Comportamento mecânico do material na conformação

Tensão efetiva $(\bar{\sigma}, \sigma_{eff})$ Deformação efetiva $(\bar{\varepsilon}, \varepsilon_{eff})$

São grandezas equivalentes para o estado de tensão e deformação e que tem efeito em relação ao escoamento.

A tensão efetiva é função da energia de distorção, e de acordo com o critério de von Mises é constante para um dado material e independe do estado de tesões.

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right]^{1/2}$$

Tresca $$\bar{\sigma} = \sigma_1 - \sigma_3$$

$$d\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}\left(d\varepsilon_1{}^2 + d\varepsilon_2{}^2 + d\varepsilon_3{}^2\right)}$$

Na zona plástica o volume é constante

$$d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 + d\varepsilon_3 = 0$$

Comportamento mecânico do material na conformação

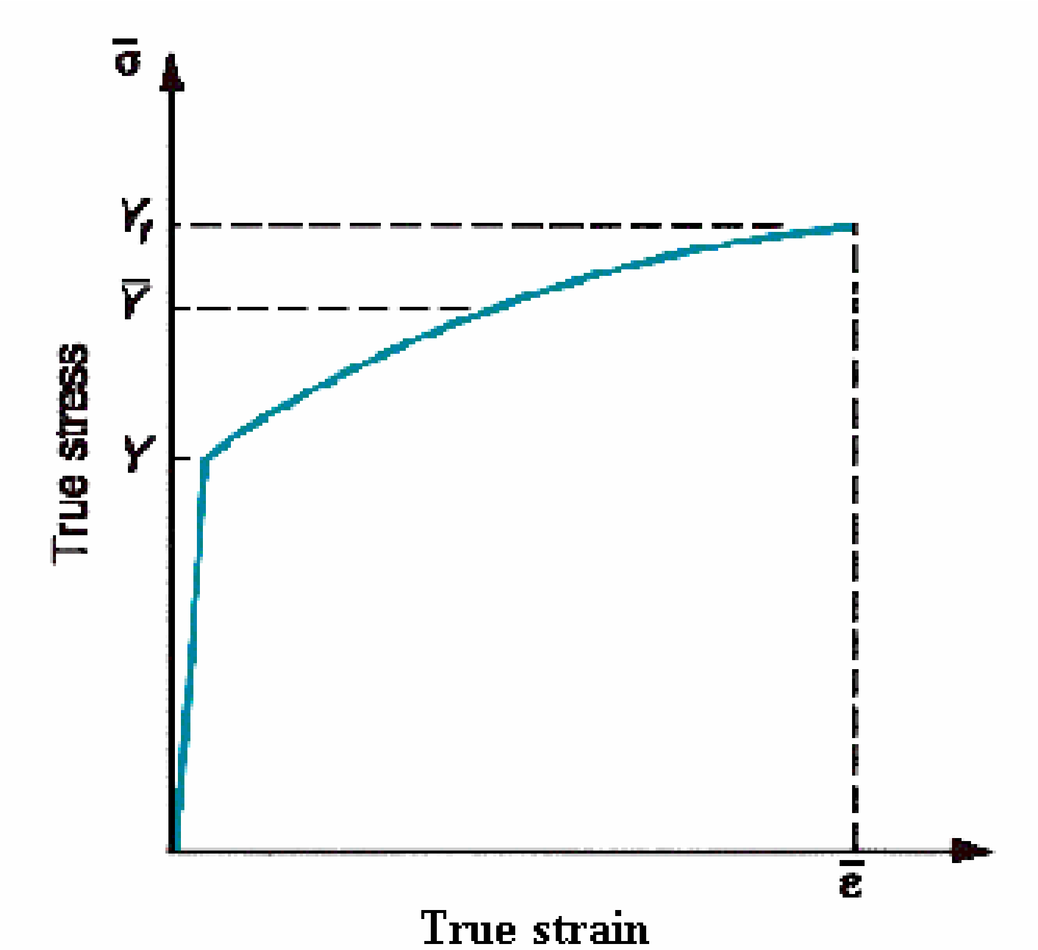
- Região plástica da curva tensão-deformação real é de maior interesse porque refere-se a um material deformado plasticamente
- Na região plástica, o comportamento do metal é representado pela curva de fluxo:

$$\bar{\sigma} = K\bar{\varepsilon}^n$$

em que ***K*** = coeficiente de resistência; e ***n*** = expoente de encruamento

- Curva de fluxo baseada na tensão real e deformação real

Relação tensão-deformação



Métodos de cálculos de esforços no processo de conformação de metais

Forjamento

Alguns Métodos de Análise

- Método da deformação homogênea
- Método da fatia elementar (blocos)
- Método dos elementos finitos

