

Avaliação de propriedades mecânicas de aços ARBL via ensaios de punção esférico

Luiz Fernando Maia de Almeida*, Rosenda Valdés Arencibia, Sinésio Domingues Franco

*Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD), lfmaiaa@gmail.com

Palavras-chave

Small Punch Test, propriedades mecânicas, aços ARBL

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 componente 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 força aplicada e o tempo de sua aplicação, assim como as condições ambientais (Callister Jr., 2011).

Porém, algumas vezes, a constituição e as propriedades mecânicas do material utilizado 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 os corpos de prova extraídos são retirados de componentes com dimensões elevadas comparadas às do corpo de prova, 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). Esta técnica consiste em punção um corpo de prova em forma de disco, com espessuras da ordem de 500 μm com uma esfera de metal duro e diâmetro conhecido. Durante esse punção 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.

Várias equações foram desenvolvidas para permitir a obtenção das propriedades de tração (limite de escoamento e limite de resistência) com base na curva força x deslocamento. A curva de resposta é relacionada com as propriedades mecânicas por meio de correlações matemáticas, que dependem das propriedades do material, da geometria do corpo de prova e do punção utilizado no ensaio. Para García et al. (2014), as equações que melhor relacionam os dados da curva com propriedades de tensão são as mostradas na Eq. 1 e Eq. 2. Onde α_1 , α_2 , β_1 e β_2 são constantes dependentes principalmente do tipo de material, das dimensões do corpo de prova e dos parâmetros de ensaio e t é a espessura do corpo de prova utilizado. Além dessas propriedades, o ensaio SPT permite ainda calcular propriedades de tenacidade à fratura, bem como propriedades de fluência.

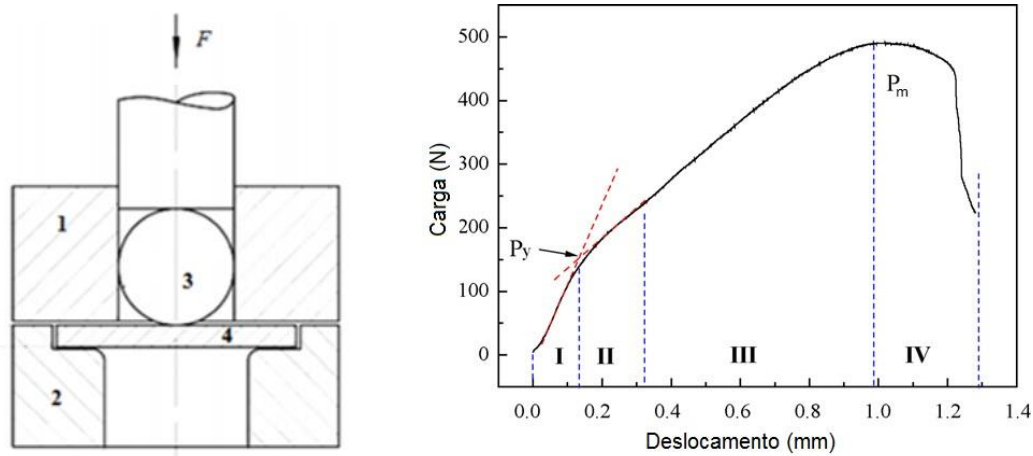


Figura 1: (a) Esquema simplificado do dispositivo do ensaio SPT. (b) Curva força x deslocamento típica dos ensaios SPT (Wang et al., 2008)

$$\sigma_y = \alpha_1 \cdot \left(\frac{P_y}{t^2} \right) + \alpha_2 \quad (1)$$

$$\sigma_{ut} = \beta_1 \cdot \left(\frac{P_m}{t} \right) + \beta_2 \quad (2)$$

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 e uma célula de carga para medir a força aplicada. Foram utilizados corpos de prova com diâmetro de 8 mm e espessura de 0,350 mm. Estes foram fabricados a partir de dois aços de alta resistência, cuja composição química e propriedades mecânicas são mostradas nas Tab. 1 e Tab. 2, respectivamente. Foram realizados ensaios em três corpos de prova de cada material e, para o cálculo de propriedades a partir das curvas de resposta, foram utilizadas as equações obtidas por Almeida (2017).

Tabela 1: Composição química dos materiais utilizados nos ensaios (% em peso).

	C	S	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	Mo	V	P	Al	Ti	Nb	B
Aço C	0,378	0,0078	0,912	0,268	1,14	0,227	0,132	0,321	0,0053	0,0130	0,0243	0,0028	-	0,0012
Aço F	0,290	0,0032	0,769	0,315	1,48	0,216	0,126	0,691	0,0097	0,0139	0,0383	0,0042	0,0239	0,0013

Tabela 2: 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)	Dureza (HV10)
Aço C	209	949,41	1052,80	324,6
Aço F	210	775,83	848,42	266,6

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas de resposta dos ensaios são mostradas na Fig. 2. É possível observar que o aço C apresentou forças máximas mais altas e deslocamentos do punção menores que o aço F. Isso ocorre, pois ele possui uma maior resistência à tração e uma menor ductilidade. Além disso, a curva de resposta do aço F permite uma maior distinção entre os estágios representados na Fig. 1b, o que facilita a obtenção do parâmetro P_y utilizado no cálculo do limite de escoamento. Os valores médios das forças P_y e P_m , bem como os valores do limite de escoamento e limite de resistência calculados e os erros relativos aos valores do ensaio de tração são mostrados na Tab. 3.

