METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO VERDADEIRAS PÓS-ESTRICÇÃO

Nick de Bragança Azevedo[1], Gustavo Henrique Bolognesi Donato[2]
[1,2] Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana (FEI)
nickdebraganca@gmail.com /gdonato@fei.edu.br

Resumo: Propriedades verdadeiras tensão-deformação são usualmente obtidas de ensaios de tração uniaxial. Entretanto, as formulações convencionais perdem a validade quando ocorre o fenômeno de estricção (empescoçamento), fruto do surgimento de um estado triaxial de tensões. Estas propriedades limitadas comprometem a precisão das simulações numéricas e este trabalho propõe uma estratégia experimental de análise de imagens combinada à correção de Bridgman para total caracterização do material até a falha final.

1. Introdução

Simulações envolvendo materiais intensamente deformados (p.ex.: fratura dúctil, conformação) têm apresentado expressiva expansão visando aumento de desempenho e segurança de produtos [1]. A grande limitação é a precisa determinação experimental de propriedades tensão-deformação até a falha, principalmente após a estricção (tensões triaxiais) [2].

Como ilustra a Fig. 1, a curva tensão verdadeira (σ) *vs.* deformação verdadeira (ε) pode ser obtida da curva de tensão de engenharia (S) *vs.* deformação de engenharia (e) por meio das Eqs. (1). No entanto, a partir da instabilidade plástica, tais equações perdem a validade e as tensões e deformações verdadeiras só podem ser estimadas de posse de medições instantâneas do pescoço (Fig. 2) e formulações da teoria da plasticidade. A Eq. (2) exemplifica a proposta de Bridgman [3] para avaliar tais tensões verdadeiras (σ_c).

$$S = P/A \;;\; e = \Delta L / L_0 \;;\; \sigma = S(1+e) \;;\; \varepsilon = \ln(1+e) \quad (1)$$

$$\sigma_c = \sigma \Big/ \left[\left(1 + \frac{2.R}{a}\right) . \ln\left(1 + \frac{a}{2.R}\right) \right] \quad (2)$$

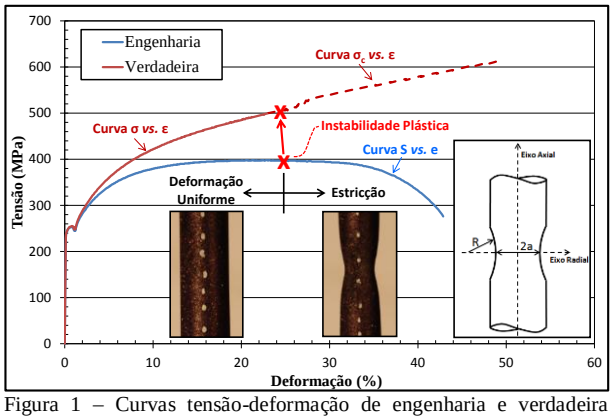

Figura 1 – Curvas tensão-deformação de engenharia e verdadeira indicando a validade da metodologia convencional.

2. Metodologia

Foi desenvolvida uma técnica de medição de espécimes por análise de imagens (varredura de pixels) obtidas usando uma câmera digital de alta resolução (Nikon D-40) em disparo sequenciado. Grandezas dimensionais de interesse (Fig. 2) são obtidas por algoritmo (em Matlab) que minimiza os desvios entre a imagem real e formulações matemáticas (por exemplo, equações de circunferência para raios). Extensa matriz de experimentos envolvendo aços ao Carbono, aços inoxidáveis, cobre e alumínio validaram as propostas.

3. Resultados

Os procedimentos experimentais desenvolvidos e o algoritmo de análise de imagens permitiram o acompanhamento do dimensional do espécime a cada instante (pré e pós-estricção). A metodologia se mostra robusta já que a curva (σ,ε) a partir das imagens colapsa com a curva calculada pela Eq. (1) em seu campo de validade. Ainda, as propriedades pós-estricção puderam ser quantificadas (Fig. 2 – pontos e curva verde) e mostraram-se mais acuradas que a formulação simplificada de Bridgman proposta na literatura (curva laranja, que se desvia da curva verdadeira teórica).

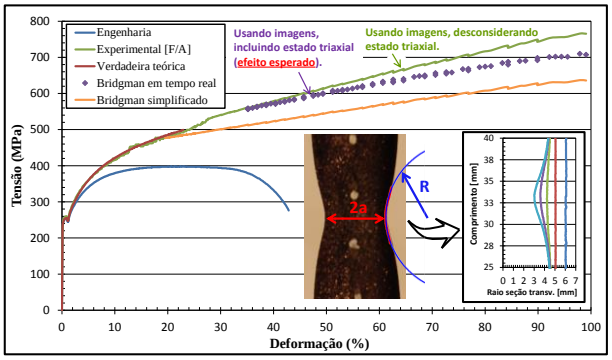

Figura 2 – Curvas tensão-deformação de engenharia, verdadeira, corrigida por Bridgman simplificado e pela técnica proposta.

4. Conclusões

O uso da correção de Bridgman simplificada para aços deve ser feito com cautela, pois mesmo para os aços 1020 os resultados se distanciaram do esperado.

A metodologia proposta se mostrou precisa na análise das imagens mesmo após a estricção, fornecendo propriedades verdadeiras até a falha do material.

5. Referências

[1] HOSFORD, W. F., Mechanical Behavior of Materials, Cambridge Univ. Press, New York, 2005.
[2] LYNG, Y., Uniaxial True Stress-Strain After Necking, AMP Journal of Tech., 5 (1999) 37-48.
[3] BRIDGMAN, P. W., Studies in Large Plastic Flow and Fracture, McGraw-Hill, New York, 1952.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário da FEI pela bolsa PBIC, recursos humanos e recursos materiais para a pesquisa.

[1] Aluno de IC do Centro Universitário da FEI (PBIC 05/10).