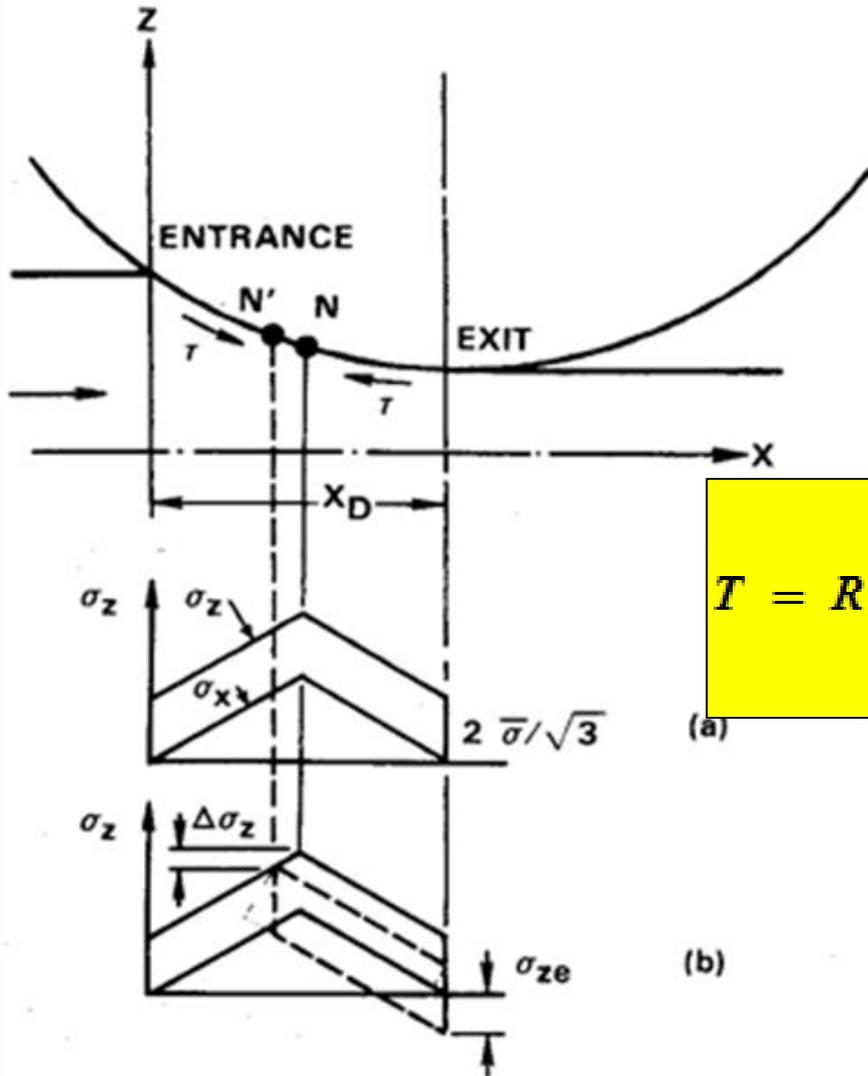
$$K_2 = \frac{2\bar{\sigma}K_1}{\sqrt{3}} + 2\tau(1 + \tan^2 \alpha)$$

$$\tau = m\bar{\sigma}/\sqrt{3}$$

$$\epsilon_D = \frac{V_R}{H_0} \left[\frac{2(H_0 - H_1)}{R} \right]^{1/2}$$

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Tensão na região de deformação



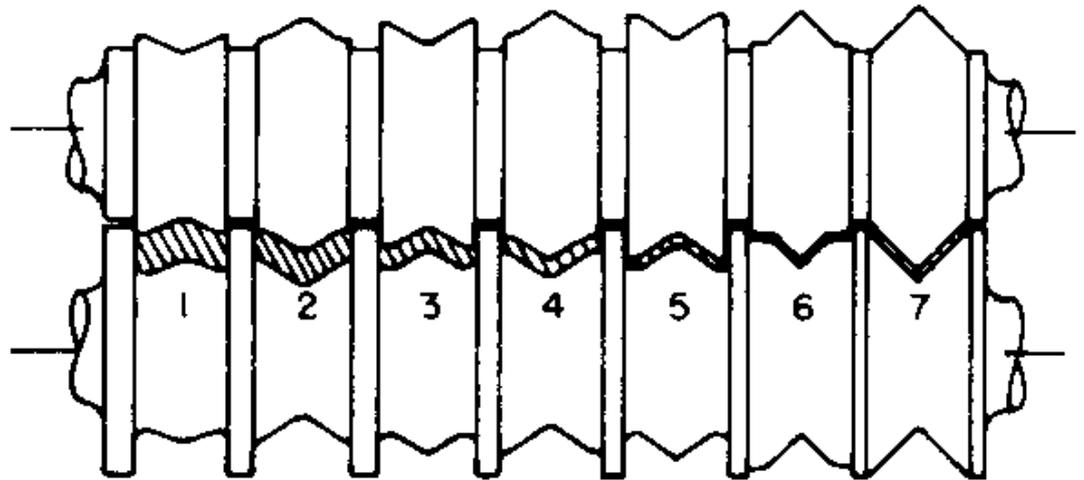
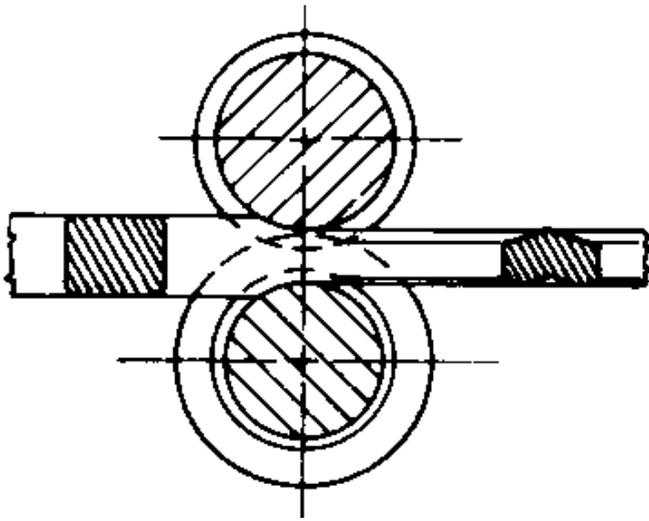
$$T = R\tau \left[\int_0^{X_N} (1 + \tan^2 \alpha) dx - \int_{X_N}^{X_D} (1 + \tan^2 \alpha) dx \right]$$

(a)

(b)

