

TEORIA ELEMENTAR DA PLASTICIDADE APLICADA AO FORJAMENTO DE BROCAS

C. C. Yurgel, chemale@fieb.org.br¹

F. A. Lora, fabio.lora@pro.ucs.br²

L. Schaffer, schaefer@ufrgs.br³

¹ Centro Universitário SENAI CIMATEC, BA, Brasil

² Universidade Católica do Salvador, BA, Brasil

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil

Resumo: Existem diferentes métodos aproximados, tanto analíticos quanto numéricos, para analisar os problemas de conformação dos metais. Todos os métodos de análise requerem, como entrada, a descrição do comportamento do material sob as condições do processo, isto é, as curvas de escoamento dos aços, estimando a resistência que esses materiais oferecem ao escoamento para dadas temperatura, deformação e velocidade de deformação. A teoria elementar da plasticidade foi aplicada para duas regiões da broca: a região com forjamento e a região com extrusão. Com os resultados obtidos pela teoria elementar da plasticidade, conseguiu-se validar a força máxima de forjamento de 543kN.

Palavras-chave: teoria elementar da plasticidade, forjamento, extrusão.

1. INTRODUÇÃO

Nenhum método analítico é perfeito por hipóteses assumidas no desenvolvimento do modelo matemático. Além disso, todos os métodos de análise requerem como entrada a descrição do comportamento do material sob as condições do processo, isto é, dados de tensão de escoamento, um valor quantitativo para descrever o atrito, índice de encruamento e coeficiente de resistência.

Para a busca do comportamento do material, sob as condições de processo, é necessária a realização de testes como os ensaios de compressão que fornecem a curva de escoamento do material, do qual são retirados os dados necessários à aplicação da teoria elementar da plasticidade.

Para a construção das curvas de escoamento nas situações em que não há uma dependência da velocidade de deformação, como os realizados à temperatura ambiente, qualquer máquina universal de ensaios mecânicos pode ser utilizada. Para determinados materiais, principalmente os utilizados nos processos de conformação em altas temperaturas, a influência da velocidade de deformação passa a ser extremamente significativa.

As curvas de escoamento, nestes casos, devem ser construídas para parâmetros constantes que não se alteram durante o ensaio. Assim sendo, um material pode ser perfeitamente conhecido sob o ponto de vista de suas propriedades de conformabilidade quando suas curvas de escoamento forem construídas em função da deformação, mantendo-se constante a velocidade de deformação e a temperatura.

Através das curvas de escoamento dos aços, podemos estimar a resistência que esses materiais oferecem ao escoamento e, com isso, levantar as curvas para dadas temperatura, deformação e velocidade de deformação. Uma formulação matemática para a curva de escoamento é dada pela equação de Spittel (equação 1).

$$kf = A \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot \varphi^{m_2} \cdot e^{\frac{m_4}{\varphi}} \cdot \dot{\varphi}^{m_3} \quad (1)$$

Onde A, m₁, m₂, m₃ e m₄ são constantes relacionadas a cada material, φ a deformação, T a temperatura em °C e $\dot{\varphi}$ a velocidade de deformação do material em s⁻¹. Pela curva de escoamento do material, vista na figura 1, adquirem-se as constantes para a formulação acima.

Os coeficientes utilizados na equação de Spittel para o material aço AISI 8640 são os seguintes:

A = 1431,15 MPa	m ₁ = -0,002
m ₂ = -0,1461	m ₃ = 0,14
m ₄ = -0,05	T = 1200°C

Inserindo os valores das constantes para o aço AISI 8640 na equação de Spittel, tem-se:

$$kf = 1431,15 \cdot e^{-0,002 \cdot 1200} \cdot \varphi^{-0,14} \cdot e^{\frac{-0,05}{\varphi}} \cdot \dot{\varphi}^{0,14} \quad (2)$$

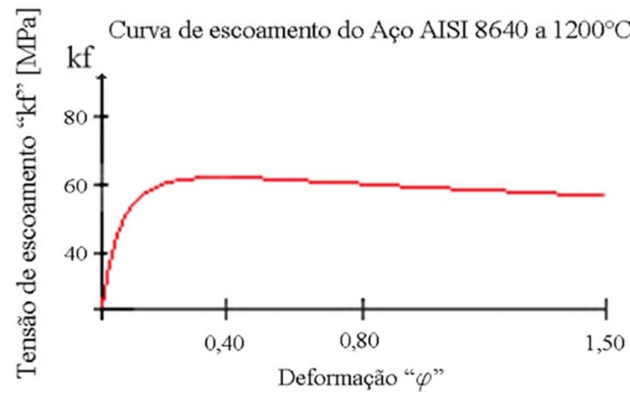


Figura 1 – Curva de escoamento para o aço AISI 8640 à 1200°C. [42].