Método da Deformação Homogênea

- O método da deformação homogênea considera eu as deformações ocorridas no processo são todas homogênea, ou seja que não existem deformações por atrito e nem redundantes
- A partir da deformação associada ao processo de conformação mecânica, pode-se facilmente calcular a energia consumida ideal (u), por unidade de volume

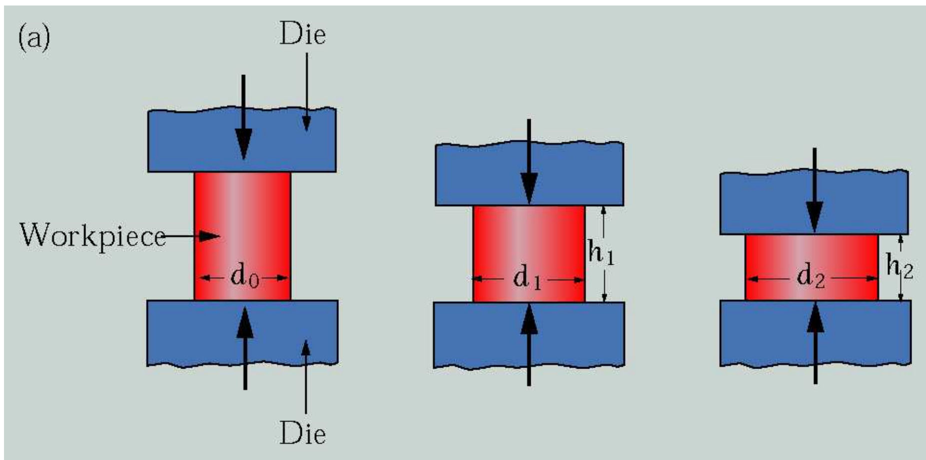
$$u = \int \bar{\sigma} d\bar{\varepsilon}$$

Trabalho ideal (W)

$$W = vol.u$$

Potência (N)

$$N = \frac{W}{t}$$



$$\bar{\sigma} = K\bar{\varepsilon}^{n}$$

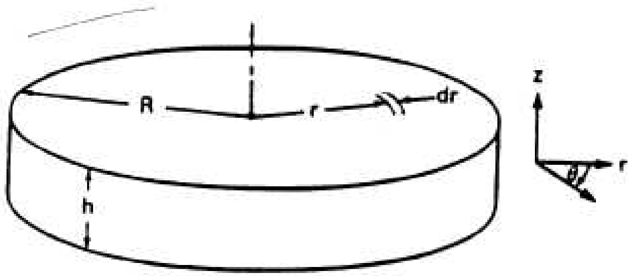
$$\bar{Y} = \frac{K\varepsilon_f^{\ n}}{n+1}$$

$$u = \bar{Y}\bar{\varepsilon}_f$$

$$u = \bar{Y}\ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

$$u = \bar{Y}\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$$

Compressão axisimétrica



$$\sigma_1 = \sigma_z$$
$$\sigma_2 = \sigma_r = 0$$
$$\sigma_3 = \sigma_\theta = 0$$

$$d\varepsilon_1 = d\varepsilon_z$$
$$d\varepsilon_\theta = d\varepsilon_r$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right]^{1/2}$$