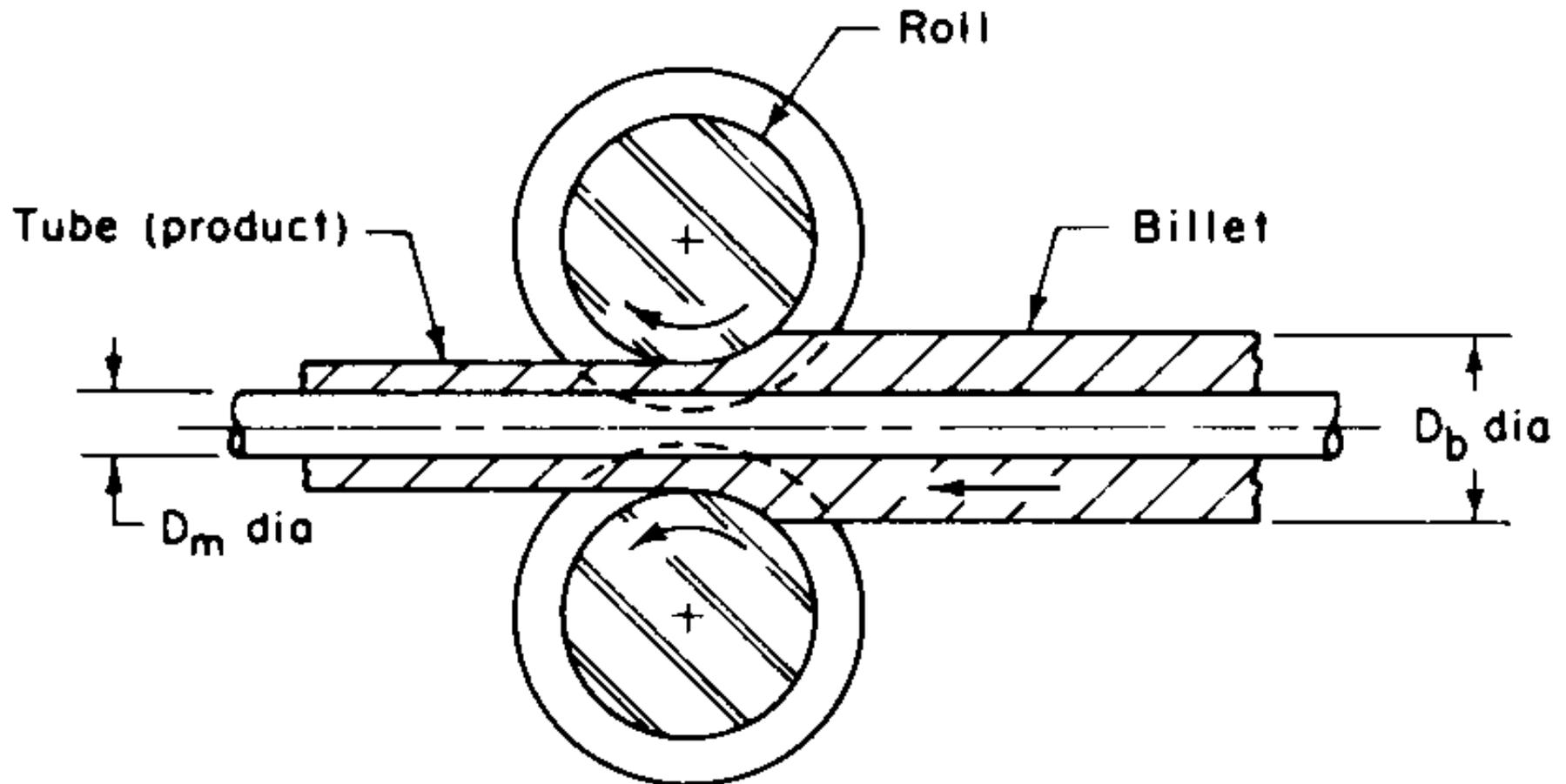
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Laminação de perfis diversos



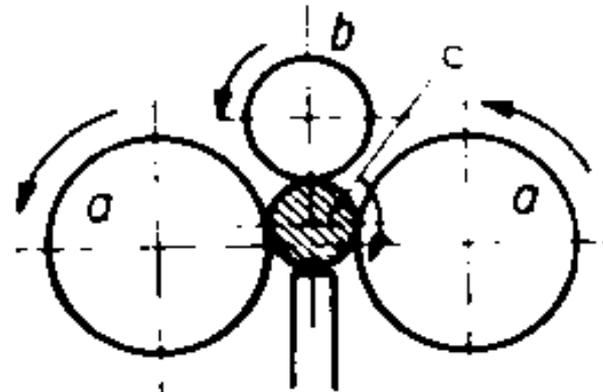
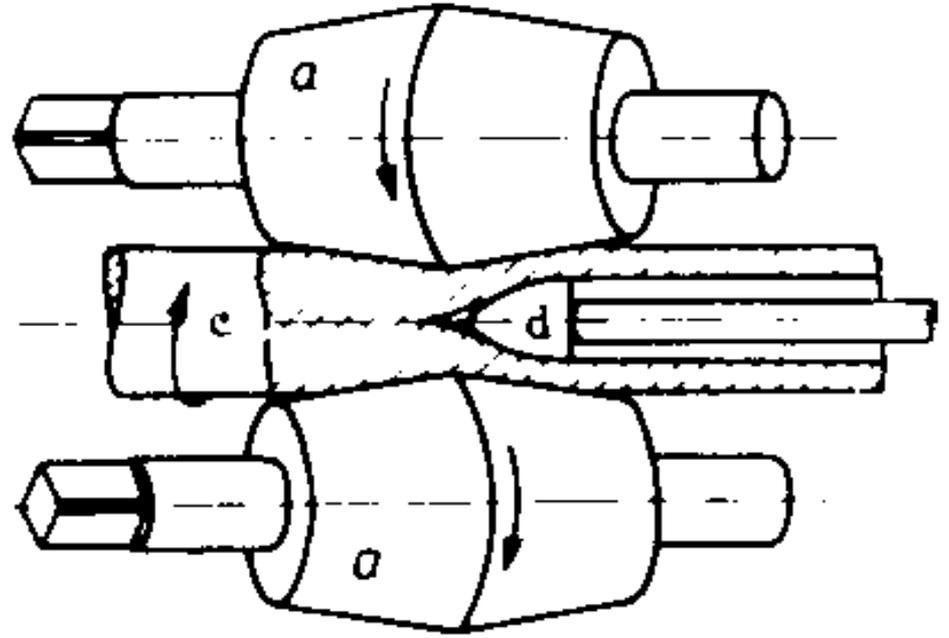
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Laminação de tubos com mandril fixo



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

**Laminação de
tubos com
mandril flutuante**



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais – forjamento progressivo



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais – operações a frio



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO



**Trefilação de
arames**

**Trefilação de
tubos**

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais – forjamento progressivo a frio



