

NGHIÊN CỨU VỀ PHÁ HỦY TRONG VẬT LIỆU BIẾN DẠNG ĐẸO ĐÀN HỒI (EPFM)

A STUDY OF FRACTURE IN ELASTIC-PLASTIC MATERIAL (EPFM)

Lê Hiếu Giang,
Nguyễn Lê Đăng Hải

ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật TP HCM

TÓM TẮT

Tích phân J được tính toán dựa vào mối quan hệ ứng suất-biến dạng Ramsberg-Osgood ở nhiệt độ 20°C cho mẫu compact tension (CT) của thép không gỉ 304 cho trường hợp ứng suất phẳng và biến dạng phẳng khi tỷ lệ chiều dài vết nứt a/W thay đổi. Tích phân J cũng được tính cho giả thiết ứng suất phẳng và biến dạng phẳng bằng phần mềm Ansys. Giá trị tích phân J cho ứng suất phẳng và biến dạng phẳng thì khác nhau. Giá trị tích phân J (của ứng suất phẳng và biến dạng phẳng) tỷ lệ thuận với tỷ lệ chiều dài vết nứt a/W và tăng rất nhanh khi tỷ lệ chiều dài vết nứt lớn ($a/W=0,7$).

ABSTRACT

J integral was calculated based on Ramsberg Osgood stress-strain relationship at 20°C for compact tension (CT) of 304 stainless steel for plane stress and plane strain when the ratio between crack length a and width of specimen W was changed. Besides the results, J was also calculated and simulated in the case of plane strain and plane stress with ANSYS. J values for the case of plane stress and plane strain were different. J values increased with the increase of the ratio between crack length a and width of specimen W and increased rapidly when the ratio was high ($a/W=0,7$).

I ĐẶT VẤN ĐỀ

Vết nứt và khuyết tật xảy ra trong nhiều cấu trúc và thành phần vì nhiều lý do. Các vật liệu có thể đã chứa khuyết tật. Vết nứt có thể xuất hiện trong giai đoạn sản xuất, hoặc sau đó là kết quả của điều kiện môi trường. Sự hiện diện của các vết nứt hoặc khuyết tật có thể làm giảm đáng kể khả năng chịu tải của cấu trúc dưới tác động của tải trọng và điều kiện môi trường.

Cơ học phá hủy sử dụng các khái niệm từ cơ học ứng dụng để phát triển một sự hiểu biết về trường ứng suất và biến dạng xung quanh đầu vết nứt khi một vết nứt xuất hiện trong một cấu trúc. Một kiến thức về ứng suất và biến dạng giúp phát triển các thiết kế tuổi thọ an toàn và độ hư hỏng an toàn cho các cấu trúc. Khi mà ứng xử ứng suất – biến dạng và ứng xử tải trọng – chuyển vị là phi

tuyến, EPFM được sử dụng và thông số đầu vết nứt có liên quan là tích phân J [3]. Đây chính là bài toán đặt ra mà tác giả đã chọn.

II TÍCH PHÂN J

1. ĐỊNH NGHĨA [8]: Tích phân J là một trong các thông số được chấp nhận rộng rãi nhất cho cơ học phá hủy cho vật liệu đàn dẻo. Tích phân J được định nghĩa như sau:

$$J = \lim_{\Gamma \rightarrow 0} \int_{\Gamma_0} \left[(w + T) \delta_{li} - \sigma_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] n_i d\Gamma(1)$$

trong đó W là mật độ năng lượng biến dạng, T là mật độ năng lượng động học, σ đại diện cho những ứng suất, u là vector chuyển vị, và Γ là contour trong đó tích phân được tính toán.

Đối với một vết nứt trong một vật liệu đàn hồi tuyến tính, tích phân J đại diện cho tốc độ giải phóng năng lượng. Ngoài ra, biên độ của trường ứng suất và biến dạng đầu vết nứt được đặc trưng bởi tích phân J cho một vết nứt trong một vật liệu đàn hồi phi tuyến.

2. TÍCH PHÂN J ĐƯỢC XEM NHƯ LÀ HỆ SỐ CƯỜNG ĐỘ ỨNG SUẤT [8]

Hutchinson và Rice và Rosengren độc lập cho rằng tích phân J mô tả đặc điểm của vùng đầu vết nứt trong một vật liệu đàn hồi phi tuyến. Họ từng cho rằng có một mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng. Nếu biến dạng đàn hồi được bao gồm, các mối quan hệ biến dạng đơn trục được

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\sigma_0} + \alpha \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n \quad (2)$$

σ_0 là ứng suất tham khảo (the field stress) và $\varepsilon_0 = \sigma_0/E$, α là một hằng số không thứ nguyên, và n là các thành phần cứng. Họ đã chỉ ra rằng, ở một khoảng cách rất gần với đỉnh vết nứt và trong vùng dẻo, ứng suất và biến dạng đầu vết nứt có thể được thể hiện như sau:

$$\sigma_{ij} = f(\theta) \left(\frac{J}{r}\right)^{\frac{1}{n}} \sigma_{ij} = f(\theta) \left(\frac{J}{r}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