2. PROCEDIMENTO ANALÍTICO

Para os cálculos da força necessária para a formação da pré-forma da broca, dividiu-se em duas etapas de conformação: a região 1 com forjamento e a região 2 com extrusão. Na figura 2, pode-se observar a separação da peça forjada em duas regiões.

Região 1 – Material é forjado (área abaixo do punção onde há compressão do material).

Região 2 – Material é extrudado (escoa de forma inversa entre as paredes da matriz e o punção).

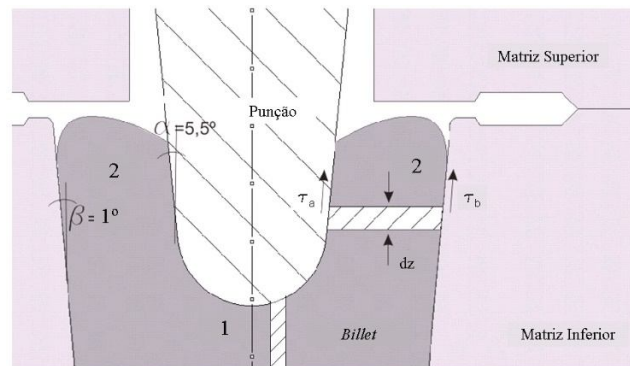


Figura 2 – Separação de duas regiões para cálculo e obtenção da pré-forma.

Para a divisão em tiras nas regiões de forjamento e extrusão, é necessário demonstrar o caminho seguido pelo punção na sua penetração para a fabricação da pré-forma. Na figura 3, observa-se a sequência para a divisão em tiras de acordo com o caminho de fabricação da pré-forma. Primeiramente o contato do punção com o bilhet, tendo, na sequência, a parte forjada no início da penetração e, finalmente, a parte extrudada com as tiras mostrando a extrusão de forma inversa entre o punção e as paredes da matriz.

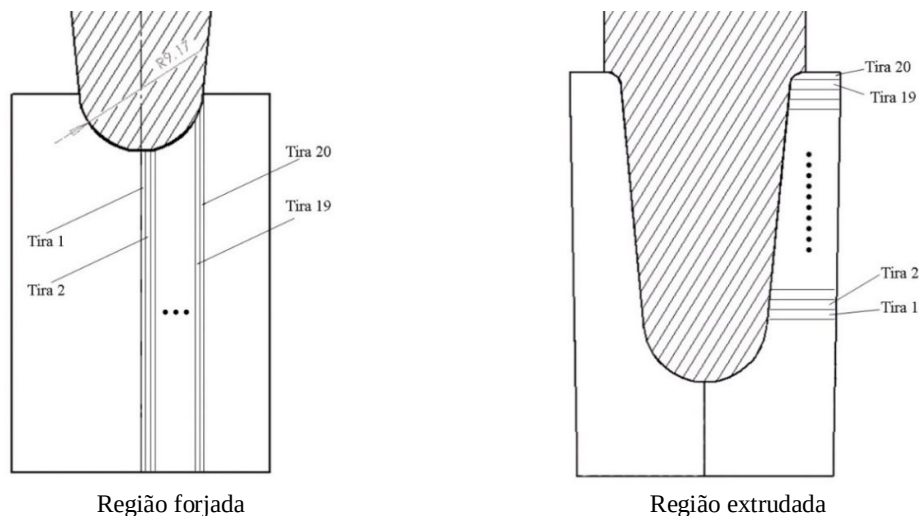


Figura 3 – Discretização em tiras da broca.

O desenvolvimento dos cálculos ocorre tira a tira, onde: r [mm] é o raio do punção na tira; h [mm] é a altura da tira; L [mm] é o comprimento do forjado; φ é a deformação na tira; k_f [MPa] é a tensão equivalente na tira; D_b [mm] é o diâmetro da cavidade na matriz; D_i [mm] é o diâmetro do punção na tira; V [mm³] é o volume e F_z [kN] é a força axial sendo aplicada na tira. As fórmulas para o cálculo destas variáveis podem ser vistas abaixo:

$$r = \left(\frac{I_d}{2} \right) + r_{n-1} \quad (3)$$

$$I_h = \frac{46}{20} = 2,3 \quad (4)$$

$$D_b = \left((L + h)(\tan \beta) + \frac{D_{billet}}{2} \right) * 2 \quad (5)$$

$$D_i = 2r \quad (6)$$

$$V = \left(L + \left(\frac{h_n + h_{n+1}}{2} \right) \right) (D_b^2 - D_i^2) \left(\frac{\pi}{4} \right) \quad (7)$$

$$F_z = \frac{V}{1000} \cdot \sigma_{eq} \cdot 4 \frac{\{ (D_b (\mu_b - \tan \beta)) + D_i (\mu_i + \tan \alpha) \}}{D_b^2 - D_i^2} \quad (8)$$

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Na figura 4, pode-se observar a variação da altura da tira, que é diretamente influenciada pela penetração do punção e pelo comprimento final do forjado.