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais – tubos com costura



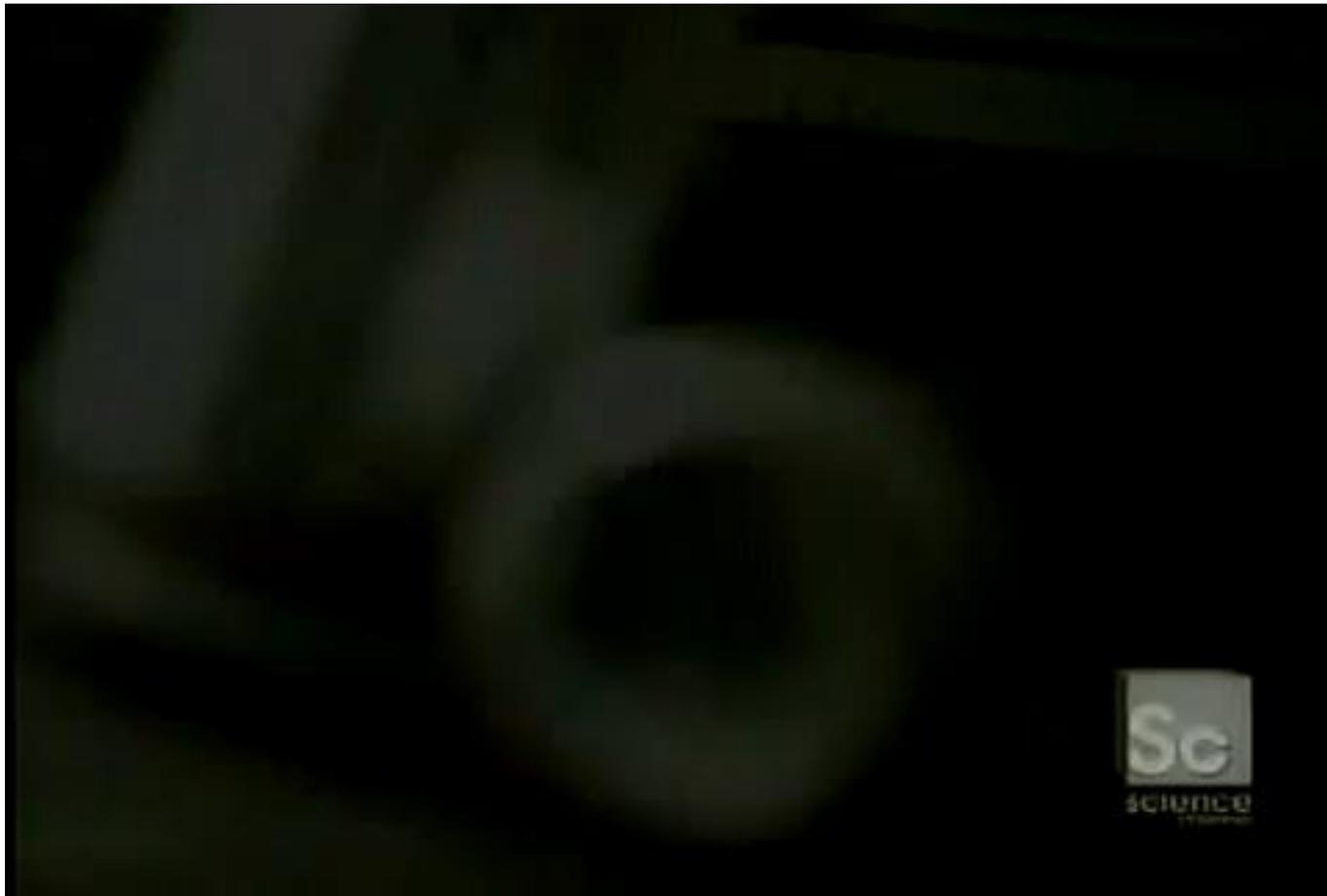
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação de metais – tubos sem costura

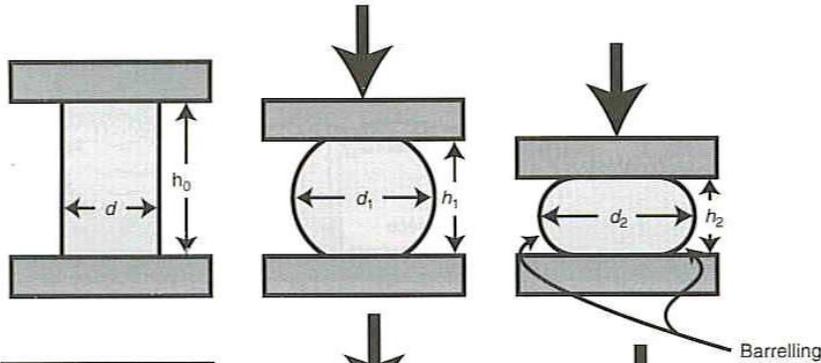


PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

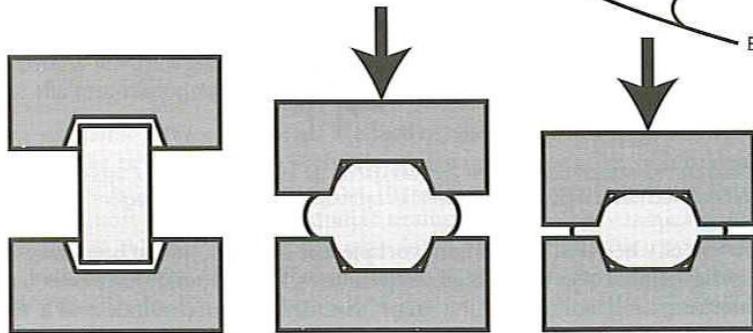
Conformação de metais – repuxo em chapas



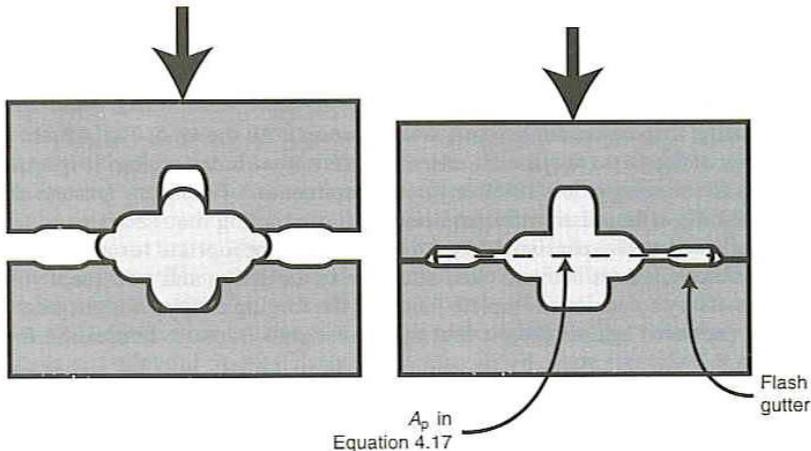
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO



