

SIMULAÇÃO DE ENSAIOS DE PUNÇIONAMENTO ESFÉRICO PARA ANALISAR O EFEITO DA VARIAÇÃO DA ESPESSURA DAS AMOSTRAS

Luiz Fernando Maia de Almeida*, Sonia A. Goulart Oliveira, Sinésio Domingues Franco

*CIMNE, lfmaiaa@gmail.com

Palavras-chave

Small Punch Test, propriedades mecânicas, método dos elementos finitos

1. INTRODUÇÃO

Muitos materiais, quando em serviço, estão sujeitos a esforços ou carregamentos, como por exemplo, a liga de alumínio a partir da qual a asa de um avião é construída e o aço no eixo de um automóvel. Em tais situações, torna-se necessário conhecer as características do material e projetar o membro a partir do qual ele é feito, tal que qualquer deformação resultante não seja excessiva e não cause fratura. O comportamento mecânico de um material reflete a relação entre a sua resposta, ou deformação, a uma carga ou força aplicada.

As propriedades mecânicas dos materiais são verificadas pela realização de experimentos de laboratório cuidadosamente projetados, que reproduzem o mais fielmente possível as condições de serviço. Fatores que devem ser considerados incluem a natureza da carga aplicada e a duração de sua aplicação, assim como as condições ambientais (Callister Jr., 2011).

Porém, algumas vezes, a constituição e as propriedades mecânicas do material usado na fabricação de um determinado equipamento não são conhecidas. Isso ocorre, por exemplo, com algumas estruturas de centrais elétricas ou da indústria petroquímica, especialmente as mais antigas, para as quais a documentação técnica não é precisa ou mesmo não existe. Desse modo, de forma a levantar as propriedades destes materiais e garantir a integridade das estruturas, incluindo análises de vida remanescente, é necessário a realização de ensaios não destrutivos.

Os ensaios mecânicos baseados em técnicas que utilizam pequenos corpos de prova vêm sendo chamados de "mini testes". Eles conseguem fornecer informação relativa à resistência mecânica dos aços e outros materiais metálicos presentes nos equipamentos em operação, sujeitos a fenômenos de degradação ao longo do tempo e, com isso, determinar a vida útil residual dos mesmos com base nos resultados obtidos. Estes ensaios podem ser considerados não destrutivos, quando as amostras extraídas são retiradas de componentes com dimensões elevadas comparadas às da amostra, não tendo assim efeitos significativos na resistência dos mesmos e garantindo a continuidade dos equipamentos em serviço (Hurst; Matocha, 2012).

Uma das técnicas de ensaio em miniatura utilizadas é o Small Punch Test (SPT), a qual teve seus primeiros trabalhos publicados por Manahan et al. (1981), que consiste em punçar uma amostra em forma de disco, com espessuras da ordem de 500 μm com uma esfera de metal duro e diâmetro conhecido. Durante esse punçionamento são medidos o deslocamento e a força até a ruptura. A partir da curva força por deslocamento são estimadas as propriedades mecânicas. Esta técnica tem aplicação prática em equipamentos que possuam componentes mecânicos de elevadas dimensões, que foram submetidos a fenômenos de degradação ao longo do tempo. A indústria petrolífera e a nuclear são as que mais alavancaram esta tecnologia e possibilitaram seu estudo e desenvolvimento.

A Figura 1-a mostra um desenho esquemático de dispositivo do ensaio SPT, onde o corpo de prova (4) é colocado em um orifício situado na matriz inferior (2), sendo apertado em seguida pela matriz superior (1) e por fim carregado na zona central por ação de um punção esférico (3) que irá deformá-lo até a ruptura. O objetivo do ensaio é produzir uma curva de carga por deslocamento do punção e/ou carga por deflexão do corpo de prova que contenha informações das deformações elástica e plástica e das propriedades de resistência do material. Uma curva típica desse ensaio é mostrada na Fig. 1-b.

2. METODOLOGIA

O equipamento de ensaio utilizado para os testes experimentais consiste em um punção esférico de metal duro (WC-Co) acoplado em uma haste atuadora, uma matriz superior de aperto, uma matriz inferior e a base de suporte. Além disso, o equipamento conta com um LVDT para medir o deslocamento do punção. As principais dimensões levadas em conta para os ensaios são: diâmetro do punção ($d_p = 1,5 \text{ mm}$), diâmetro do furo da matriz inferior ($d_m = 2,4 \text{ mm}$) e o raio de curvatura da matriz inferior ($r_m = 0,3 \text{ mm}$).