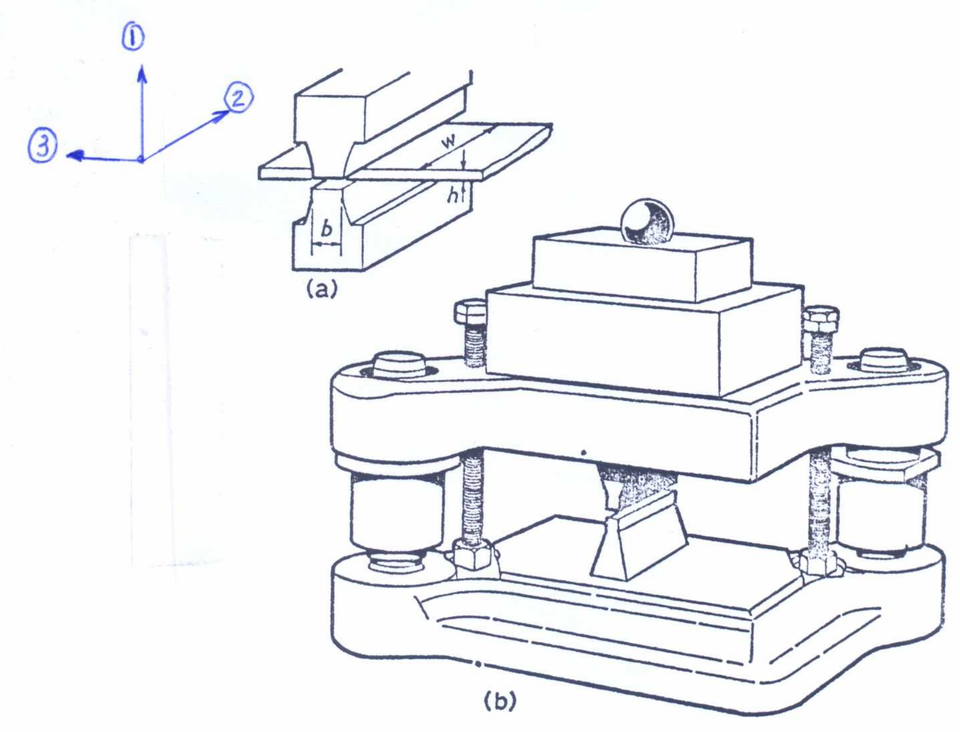
$$\bar{\sigma} = \pm\sigma_z$$

$$d\varepsilon_z = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}}\left[\sigma_z - \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta)\right]$$

$$d\varepsilon_z = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}}\sigma_z$$

$$d\varepsilon_z = d\bar{\varepsilon}$$

Compressão em deformação plana



$$\sigma_1 = -p$$

$$\sigma_1 = \frac{P}{b.W}$$

$$\sigma_3 = 0$$

$$utilizando \Rightarrow Levy - Mises$$

$$d\varepsilon_2 = 0 = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}}\left[\sigma_2 - \frac{1}{2}\left(\sigma_1 + \sigma_3\right)\right]$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}\sigma_1$$

$$\varepsilon_1 = \ln\frac{h}{h_0}$$

$$\varepsilon_2 = 0$$

$$d\varepsilon_2 = 0$$

$$\varepsilon_3 = -\varepsilon_1$$

Tensão efetiva

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\right]^{1/2}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\left(\frac{1}{2}\sigma_1\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\sigma_1\right)^2 + (\sigma_1)^2\right]^{1/2}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2}\sigma_1$$

Deformação efetiva

$$d\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}\left(d\varepsilon_1{}^2 + d\varepsilon_2{}^2 + d\varepsilon_3{}^2\right)}$$

$$d\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}}(2d\varepsilon_1)^{1/2}$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}}\varepsilon_1$$

Exemplo 1: forjamento axisimétrico

Um cilindro de latão com 20 mm de diâmetro e 30 mm de altura é comprimido, entre pratos de maior extensão que a peça sem atrito, numa prensa hidráulica com uma velocidade constante v=40 mm/s até ser obtida uma altura final igual a 8 mm.

a) Calcule o valor da força de compressão no instante correspondente ao final da operação. Admita que a operação de compressão se realiza a frio;

b) Determine a quantidade de energia a fornecer pela prensa para se realizar a totalidade da operação de compressão;

c) Apresente uma estimativa do valor da potência que é exigida à prensa hidráulica no instante final da operação;

Informações adicionais relativas ao latão:

*Curva tensão x deformação a frio (25ºC): $\overline{\sigma} = 500\overline{\varepsilon}^{0,51}$

** Lembrar que: $d\overline{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}\left(d\varepsilon_1{}^2 + d\varepsilon_2{}^2 + d\varepsilon_3{}^2\right)}$

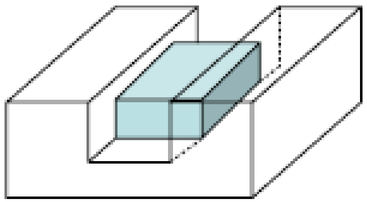
Exemplo 2: forjamento em deformação plana