Tabela 3: Propriedades dos materiais utilizados nos ensaios.

Material	P_y (N)	P_m (N)	Limite de Escoamento σ_y (MPa)	Erro (%)	Limite de resistência a tração σ_{ut} (MPa)	Erro (%)
Aço C	390	1055	1102,08	16,08	1010,81	3,98
Aço F	295	970	802,54	3,44	887,06	4,55

A partir da Tab. 3, se conclui que os modelos foram bem ajustados para o cálculo dos limites de resistência dos dois aços e do limite de escoamento do aço F. Já o limite de escoamento do aço C apresentou um erro elevado, devido à dificuldade de se obter o parâmetro P_y da curva de resposta.

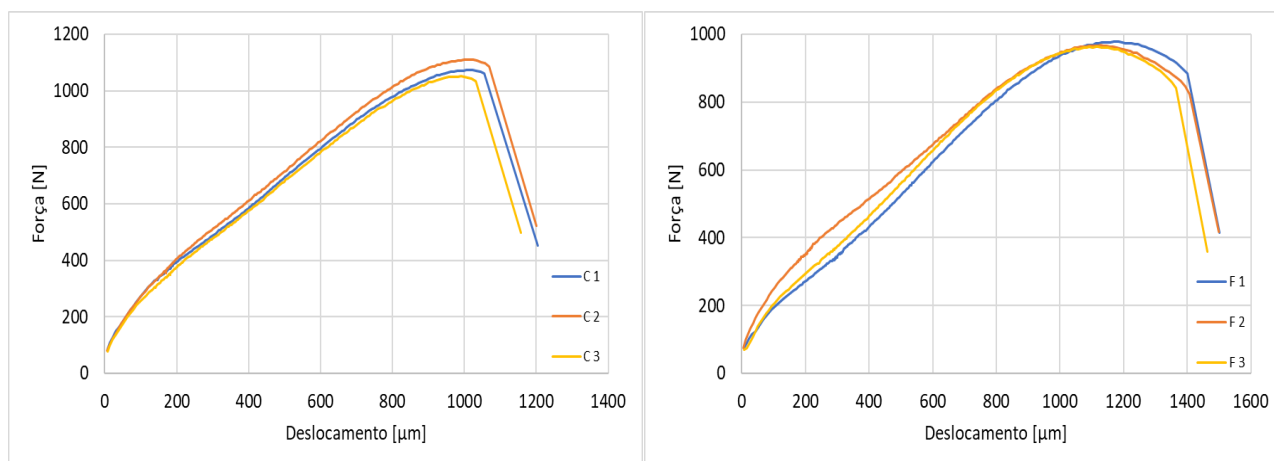


Figura 2: Curvas de resposta dos ensaios para os aços C e F.

Tabela 3: Propriedades dos materiais utilizados nos ensaios.

Material	P_y (N)	P_m (N)	Limite de Escoamento σ_y (MPa)	Erro (%)	Limite de resistência a tração σ_{ut} (MPa)	Erro (%)
Aço C	390	1055	1102,08	16,08	1010,81	3,98
Aço F	295	970	802,54	3,44	887,06	4,55

A partir da Tab. 3, se conclui que os modelos foram bem ajustados para o cálculo dos limites de resistência dos dois aços e do limite de escoamento do aço F. Já o limite de escoamento do aço C apresentou um erro elevado de 16 %, devido à dificuldade de se obter o parâmetro P_y da curva de resposta.

4. CONCLUSÕES

No estudo do cálculo de propriedades mecânicas de materiais de alta resistência utilizando ensaios de puncionamento, observou-se que as transições entre os estágios das curvas de resposta destes materiais são difíceis de serem percebidas, de modo que o limite de escoamento para estes materiais deve ser obtido de modelos diferentes daqueles utilizados para materiais de menor resistência. Com relação ao limite de resistência, foi possível observar que o ensaio de puncionamento fornece resultados bem próximos aos obtidos em ensaios de tração, se mostrando uma boa alternativa quando não existe material disponível para fabricar corpos de prova de grandes dimensões para realização de ensaios.

5. REFERÊNCIAS

- Almeida, L. F. M. “Simulação de ensaios de puncionamento esférico utilizando o método dos elementos finitos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- Callister Jr., W. D. “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 706p.
- García, T. E.; Rodríguez, C.; Belzunce, F. J.; Suárez, C. “Estimation of the mechanical properties of metallic materials by means of the small punch test”. *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 582, 2014, pp. 708-717.
- 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 Testing 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.
- 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.