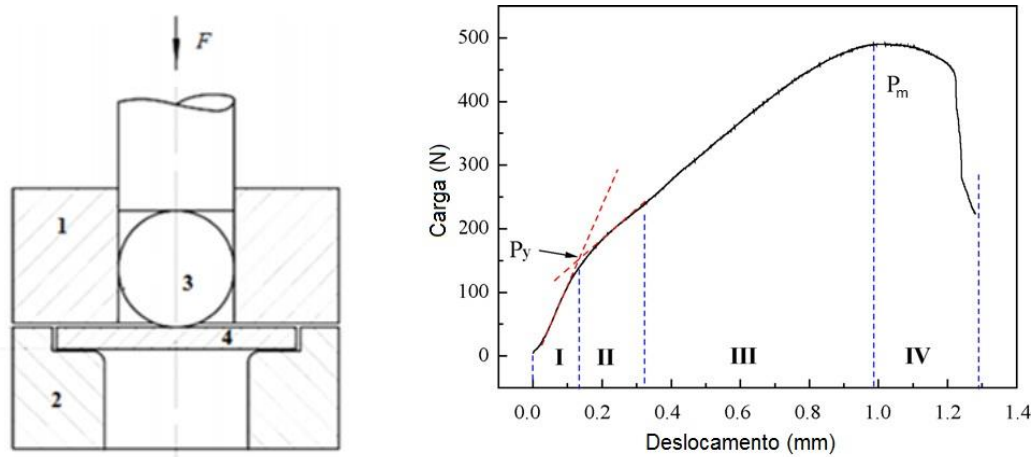


Figura 1: (a) Esquema simplificado do dispositivo do ensaio SPT. (b) Curva carga x deslocamento típica dos ensaios SPT (Wang et al., 2008)

Os corpos de prova utilizados possuem formato de disco circular de 10 mm de diâmetro e espessuras variadas próximas a 0,5 mm. Foram utilizados corpos de prova de dois aços caracterizados no trabalho de Nicolosi (2015). As propriedades desses materiais são mostradas na Tab. 1.

Tabela 1: Propriedades dos materiais utilizados nos ensaios

Material	Módulo de Elasticidade – E (GPa)	Limite de Escoamento – σ_y (MPa)	Limite de resistência a tração – σ_{ut} (MPa)	Coefficiente de encruamento – n
Aço L80	202	514	621	0,075
Aço P110	205	857	929	0,056

As simulações foram feitas utilizando o software de elementos finitos STAMPACK[®] que utiliza o método explícito para cálculo das equações diferenciais. Foi utilizado um modelo bidimensional axissimétrico para representar o experimento, uma vez que existe simetria ao longo de um eixo, simplificando assim os cálculos. Para analisar o efeito da espessura dos corpos de prova, foram feitas simulações com os aços L80 e P110, utilizando as espessuras: 0,250 mm, 0,350 mm, 0,375 mm, 0,450 mm e 0,500 mm. Já o coeficiente de atrito foi variado entre 0,1 e 0,7.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas de resposta das simulações variando as espessuras são mostradas na Fig. 2 para o aço L80 e na Fig. 3 para o aço P110.

É possível observar que com espessuras maiores, a curva passa a apresentar cargas maiores. Isso é esperado, uma vez que a espessura aumenta a rigidez do corpo de prova, necessitando uma força maior para que o punção tenha o mesmo deslocamento. Esse comportamento também reflete comportamentos diferentes para as curvas, de modo que nas curvas de 0,450 mm e 0,500 mm, a transição entre os estágios I e II e entre II e III, mostrados na Fig. 1-b, é mais difícil de ser percebida que nas curvas de espessuras menores.

As simulações possibilitam ainda análises de deformação, que permitem estudar o comportamento do corpo de prova durante o ensaio, além de prever onde provavelmente ocorrerá a ruptura. Com o aumento da espessura, foi observado um aumento de P_y e uma mudança no comportamento das curvas de resposta. Foi observado ainda que a carga máxima P_m aumentou, mas o deslocamento do punção equivalente a essa carga não se alterou.