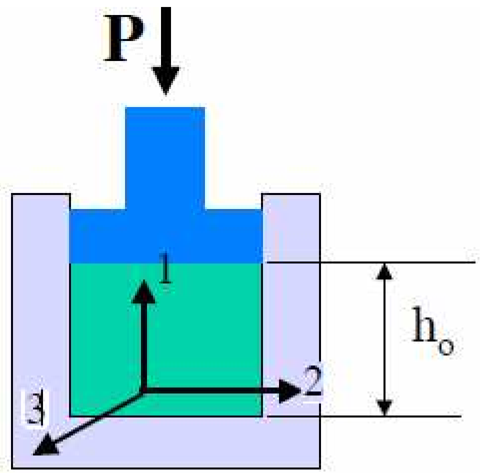
- A figura abaixo mostra o forjamento de um bloco cujo tamanho inicial é: l_0 = 10 cm; h_0 = 5 cm; h = 2,5 cm e w =6 cm. O material forjado é uma liga de Al 6061-O. Dado K = 205 MPa e n = 0,2, pede-se:

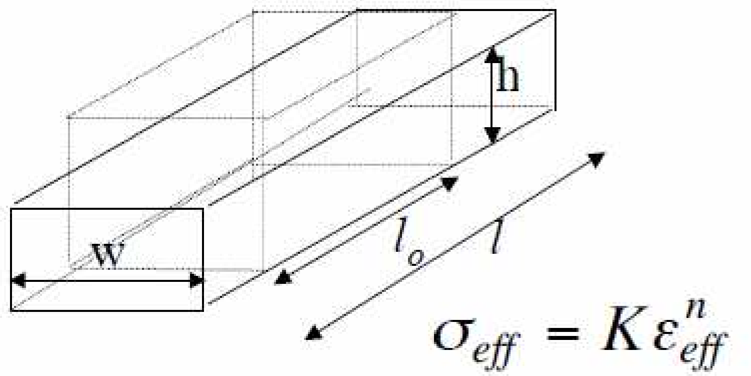
a) A carga final no forjamento;

b) O trabalho realizado;

c) A potência se a operação foi feita em 10 s







Método dos Blocos

- Não considera o encruamento
- Admite que o material se deforma uniformemente na zona de deformação
- As tensões são principais
- As tensões variam predominantemente em uma direção
- Admite que o efeito do atrito está confinado a uma pequena zona na interface de contato com a matriz e que a tensão tangencial não altera as direções principais

Compressão axisimétrica

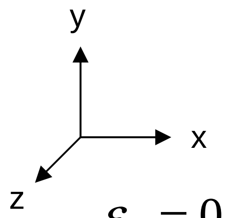
$$p = \sigma_e e^{\frac{2\mu}{h}(R-r)}$$

Pressão média ($\bar{p}$)

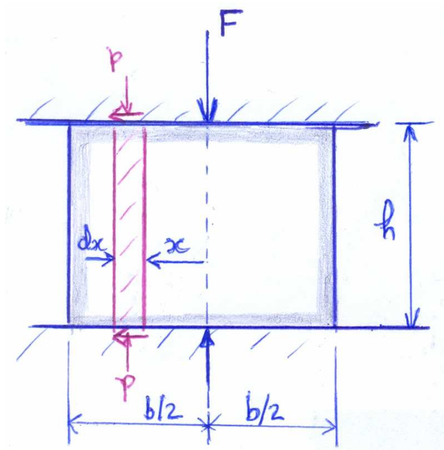
$$\bar{p} = \sigma_e \left[1 + \frac{2\mu R}{3h} \right]$$

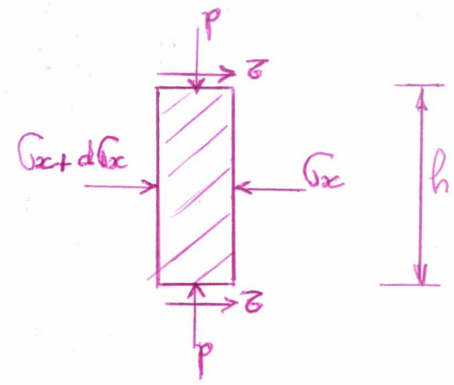
$$\bar{p} = \frac{F}{\pi R^2}$$

Forjamento em deformação plana



$$\varepsilon_z = 0$$





$$p = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_e e^{\frac{2\mu}{h}\left(\frac{b}{2}-x\right)}$$

Pressão média (p)

$$\overline{p} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_e\left(1+\frac{\mu b}{2h}\right)$$

Uma vez obtido $\overline{p}$

$$F = \overline{p}bW$$