

Influência do Atrito na Análise Teórica do Forjamento Livre

Anderson L. Rodrigues¹, Marcia R. V. de Araújo² & Miguel A. Menezes³

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, ²marcia@dem.feis.unesp.br & ³miguel@dem.feis.unesp.br

O forjamento é um dos processos mais comuns na conformação de peças, o qual consiste num processo de deformação plástica a quente ou a frio de um material metálico, onde o material obtém uma forma pré determinada mediante a aplicação de uma força compressiva feita geralmente por um martelo de forja ou por uma prensa. No presente estudo é feita uma análise do processo de recalque de um tarugo cilíndrico, para dois materiais: alumínio e aço 1020, entre matrizes planas, através do método slab, onde se faz uma comparação analítica entre duas formulações de atrito, para baixos níveis de cargas e deformações, com o emprego de quatro diferentes condições de lubrificação: a sêco, papel sulfite, teflon e óleo lubrificante 90. Assim, é feita uma comparação entre os resultados obtidos analiticamente e experimentalmente, de modo a estabelecer o coeficiente de atrito ou o fator de atrito durante o processamento. Os ensaios de compressão foram realizados no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da FEIS-UNESP, uma vez que o teste de compressão é um protótipo em pequena escala do processo de recalque.

De acordo com a referência [1], a condição de atrito por deslizamento na interface peça-ferramenta, mais simples é descrita por um coeficiente de atrito Coulombiano:

$$\mu = \frac{\tau}{p}, \text{ onde: } \tau = \text{tensão cisalhante na interface; } p = \text{tensão normal à interface.}$$

Para uma descrição melhorada do atrito nessas condições é comum se estabelecer uma fração constante m da tensão limite de escoamento em cisalhamento, onde m , é denominado fator de atrito da interface. Assim;

$m = \frac{\tau_i}{k}$, onde: τ_i = resistência ao cisalhamento da interface; k = limite de escoamento em cisalhamento.

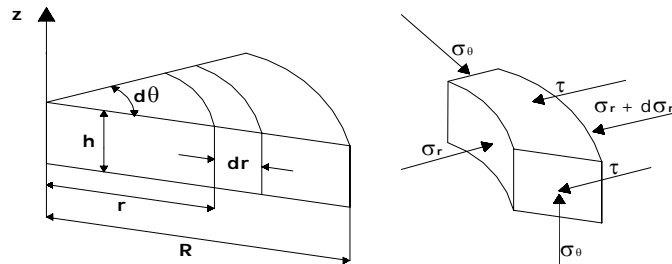


Figura 1 – Tensões atuantes no elemento infinitesimal de volume, durante o forjamento axissimétrico.

Da figura 1, usando o método Slab, o somatório de forças na direção radial é nulo;

$$\sigma_r \cdot (d\theta) \cdot r \cdot h - (\sigma_r + d\sigma_r) \cdot (r + dr) \cdot h \cdot d\theta + 2 \cdot \sigma_0 \cdot \frac{d\theta}{2} \cdot h \cdot dr - 2 \cdot \tau \cdot r \cdot d\theta \cdot dr = 0 \quad (1)$$

De (1) se obtêm as cargas de forjamento P, em função do coeficiente de atrito μ e do fator de atrito m respectivamente, como segue:

$$P = \pi \cdot \bar{\sigma} \cdot (R)^2 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \mu \cdot R}{3 \cdot h}\right) \quad (2) \quad \text{e} \quad P = \bar{\sigma} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot m \cdot R}{3 \cdot h \cdot \sqrt{3}}\right) \quad (3)$$

A partir das expressões (2) e (3), os gráficos comparativos entre os dados analíticos e os dados experimentais para o alumínio e o aço 1020 foram levantados como mostrado na Figuras 2a,2b,2c e 2d, afim de possibilitar a avaliação do atrito durante o forjamento livre.