A Figura 4 mostra a deformação plástica efetiva do corpo de prova de aço L80 de espessura 0,250 mm e 0,500 mm, respectivamente, no deslocamento do punção equivalente à carga P_y . Para as duas espessuras, o deslocamento do punção resulta em uma deformação plástica devido a uma indentação na região em contato com a ponta da esfera e uma flexão elástica na região inferior do corpo de prova.

No corpo de prova mais espesso é observado que a deformação causada pelo deslocamento do punção é praticamente toda devido à indentação, com uma pequena flexão elástica. Já para o corpo de prova menos espesso, a deformação devido à flexão elástica é dominante. Essa mudança de comportamento com a espessura justifica a mudança no comportamento das curvas de resposta para os corpos de prova mais espessos, uma vez que a maior presença da indentação dificulta a percepção da transição dos estágios das curvas.

4. CONCLUSÕES

No estudo da espessura dos corpos de prova, observou-se que existe uma influência desse parâmetro no formato da curva de resposta do ensaio. Espessuras maiores levaram a curvas de resposta com cargas maiores ao longo de todo o ensaio. Além disso, notou-se que as transições entre os estágios da curva de resposta diminuíram com o aumento da espessura, uma vez que é notada maior presença da indentação e menos regime de membrana. Já espessuras menores apresentaram maior presença da flexão elástica e melhor transições entre os estágios.

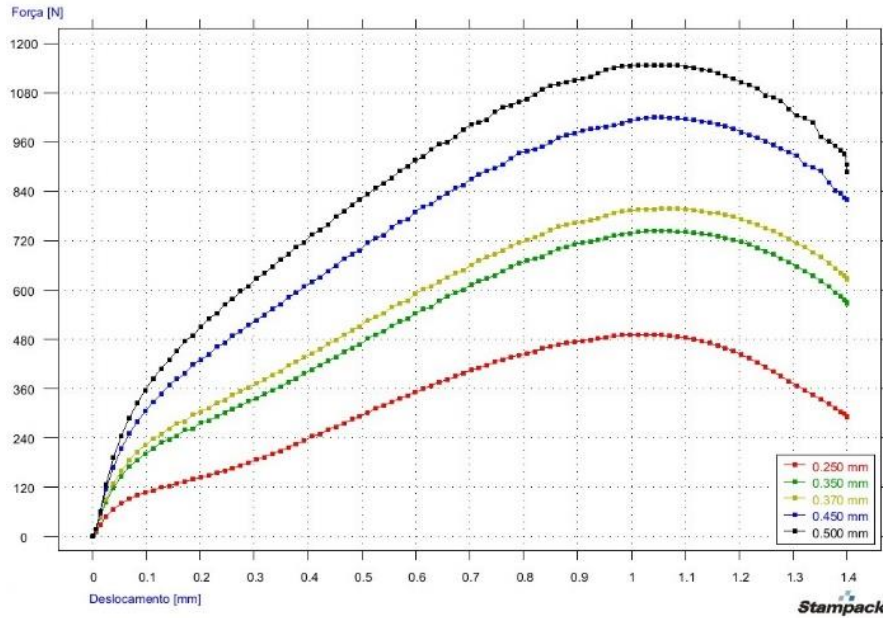


Figura 2: Curvas de resposta das simulações com espessuras variadas para o aço L80.