Recalque plano em matriz aberta



Recalque plano em matriz fechada



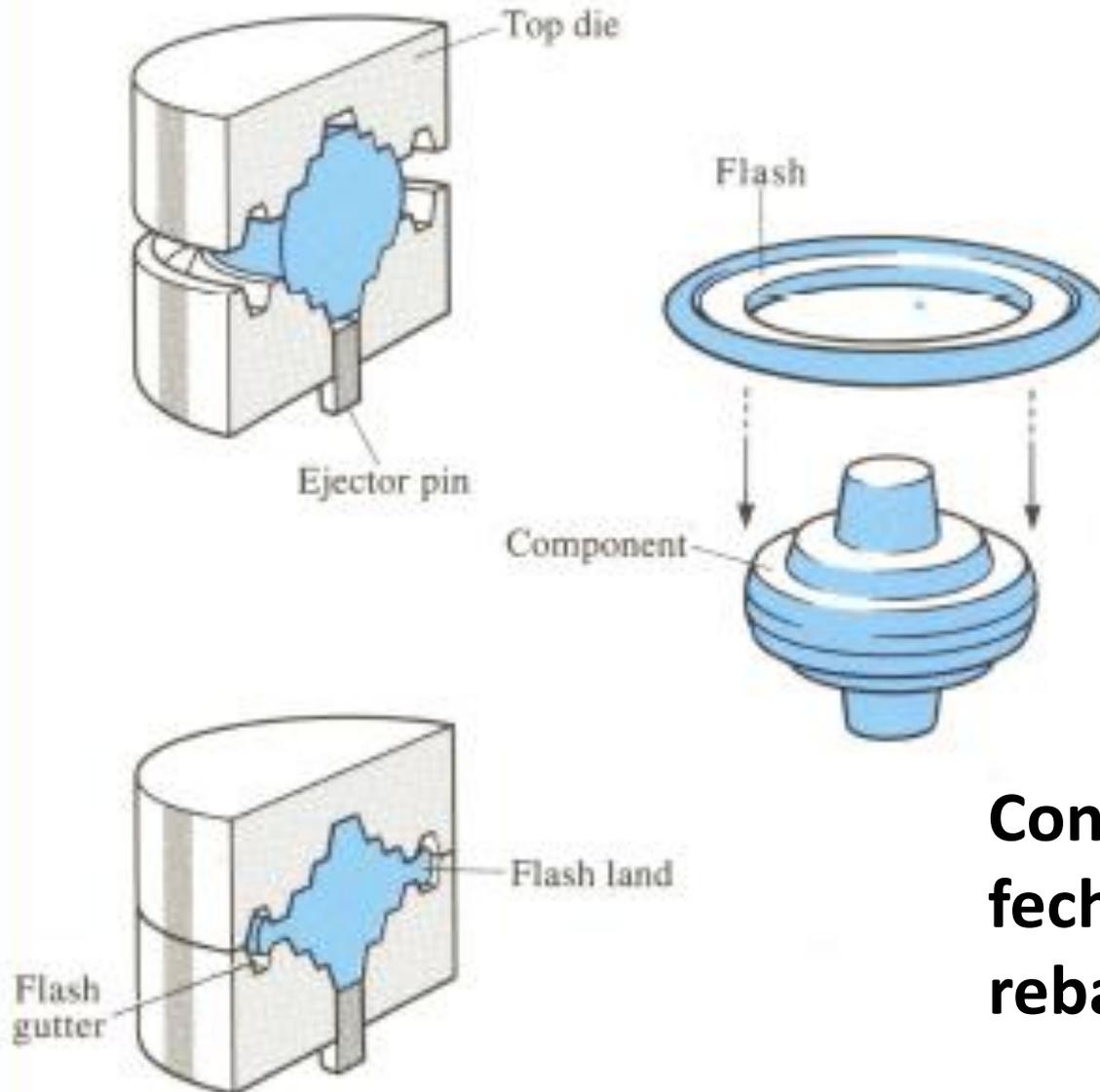
Recalque plano em matriz fechada com excesso de material

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Recalque plano em matriz aberta



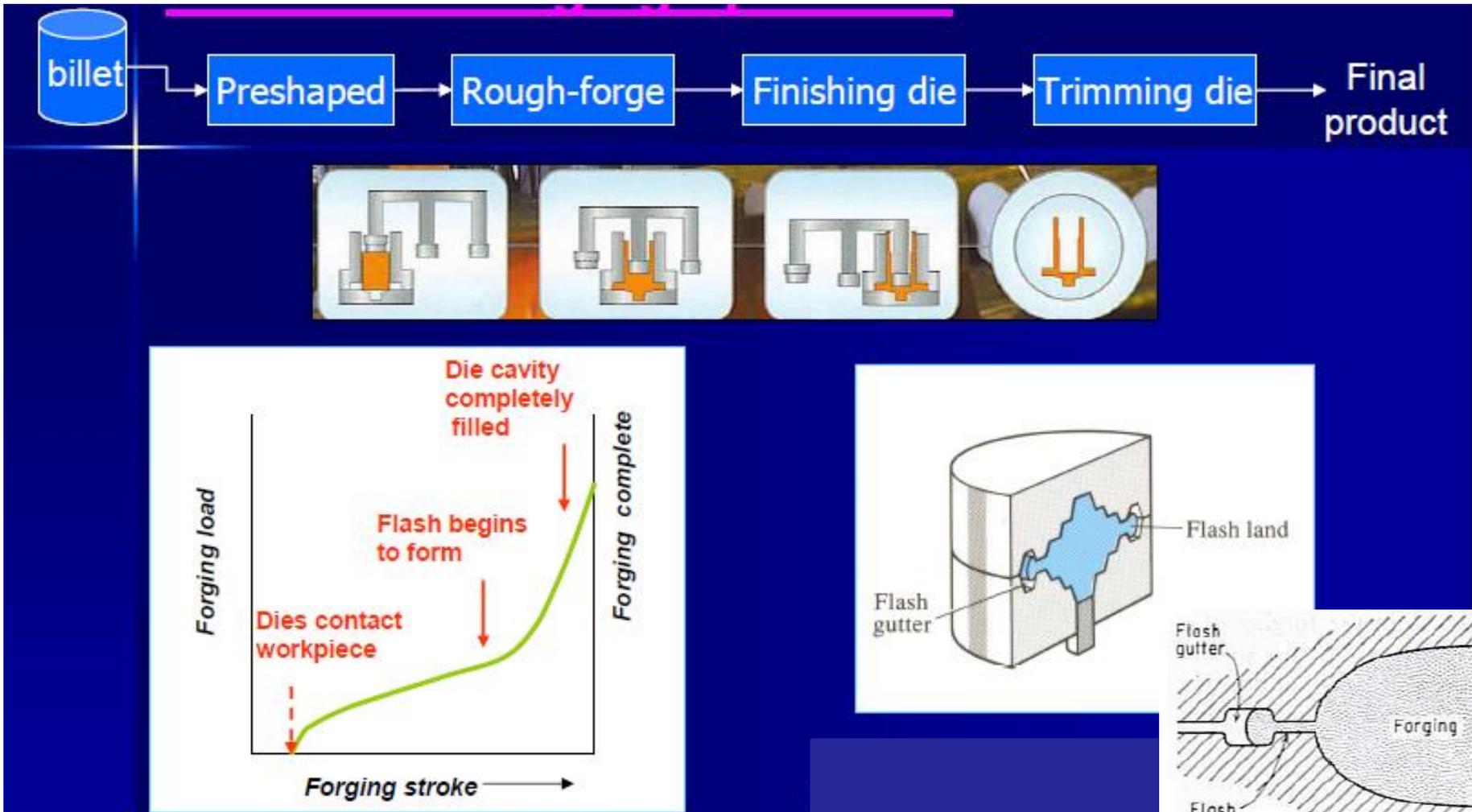
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO



Conformação em matriz fechada e remoção de rebarba

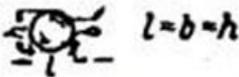
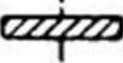
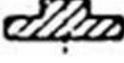
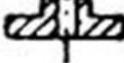
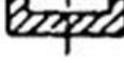
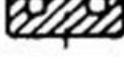
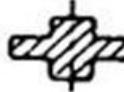
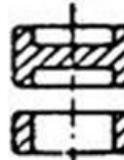
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

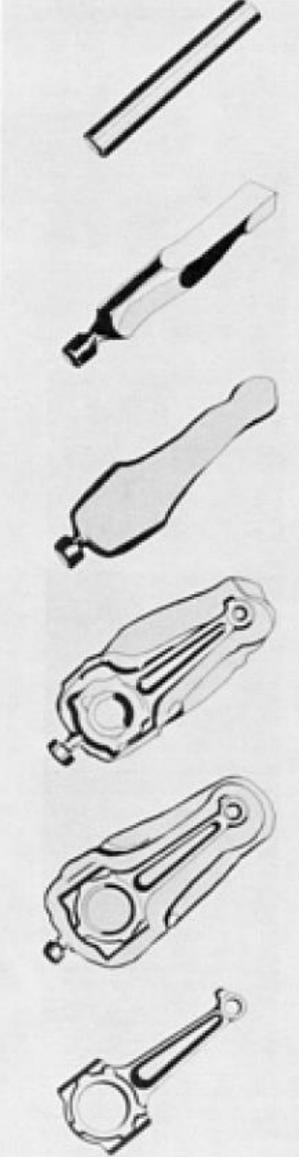
Conformação em matriz fechada e remoção de rebarba