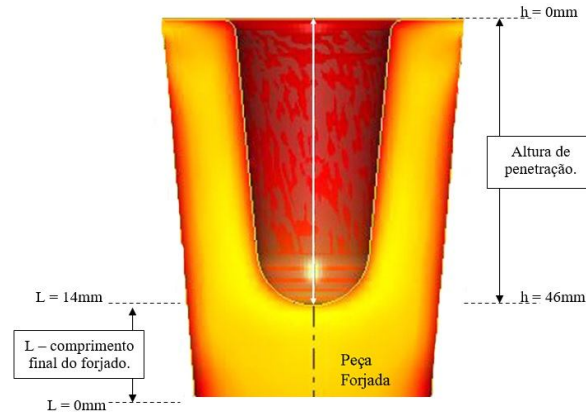


Figura 4 – Variação da penetração do punção.

Para a aplicação da TEP, cada região foi dividida em 20 (vinte) tiras para melhor discriminação dos cálculos e os cálculos foram realizados tira a tira. Assim conseguiu-se calcular a força na direção “z” resultante no processo. A figura 5 expressa a força axial pela altura da tira. Já na figura 6, observa-se a força aplicada em relação ao aumento do raio do punção em relação à sua penetração.

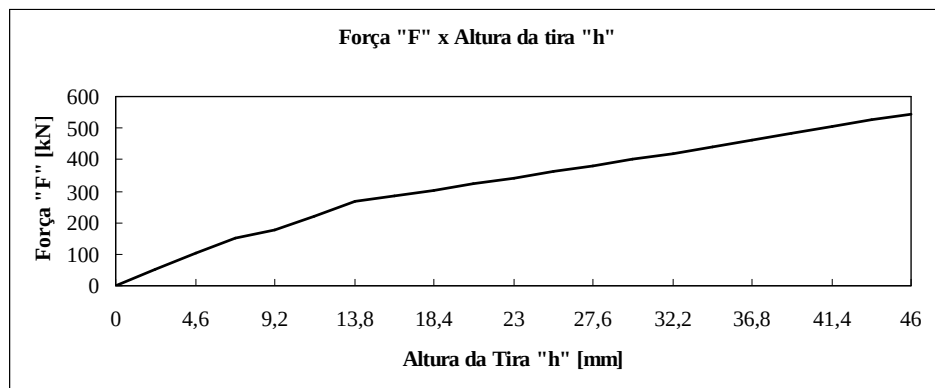


Figura 5 – Curva da força axial em relação à altura da tira.

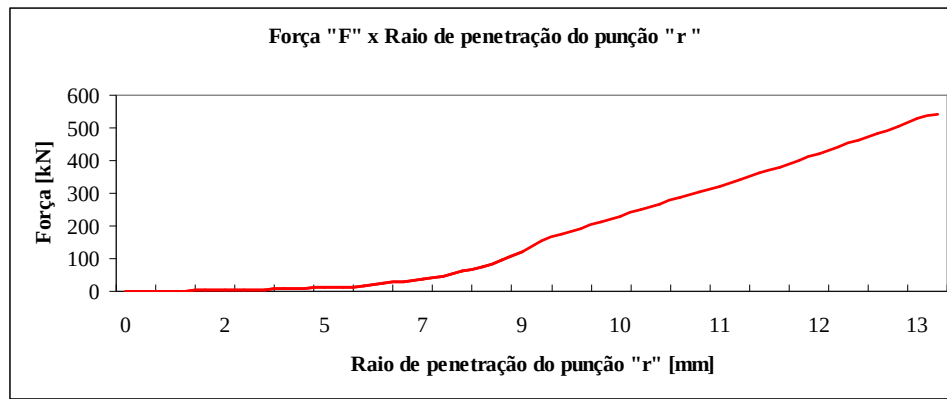


Figura 6 – Força aplicada vs. raio de penetração do punção desde seu contato com a peça até o final de seu curso.

Na figura 7, observa-se uma superposição entre as curvas de força vs. penetração do punção, onde há um comparativo do desenvolvimento da curva obtida pela teoria elementar da plasticidade aplicada ao aço AISI 8640 e o ensaio de forjamento, para obtenção da pré-forma com o aço AISI 8640. Pela utilização da teoria elementar da plasticidade, a curva obtida apresentou uma força resultante aplicada de aproximadamente 530kN. Já, no ensaio experimental de forjamento a quente, com a peça sendo conformada a uma temperatura de 1200°C, a força aplicada foi de 605kN.