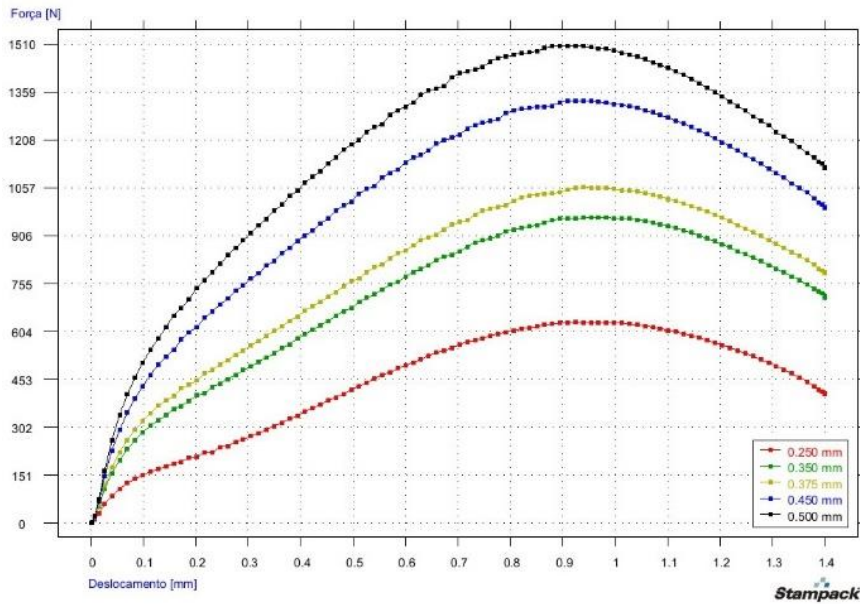


Figura 3: Curvas de resposta das simulações com espessuras variadas para o aço P110.

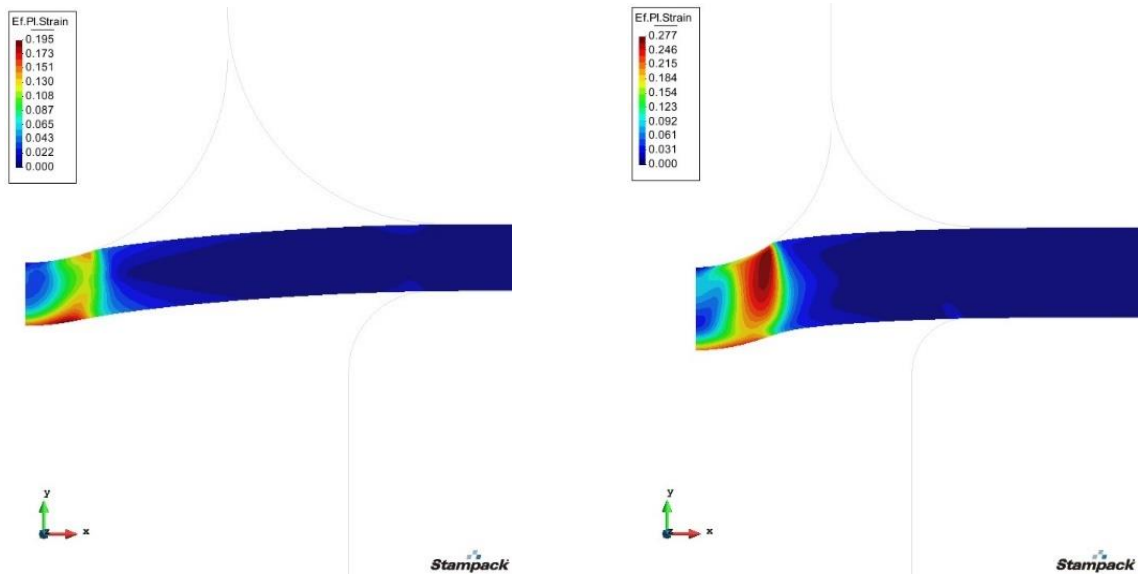


Figura 4: Deformação plástica efetiva do CP de aço L80 com espessura (a) de 0,250 mm. (b) de 0,500 mm.

5. REFERÊNCIAS

- Callister Jr., W. D. “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 706p.
- Hurst, R. C.; Matocha, K. Where are we Now with the European Code of Practice for Small Punch Testing? In: 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE SSTT, 2, 2012, Ostrava, Czech Rep. “Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and other Miniature Testign Techniques”. pp. 4-18
- Manahan, O. K.; Argon, M. P.; Harling, A. S. “The development of a miniaturized disk bend test for the determination of postirradiation mechanical properties”. *Journal of Nuclear Materials*, vol. 104, 1981, pp. 1545-1550.
- Nicolosi, E. R. “Avaliação de métodos analíticos para determinação de propriedades mecânicas de aços via ensaio de macroindentação instrumentada”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.
- Wang, Z.-X.; Shi, H.-J.; Lu, J.; Shi, P.; Ma, X.-F. “Small punch testing for assessing the fracture properties of the reactor vessel steel with different thicknesses”. *Nuclear Engineering and Design*, vol. 238, 2008, pp. 3186-3193.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo incluído neste trabalho.