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

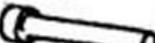
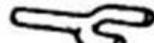
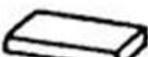
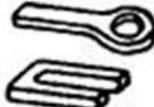
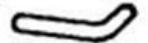
Conformação em matriz fechada e remoção de rebarba

<p>Classe I forma compacta</p>  <p>$l=b=h$</p> <p>Esférica e cúbica</p>	Sub-grupo	101 Sem detalhes	102 Detalhe later	103 Elementos	104 Elementos Laterais		
							
<p>Classe II forma Disco</p>  <p>$l=b>h$</p> <p>Peças com contornos circulares, quadrados e similares.</p>	Sub-grupo	Sem elemento subsidiário	Com cubo	Com cubo e furo	Com aba	Com aba e cubo	
		Forma do grupo	211	212	213	214	215
	21	Formas de disco com elemento unilateral					
	22	Formas de disco com elemento bilateral		222	223	224	225
							



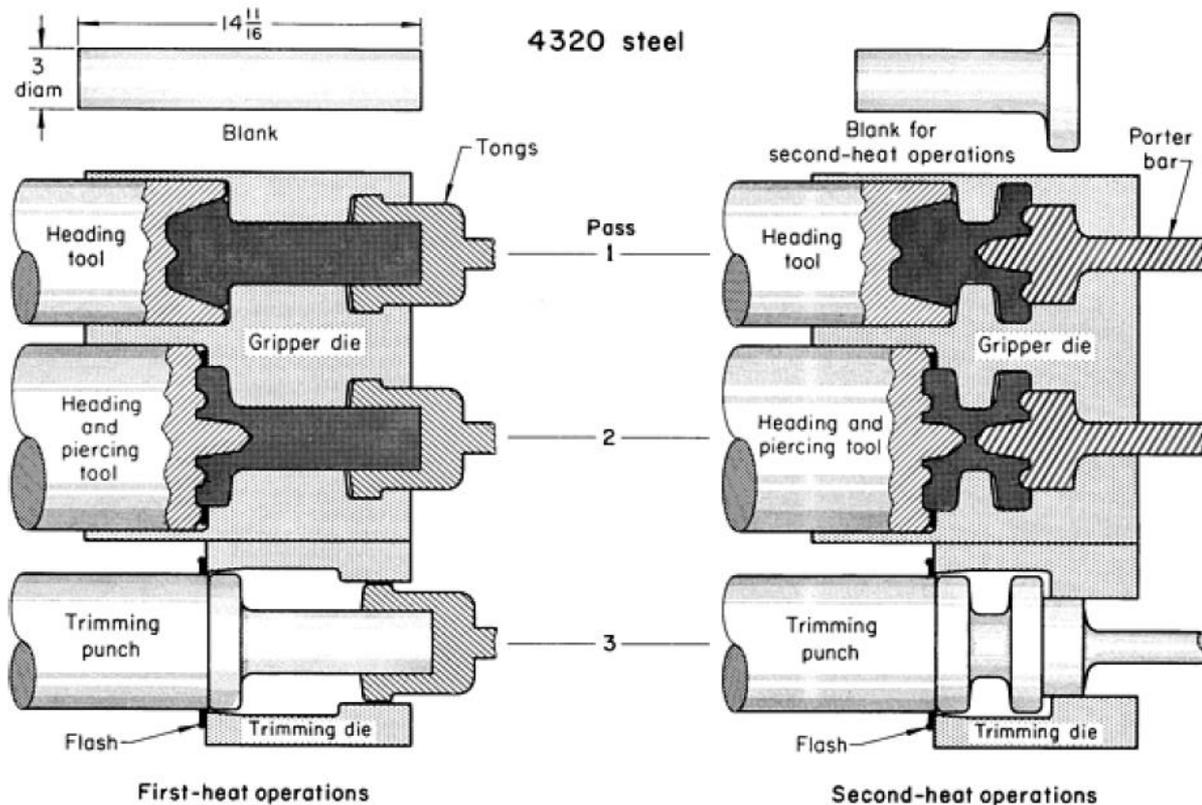
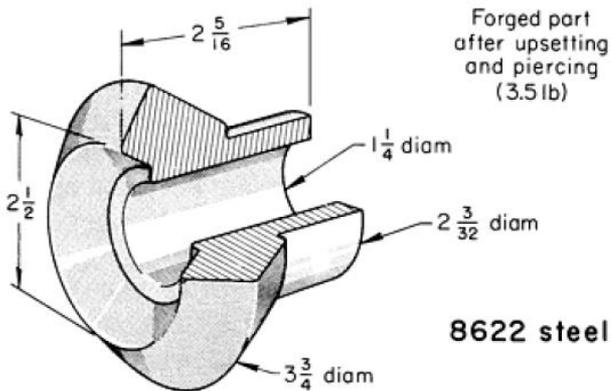
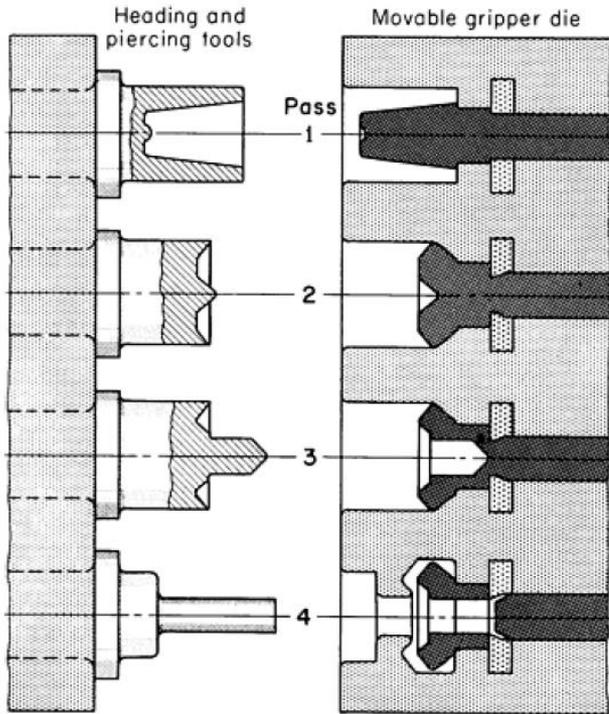
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação em matriz fechada e remoção de rebarba

Classe III forme longe  $l > b^2/h$ Partes Com Eixos longos Grupos por Comprimento 1 - curtos $l > 3b$ 2 - Médio $l = 3-8b$ 3 - longos $l = 8-16b$ 4 - muito longo $l > 16b$ grupo comprimento, número após barra ex. 334/2	Sub- grupo	Sem elementos	Elementos paralelos Ao eixo principal	Elementos Abertos Fechados Em garfo	Elementos Assimétricos aos eixos principais	Com dois Ou mais Elementos De tamanho similar
	Forma do grupo					
	31	311	312	313	314	315
	Forme Principal					
	Elementos Eixos retos					
	32	321	322	323	324	325
	Eixos Longos Forme Principal Curvada Em um Plano					
	33	331	332	333	334	335
	Eixos Longos Forme Principal Curvada Planos diversos					