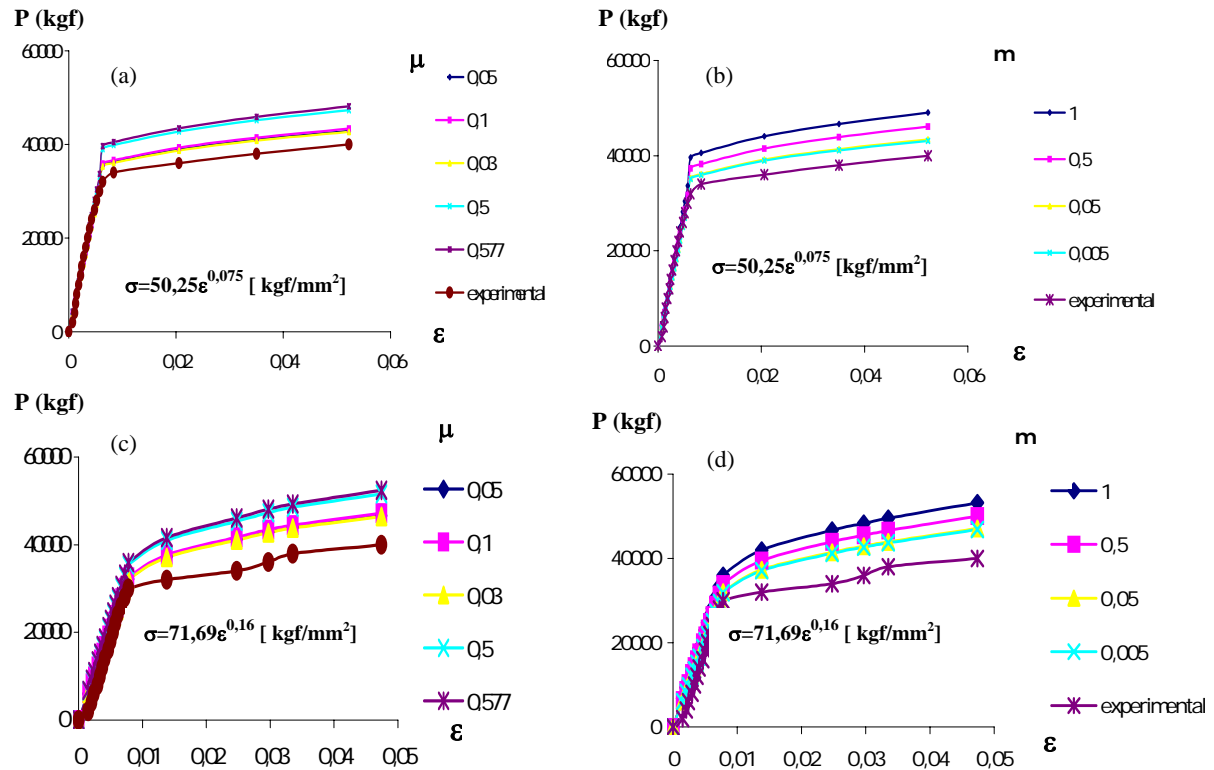


Figura 2 – Gráficos comparativos entre os dados experimentais e as equações (2) e (3). (a) e (b) Alumínio, e (c) e (d) Aço 1020. Nos resultados dos experimentos mostrados se utilizou o óleo lubrificante 90.

A melhor concordância entre os resultados teóricos através das equações (2) e (3), em relação aos experimentais, na análise teórica do forjamento livre de um tarugo cilíndrico, ocorreu para o alumínio, onde foi usado o óleo lubrificante 90; pois este, apresenta um melhor acabamento superficial em relação ao aço, assim como uma melhor eficiência com relação a manutenção do filme lubrificante. Para alumínio, $\mu=0,03$ e $m=0,005$ e para o aço 1020, $\mu=0,08$ e $m=0,05$. Esses valores, reforçam a influência do comportamento mecânico do material e do carregamento em relação as formulações de atrito empregadas, visto que ambas formulações definem uma condição de baixo atrito para o alumínio, mas se contrapõem em relação ao caso do aço; onde $\mu=0,08$ conduz a uma condição de alto atrito, diferentemente de $m=0,05$. Por outro lado, a não concordância pode ser explicada também por erros de medidas e da não uniformidade da deformação.

REFERÊNCIAS

- [1] Shaw, M.C., The hole of friction in deforming processes, *Wear*, Vol. 6, p.140-158, (1962).
- [2] Butler, L. H., The Effect of Interposed Lubricants on the Surface Deformation of Metals During Plastic Working, *Journal Institute of Metals*, Vol. 88, p.337-343, (1960).