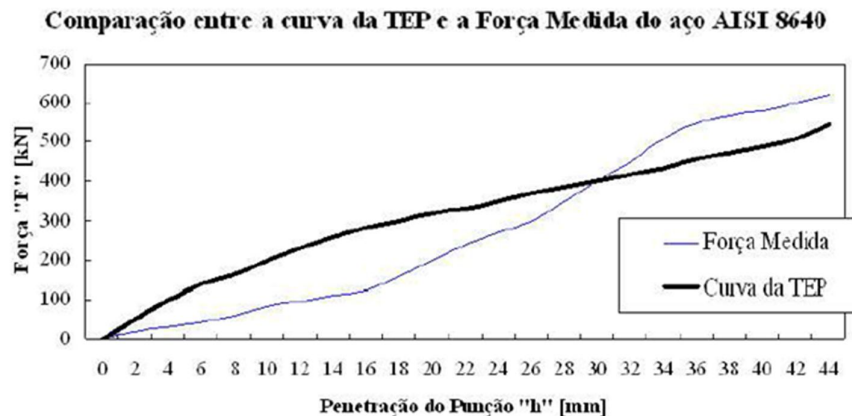


Figura 7 – Comparação do desenvolvimento da força em relação à penetração do punção para o aço desde o primeiro contato com o billet.

Observou-se uma diferença de aproximadamente 13% entre os dois resultados, mostrando a viabilidade da utilização dos modelos matemáticos da TEP, que permitem o cálculo da parte inicial de penetração do punção na peça, como: forjamento e sequência do processo de escoamento do material entre o punção e as paredes da matriz, como extrusão inversa. Com estes resultados comparativos entre cálculos matemáticos e experimentais, demonstrou-se a possibilidade de comparação para o processo de conformação como uma ferramenta importante e, também, uma possibilidade de diminuição da utilização do método de tentativa e erro, buscando economia de tempo e matéria-prima na produção.

4. CONCLUSÃO

Foi utilizado na TEP, o cálculo da força que será aplicada na fabricação da peça para compará-lo com os procedimentos experimentais. Esta comparação foi usada no aço AISI 8640 forjado a quente, concluindo-se a viabilidade do uso deste comparativo (TEP) como uma ferramenta importante para o processo a quente neste trabalho, com uma diferença de apenas 13% entre os dois resultados.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Centro Universitário Senai Cimatec e pela UFRGS – LdTM (Laboratório de Transformação Mecânica).

6. REFERÊNCIAS

BUTELER, D. I.; NEVES, P. C. U. ; RAMOS, L. V. ; SANTOS, C. E. R.; SOUZA, R. M.; SINATORA, A. Effect of anvil geometry on the stretching of cylinders. Journal of Materials Processing Technology, v.179, 2006, p. 50-55.

CAPAN, L.; BARAN, M.; Calculation method of the press force in a round shaped closed-die forging based on similarities to indirect extrusion. Journal of Materials Processing Technology 102. 2000. p. 230 - 233.

CHITKARA, N. R.; ALEEM, A.; Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes: some experiments using hollow billets and the application of a generalized slab method of analysis. V. 43, 2001, p.2857-2882.

CHU, E.; TAEK IM, Y.; KIM, N.; LEE, J.; Process sequence design of large axi-symmetric forging product of aisi 4130 in nozzle type. Journal of Materials Processing Technology, v. 48, 1995, p. 143-149.

MIN, D.K.; KIM, M.E.; A study on precision cold forging process improvements for the steering yoke of automobiles by the rigid-plastic finite-element method. Journal of Materials Processing Technology, v. 138, 2003, p. 339-342.

SCHAEFFER, L. Conformação Mecânica. Porto Alegre: Imprensa Livre editora, 1999. 167p.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Elementary Plasticity Theory Applied to Forging of Drills

C. C. Yurgel, chemale@fieb.org.br ¹

F. A. Lora, fabio.lora@pro.ucs.br ²

L. Schaffer, schaefer@ufrgs.br ³

¹Centro Universitário SENAI CIMATEC – Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã, Salvador, Bahia

²Universidade Católica do Salvador – Av. Prof. Pinto de Aguiar, 2589 – Pituaçu, Salvador, Bahia

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43807 – Centro de Tecnologia, Agronomia, Porto Alegre, RS.

Abstract. *There are different close methods, both analytical and numerical, to analyze metal forming problems. All analytical methods require as an input the material behavior description under process conditions, i.e., the steel flow curves, which estimate the resistance these materials provide to the flow for given temperature, deformation and deformation speed. The elementary plasticity theory was applied to two regions of the drill: the forging and the extrusion regions. With the results obtained by the elementary plasticity theory, it was possible to validate the maximum forging force of 543kN.*

Keywords: *elementary plasticity theory, forging, extrusion.*