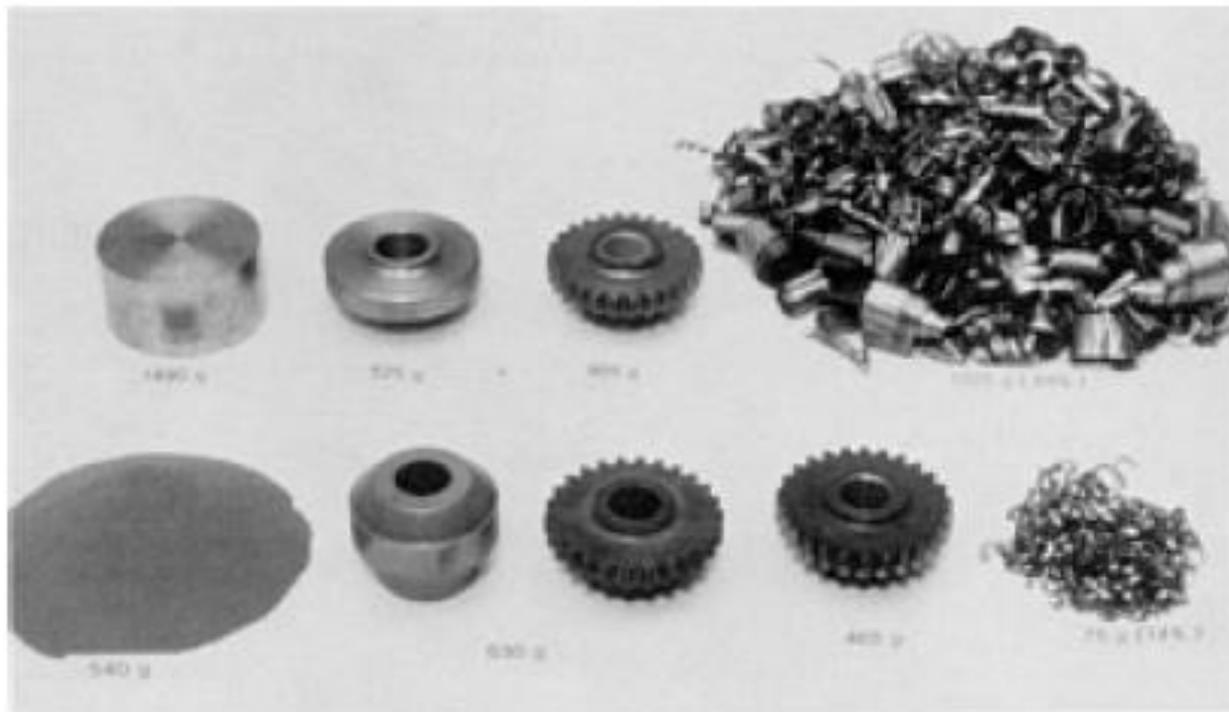
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Conformação em matriz fechada em Estampo progressivo



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Comparação entre uma sequencia de fabricação convencional e uma com forjamento de precisão



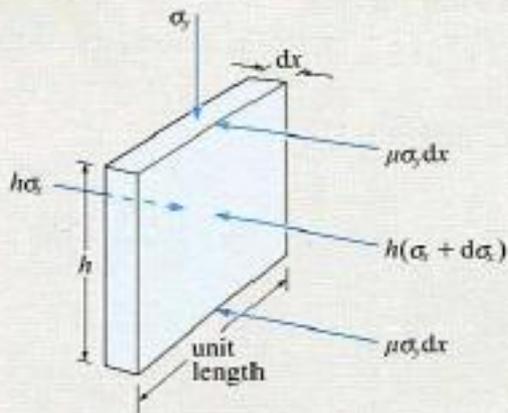
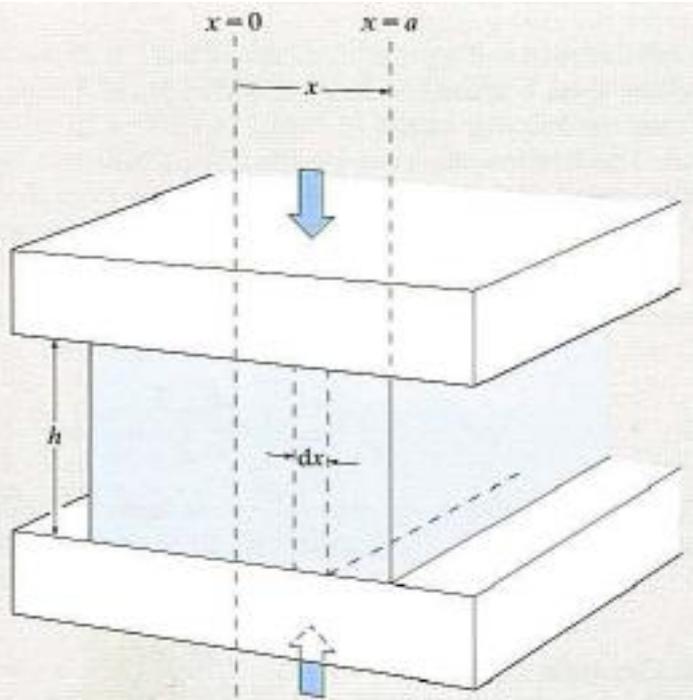
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Recalque plano

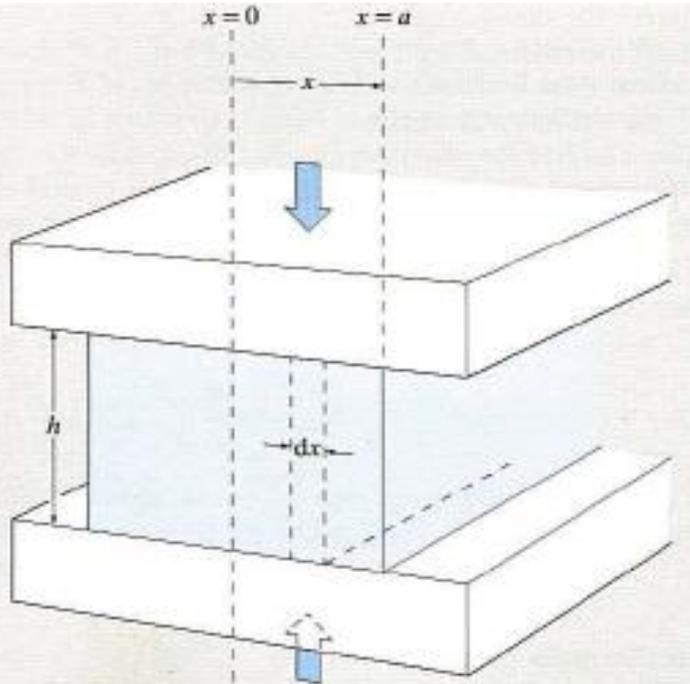
Deformação plana, material rígido plástico

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

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



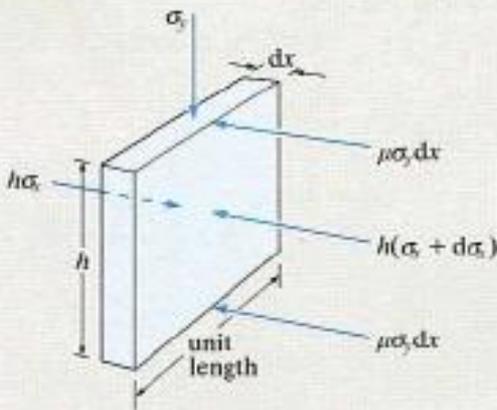
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO



