

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE NUMÉRICA PARA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE DEFORMAÇÃO M E VALIDADE DE J EM CHARPY PRÉ-TRINCADOS (PCVN)

*Rodrygo Figueiredo Moço¹, Gustavo Henrique Bolognesi Donato²

1. Estudante de Iniciação Científica em Engenharia Mecânica do Centro Universitário da FEI;

2. Professor adjunto e pesquisador do Depto. de Engenharia Mecânica do Centro Universitário da FEI;
rodrygofigueiredo@hotmail.com¹ / gdonato@fei.edu.br²

Palavras-chave: Limite de deformação, integral J limite, simulação numérica

Introdução

Ensaio de propagação de trincas por fadiga (da/dN vs. ΔK) e de crescimento dúctil de defeitos (J vs. Δa) são de fundamental importância para obtenção de propriedades mecânicas que representam a base para diversos protocolos de avaliação de integridade estrutural, aceitação de defeitos e previsão de vida de componentes trincados de alta responsabilidade [1]. Usualmente, tais ensaios são balizados por normas como a ASTM E647 e E1820 [2,3], as quais exigem dimensões mínimas para as amostras C(T) ou SE(B) a fim de garantir condições de escoamento de pequena monta (SSY) e, portanto, a validade de aplicação da mecânica da fratura monoparamétrica em termos de K e/ou da integral J .

De acordo com o trabalho de Shih & German [4], a validade de J pode ser obtida da seguinte forma:

$$B, b \geq M \cdot \frac{J}{\sigma_{LE}}$$

Dessa forma a determinação do limite de deformação M é fundamental para analisar qual a máxima força motriz de uma trinca em termos de J que pode ser aplicada em um espécime para que haja similitude. Vale notar que o parâmetro M pode ser obtido em função da espessura B ou do ligamento remanescente b do espécime em estudo.

Como um avanço nessa direção, simulações numéricas de espécimes do tipo Charpy modificados (10x10x70 mm), conforme detalhe da figura 2(c), de comprimentos relativos de trinca $a/W = 0,2$ e $a/W = 0,5$ de um aço estrutural ASTM A36, foram realizadas para obtenção dos parâmetros M .

Resultados e Discussão

O ensaio de flexão em 3 pontos representado na figura 1(a) foi modelado numericamente e, para tal, apenas $\frac{1}{4}$ do espécime foi simulado. Dessa forma, a malha de elementos finitos e os devidos vínculos de simetria e apoio foram criados no software MSC Patran 2010 (figura 1 (b)). O processamento foi feito no solver Warp3D, sendo que as propriedades e os parâmetros de encruamento do material são apresentados na tabela 1. O valor de integral J foi obtido pelo método de integração de domínios.

O carregamento foi imposto através de deslocamentos incrementais de 0,01 mm até um total de 10,0 mm. Para cada incremento foi possível obter o valor de J e as tensões em função da distância da ponta da trinca. Dessa forma, foi possível obter as curvas adimensionais. Da literatura sabe-se que J limite é definido como valor de J que se afasta 15% do campo HRR (que caracteriza condições SSY) para um raio adimensional de 2 [1,4]. Todo o pós-processamento de dados foi realizado por rotinas desenvolvidas em linguagem MatLab.

Seguem abaixo as propriedades de tração do material ASTM A36 estudado.

Tabela 1 – Propriedades de tração do aço ASTM A36.

Aço	E (GPa)	σ_{LE} (MPa)	σ_{LR} (MPa)	H (MPa)	$1/n$
A36	211	286,7	424	822,8	4,3

As curvas adimensionais obtidas para $a/W = 0,5$ são apresentadas na figura 1(c) junto com um modelo de referência SSY, ou seja, uma situação em que o carregamento ao redor da trinca é predominantemente um estado plano de deformações. Os valores de M para ambas as geometrias são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 2 - J limite e parâmetros M em função de b e B .

ASTM A36	J limite (kJ/m ²)	M (b)	M (B)
$a/W = 0,2$	387,7	5,9	7,4
$a/W = 0,5$	193,9	7,4	14,8

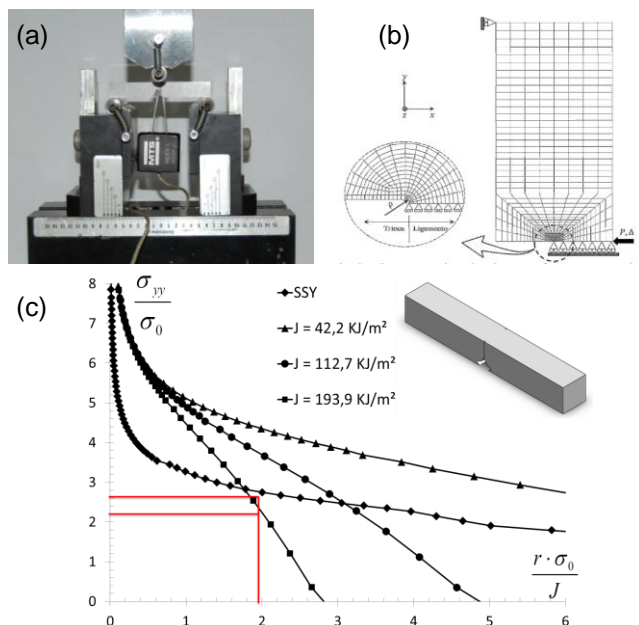


Figura 1 – (a) Ensaio de propagação de trinca em flexão de 3 pontos. (b) Modelamento numérico de $\frac{1}{4}$ do espécime para avaliação de M . (c) Curvas adimensionais para alguns valores de J e para condição SSY.

Conclusões

Tanto o procedimento de simulação numérica, quanto as rotinas desenvolvidas em Matlab, se mostraram robustas para determinação de J limite e de M , que podem ser utilizados tanto para dimensionar as máximas cargas que podem ser aplicadas em um ensaio, como as dimensões de espécimes que não invalidem a similitude.

A tendência dos valores de J limite obtidos é diferente dos resultados usuais de amostras de grandes dimensões, o que incentiva mais estudos com espécimes reduzidos.

Agradecimentos

À FEI e ao CNPq pela bolsa PIBIC e recursos. Ao orientador Prof. Dr. Gustavo H. B. Donato.

[1] Anderson, T. L., “Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications”, CRC Press, New York, 2005.

[2] ASTM E647, “Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates.” Philadelphia, 2013.

[3] ASTM E1820, “Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness”, Philadelphia, 2011.

[4] Shih, C. F.; German, M. D., 1981, “Requirements for a one parameter characterization of crack tip fields by the HRR singularity.” International Journal of Fracture, v. 17, p. 27-43.