

Análise Teórica do Forjamento Livre de um Tarugo Cilíndrico entre Matrizes Planas

Anderson Luís Rodrigues¹ e Miguel Ângelo Menezes²

Departamento de Engenharia Mecânica - DEM, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS,
Universidade Estadual Paulista - UNESP
Av. Brasil Centro, cep 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil
¹anderson@dem.feis.unesp.br, ²miguel@dem.feis.unesp.br

Os processos de forjamento são processos não estacionários, isto é, são processos que apresentam dificuldades de análise precisa, visto que a cada instante o corpo deformado apresenta uma nova forma e daí, ocorrem novas distribuições de tensões e deformações.

Nesse estudo é feita uma análise do forjamento livre de um tarugo cilíndrico entre matrizes planas através do método slab, obtendo assim uma expressão para a razão entre a pressão média de forja e a tensão efetiva do material, a partir da qual se obtém uma segunda expressão para mesma razão, aproximada através da expansão da função exponencial para uma série de potências. Se mostra também, a relação de validade dessa aproximação a cada incremento de deformação, em função do coeficiente de atrito e da máxima razão entre o diâmetro e a altura final do tarugo.

O método slab, de acordo com a referência [1], consiste em fazer a análise das forças envolvidas durante o processo de deformação em um elemento de volume, como o mostrado na Figura 1, para o caso em estudo, ou seja, com a condição de deformação axissimétrica ($d\epsilon_r = d\epsilon_\theta$).

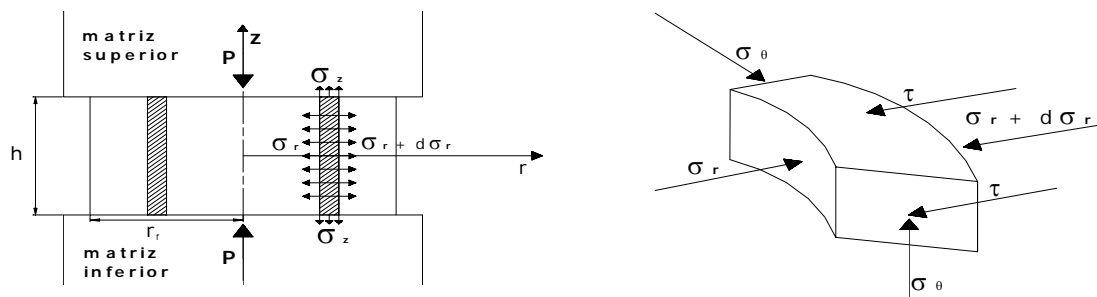


Figura 1 – Força de forjamento P e tensões atuantes sobre o elemento de volume infinitesimal durante o forjamento.

Assim, para a direção r: $\sum F_r = 0$, de onde se obtém a seguinte expressão (1) para a tensão na direção z do elemento de volume, utilizando-se a descrição coulombiana para o atrito, onde $\tau = \mu \cdot P$, de acordo com a referência [2].

$$\sigma_z = \sigma \left[\exp \left\{ \frac{2\mu}{h} (r_f - r) \right\} \right] \quad (1)$$

A pressão média de forja é definida como segue, de acordo com a referência [3]:

$$\bar{P} = \frac{\int \sigma_z \cdot dA}{A_f} = \int_0^{r_f} \frac{\sigma_z \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr}{\pi \cdot r_f^2} \quad (2)$$

Da resolução de (2), obtêm-se as expressões para a razão entre a pressão média de forja e a tensão de escoamento σ_0 , em função do coeficiente de atrito μ , do raio final r_f e da altura final h , para cada incremento de deformação.

$$\frac{\bar{P}}{\sigma_0} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h}{\mu \cdot r_f} \right)^2 \cdot \left[e^{\frac{2\mu \cdot r_f}{h}} - \frac{2 \cdot \mu \cdot r_f}{h} - 1 \right] \quad (3)$$

Expandindo a função e^x como uma série de potência, pode-se obter uma aproximação para (3), ao se utilizar os quatro primeiros termos da série, como feito a seguir.

$$e^x = \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(\mu \cdot x)^n}{n!} = 1 + \mu \cdot x + \frac{(\mu \cdot x)^2}{2} + \frac{(\mu \cdot x)^3}{6}, \text{ onde } x = \frac{2 \cdot r_f}{h} = \frac{D_f}{h} \Rightarrow$$

$$\frac{\bar{P}}{\sigma_0} = 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \left(\frac{D_f}{h} \right) \quad (4)$$

Na Figura (2a), faz-se uma comparação entre as expressões (3) e (4), em função do coeficiente de atrito, onde se observa que até um determinado valor de x , as curvas são coincidentes. Na Figura (2b), se mostra a relação de x (máximas razões entre o diâmetro e altura final do tarugo) em função de μ . Essa relação é representada através da equação (5).

$$x = 0,3346 \cdot \mu^{-1} \quad (5)$$

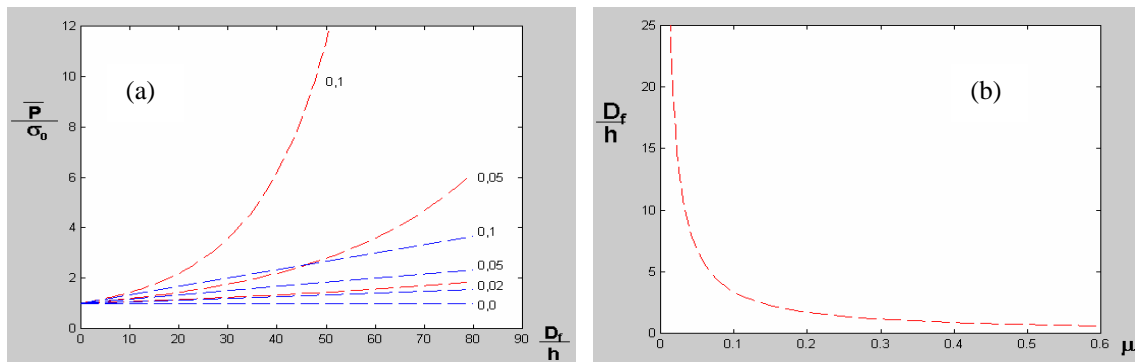


Figura 2 – a) Comparação entre as equações (3) e (4), b) Relação entre o coeficiente de atrito e a razão entre o diâmetro e a altura final, de acordo com (5).

Dessa forma, a equação (5) depende indiretamente da propriedade do material, sendo diretamente dependente do coeficiente de atrito e da razão entre o diâmetro e a altura final do tarugo, a cada deformação incremental. A figura 2(a), mostra a pressão média no forjamento livre de um tarugo cilíndrico em função de μ e x . A Figura 2(b), mostra a diminuição do coeficiente de atrito com o aumento de $x=D_f/h$. Se verifica desse modo, a validade desse estudo, visto que a geometria usada obedece (5), para as diferentes condições de atritos e níveis de cargas empregadas.

REFERÊNCIAS

- [1] Shaw, M. C., *The Role of Friction in Deformation Processing*, Wear, Vol. 6, p.140-158, (1962).
- [2] Kalpakjian, S., *Manufacturing processes for Engineering Materials*, second edition, Addison-Wesley Publishing Company, USA(1984).
- [3] Bay, N. & Gerved, G., *Friction and Pressure Distribution in Disk Forging*, 17th Int. Cold Forging, Nagoya, Japan, Sept., p.1-11, (1984).