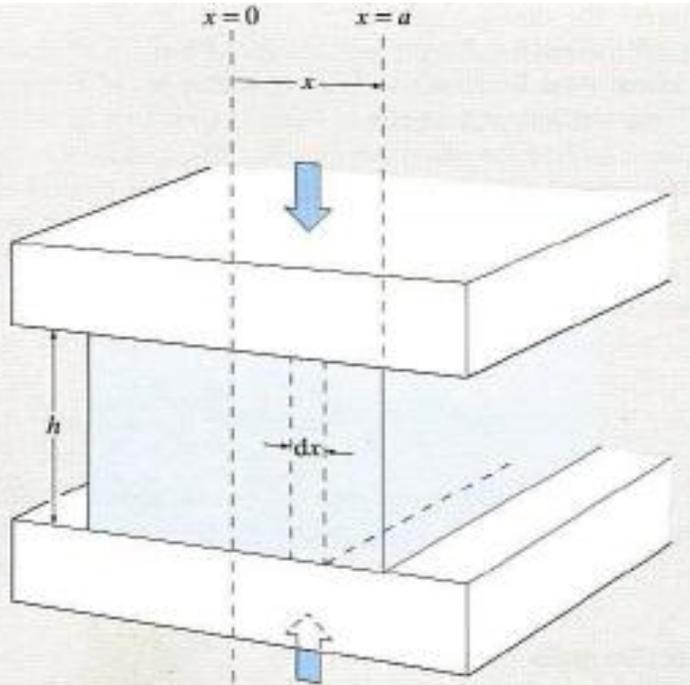
Considere a força agindo no elemento vertical de comprimento unitário e largura dx . O elemento está a uma distância x da linha central, a qual não desliza. A força vertical é:

$$\text{Tensão} \times \text{área} = \sigma_x d_y$$

Se o coeficiente de atrito é μ a força de atrito será $\mu\sigma_y d_x$. 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:

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

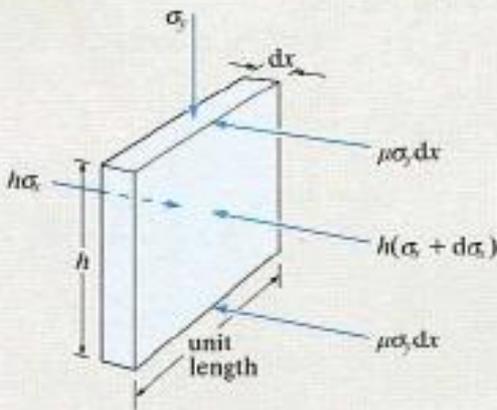
Rearranjando:

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

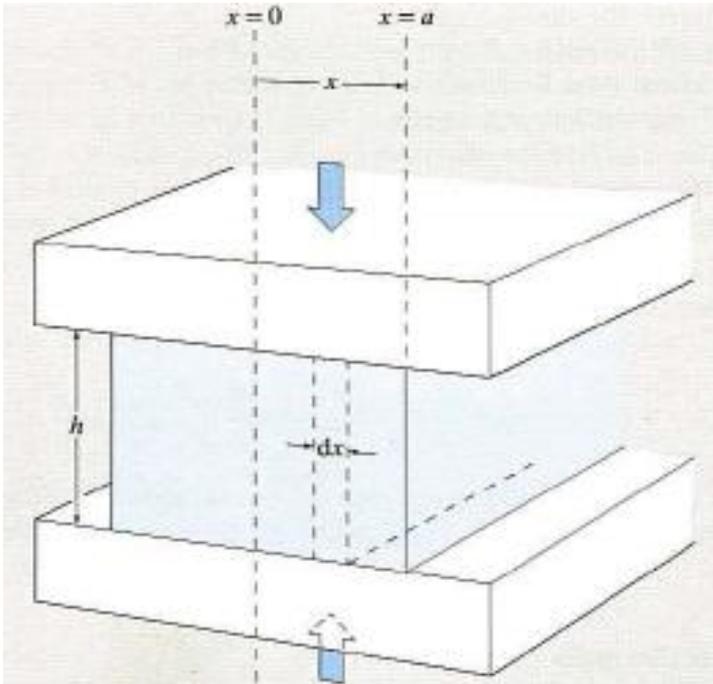
mas $\mu\sigma_y = \tau$

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

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



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO



Usando o critério de escoamento de VonMises para deformação plana:

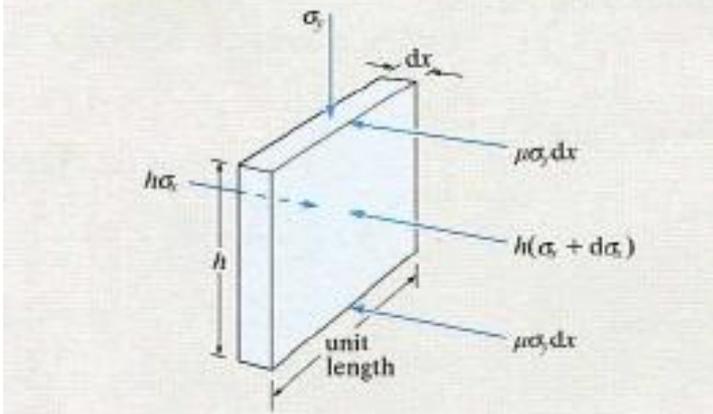
$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_y - \sigma_x = \left| 2\bar{\sigma} / \sqrt{3} \right|$$

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

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

Na borda:

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

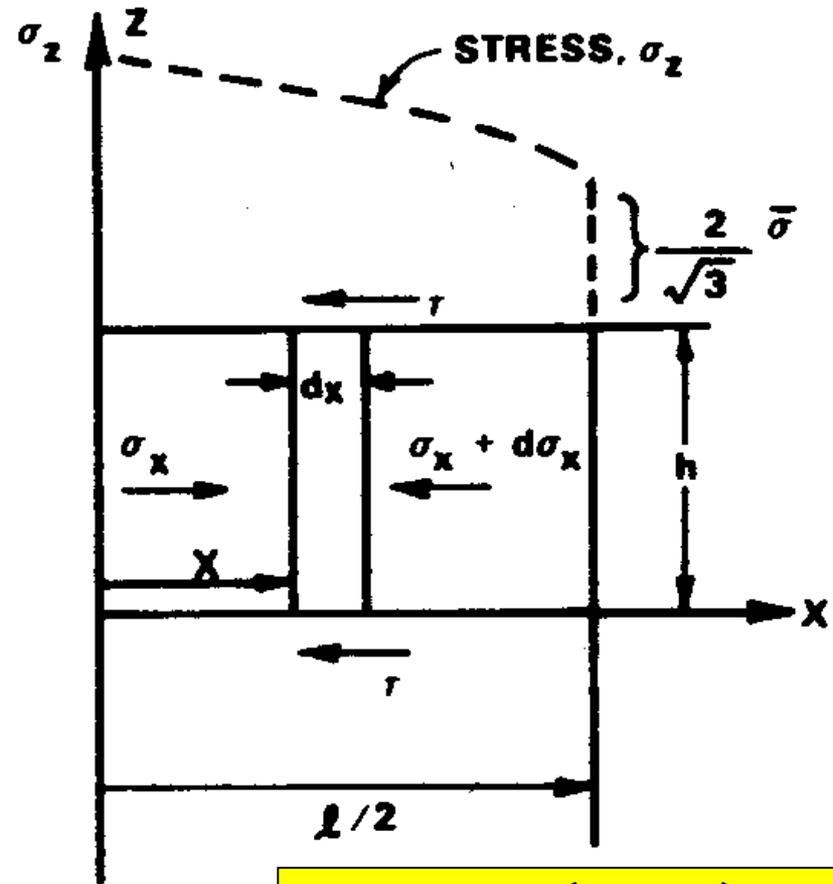
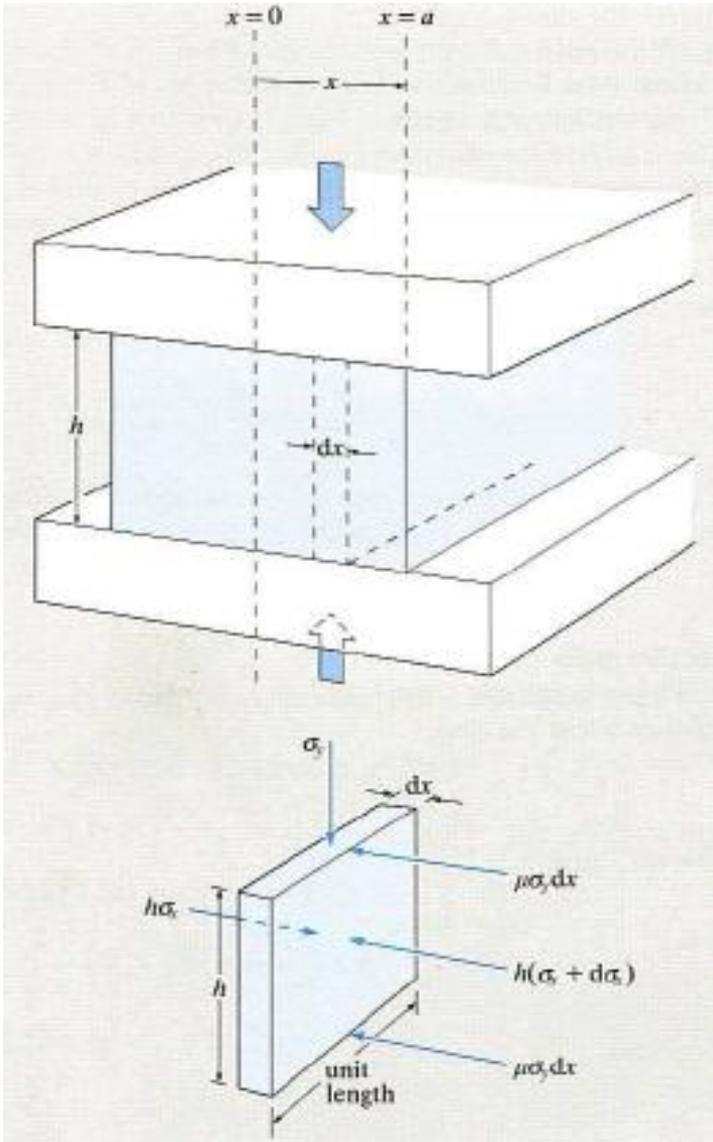


Assim:

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

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

A forma da tensão na direção vertical será:



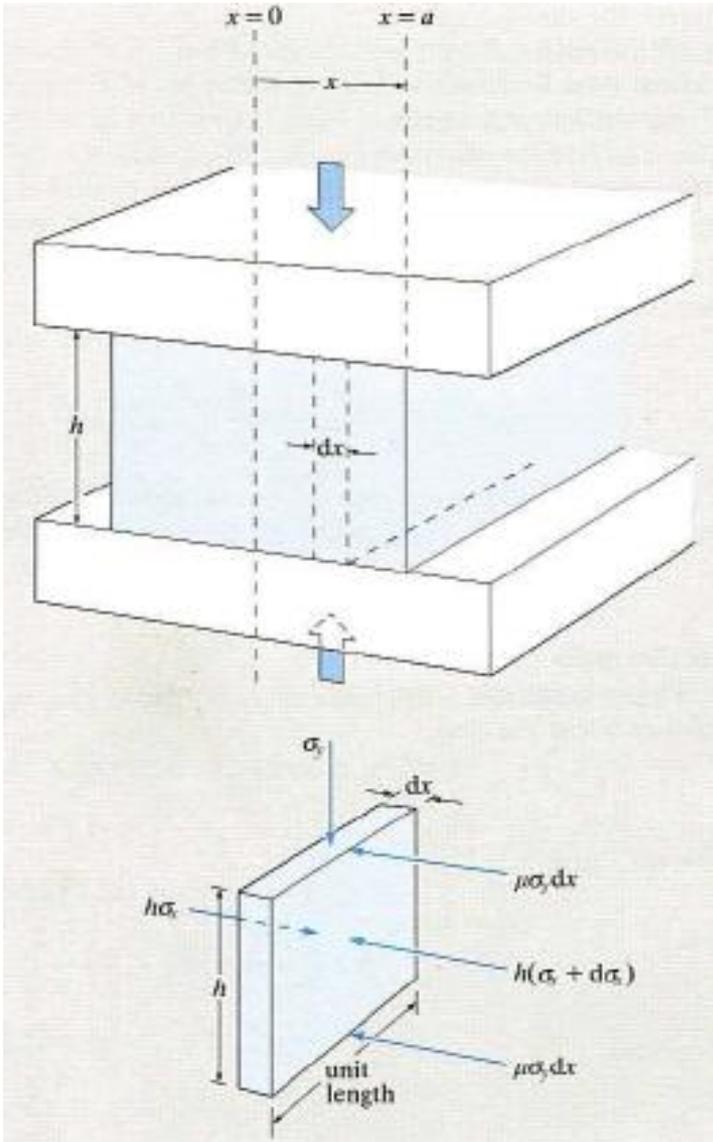
$$\sigma_y = -\frac{2\tau}{h} \left(\frac{l}{2} - x \right) - \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}$$

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

A carga de recalque será:

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

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



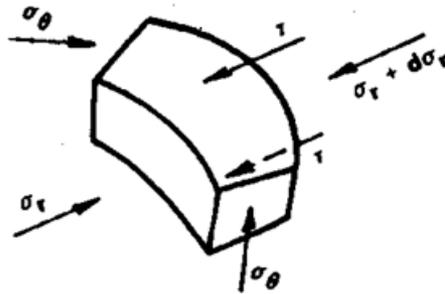
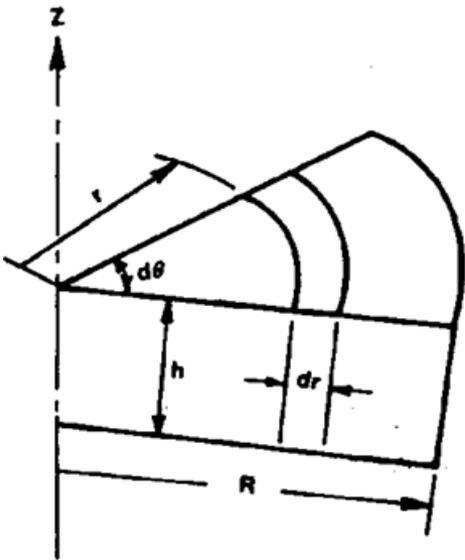
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Recalque axissimétrico

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

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

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



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