cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Determinação da Tenacidade à Fratura de Ligas de Alumínio por Integral J: Revisão Crítica e Protocolo Híbrido com Cilindros Entalhados

Larissa Gomes Simão; Fátima R. M. Nogueira; Walisson P. Jesus; Leticia B. Sousa; Murilo V. Nascimento; Eduardo Atem de Carvalho
UENF

Introdução

Em ligas de alumínio estruturais, a plasticidade extensa e o embotamento da ponta da trinca antes da propagação violam a hipótese de small-scale yielding e invalidam K como parâmetro único de controle [1,2,3], o que exige a Mecânica da Fratura Elastoplástica e sua grandeza central, a integral J proposta por Rice e Cherepanov [4]. Os corpos de prova da ASTM E1820, C(T) e SE(B), podem ser grandes, de usinagem cara e impor um estado de tensões distinto do de um componente real, como um tubo pressurizado [3,5]. Nesse cenário, o cilindro entalhado é atrativo por seu potencial de menor custo e menor demanda de material e por gerar um estado de tensões axissimétrico de alta restrição, teoricamente ideal para a determinação de propriedades conservativas que assumem o limite inferior como sendo o maximo tolerável [6].

Objetivos

Avaliar criticamente a teoria, o protocolo experimental, os métodos analíticos e as limitações do cilindro entalhado na determinação da tenacidade à fratura por integral J de ligas de alumínio, sintetizando o estado atual do conhecimento e posicionando o cilindro entalhado como ferramenta especializada, não como substituto simples dos corpos de prova normatizados.

Metodologia

- **Fundamentos da EPFM:** interpretação energética da integral J.
- **Corpo de prova:** Conforme Figura 1 com pré-trinca de fadiga.
- **Cálculo de J:** separação das componentes elástica e plástica, com esta obtida da área plástica sob a curva carga-deslocamento via método do fator η.

$$J_{pl} = \frac{\eta_{pl} A_{pl}}{A_{lig}}$$

- **Comparação:** ASTM E1820.

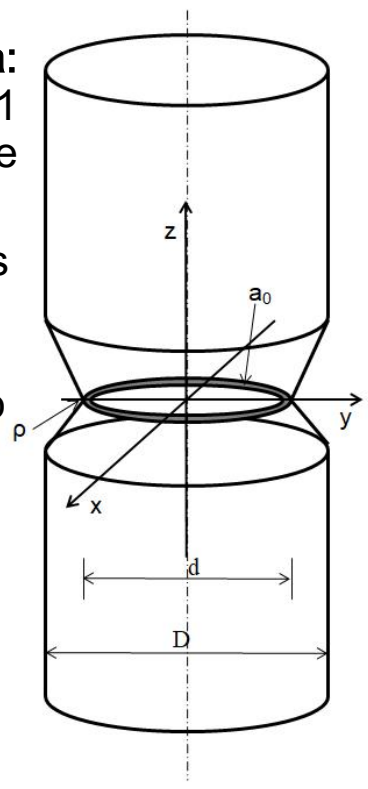


Figura 1. Geometria do cilindro entalhado. A razão d/D controla a restrição.

Discussão

O cilindro entalhado gera, por sua natureza axissimétrica, um estado de tensões uniforme e de alta restrição ao longo de toda a circunferência da frente de trinca, teoricamente ideal para a determinação de propriedades conservativas de limite inferior. Nos corpos de prova planos, a restrição varia da superfície ao centro da espessura, o que reduz a triaxialidade nas superfícies livres (Figura 2).

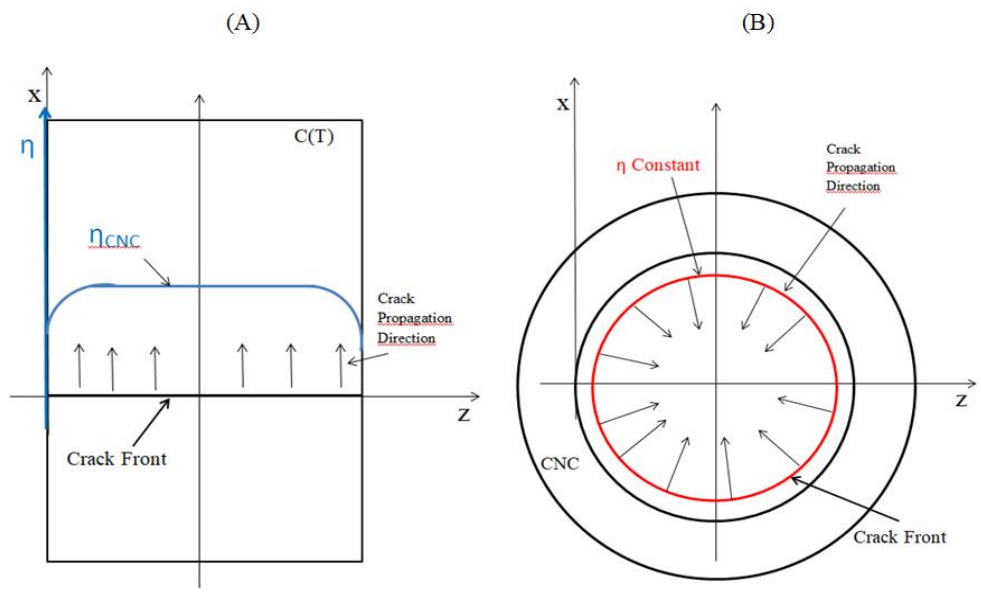


Figura 2. Distribuição da triaxialidade de tensões ao longo da frente de trinca: (A) corpo de prova plano C(T)/SE(B); (B) cilindro entalhado, com restrição uniforme em toda a circunferência.

Erro experimental: Desalinhamento de 0.05 mm ou 0.5° altera J em mais de 10%, a pré-trinca pode introduzir tensões residuais e o rasgamento estável limitado dificulta a construção da curva J-R.

Conclusões

O cilindro entalhado não se presta a ensaios rotineiros e normatizados, mas é ferramenta de pesquisa quando alta restrição é necessária. É adequado ao JIc conservador de componentes cilíndricos validados numericamente. A FEA calcula J diretamente, deriva os fatores η e analisa a restrição. O uso inicial fica restrito a laboratórios com usinagem de precisão, dispositivos de alinhamento e capacidade computacional.

Referências

[1] Kumar, A. & Singh, R. C. A Review on Fracture Toughness Characterization of Aluminium Based Metal Matrix Composites, Materials Today: Proceedings, Vol. 33, 2020.
[2] Bucci, R. J., Paris, P. C., Landes, J. D., and Rice, J. R. J Integral Estimation Procedures in Fracture Analysis, ASTM STP 514, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1972, pp. 40–69;
[3] ASTM E1820-23b. Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2023;
[4] Anderson, T. L. Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, 4th ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2017;
[5] ASTM E1737-96. Standard Test Method for J-Integral Characterization of Fracture Toughness, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1996;
[6] Wang, X. Numerical Study of the Plastic Zone at the Crack Front in Cylindrical Specimens, Materials, Vol. 16, 20, 2023, p. 6759.

Agradecimento

PAPIC/UENF - EDITAL 05/2024.