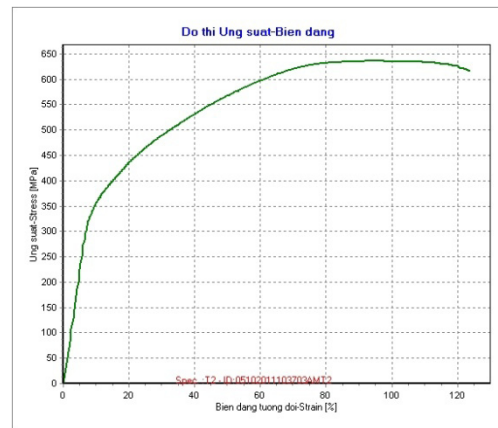
Và

$$\varepsilon_{ij} = g(\theta) \left(\frac{J}{r}\right)^{\frac{n}{n+1}} \varepsilon_{ij} = g(\theta) \left(\frac{J}{r}\right)^{\frac{n}{n+1}} \quad (4)$$

Đối với vật liệu đàn hồi, $n = 1$ và phương trình trên dự đoán $1/\sqrt{r}$ suy biến là phù hợp với cơ phá hủy đàn hồi tuyến tính.

III. THÍ NGHIỆM KÉO ĐƠN TRỤC (Tiêu Chuẩn Việt Nam TCVN 197: 2002, ISO 6892:1998 VẬT LIỆU KIM LOẠI – THỬ KÉO Ở NHIỆT ĐỘ THƯỜNG)[10]

Chuẩn bị mẫu có kích thước 3x40x400. Tiến hành thí nghiệm trên máy Torsee.

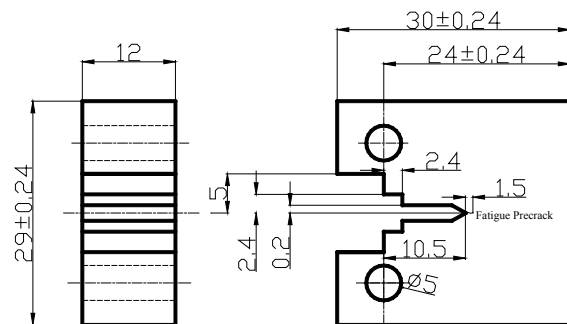


Hình 1: Đồ thị Ứng suất – biến dạng tương đối

Dạng đồ thị ứng xử Ứng suất – biến dạng như trên khẳng định thép không gỉ 304 là vật liệu dẻo. (Đồ thị bao gồm đoạn thẳng ($0 \leq \sigma \leq 350MPa$)) ($0 \leq \sigma \leq 350MPa$): giai đoạn đàn hồi, đường cong ($\sigma > 350MPa$) ($\sigma > 350MPa$): giai đoạn dẻo, có sự biến dạng dẻo rất lớn trước khi đứt.

IV. TÍNH J DỰA VÀO QUAN HỆ ỨNG SUẤT - BIẾN DẠNG RAMSBERG – OSGOOD[10]

Phương pháp này được đề xuất để xác định các thông số khi thiếu số liệu thí nghiệm. Việc đánh giá J không phụ thuộc vào đo lường tải trọng – chuyển vị, thay vào đó chuyển vị được tính toán từ tính chất biến dạng của vật liệu α , ε_0 , σ_0 và m .



Hình 2: Mẫu Compact tension [4]

Mẫu CT có $B = 12mm$, $W = 24mm$ và chiều dài vết nứt là a mm làm từ thép không gỉ SU 304 được thí nghiệm ở $20^\circ C$. Hệ số Ramsberg - Osgood cho vật liệu này ở $20^\circ C$ [9]:

$$\sigma_0 = 206,8MPa$$

$\alpha = 1,89$

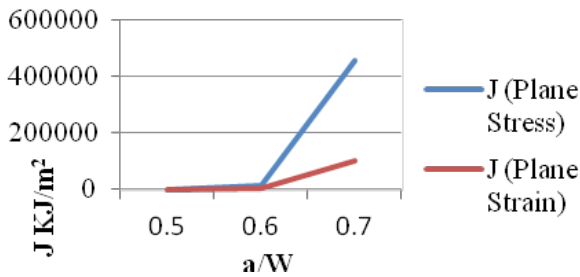
$\epsilon_0 = 1,06 \cdot 10^{-3}$

$m = 5$

$E=195,12 \cdot 10^3 \text{MPa}$

Nếu tải tác dụng là 13kN, tính J cho 2 trường hợp ứng suất phẳng và biến dạng phẳng khi $0,5 \leq a/W \leq 0,7$, $0,5 \leq a/W \leq 0,7$ [3]

Hình 3 J và a/W (Ứng suất phẳng và biến dạng phẳng)

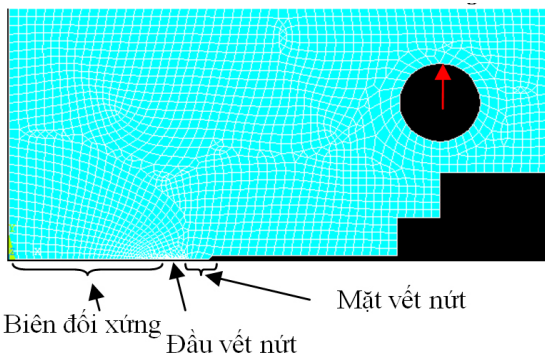


J (trường hợp ứng suất phẳng và biến dạng phẳng) tăng tỷ thuận với a/W và tăng rất nhanh khi a/W>0,6.

V. MÔ PHỎNG BẰNG PHẦN MỀM ANSYS.[10]

Cho ứng suất tác dụng thay đổi từ 1Mpa, 50Mpa, 100Mpa khi a/W=0,5; 0,6; 0,7[3]

Thực hiện như sau:



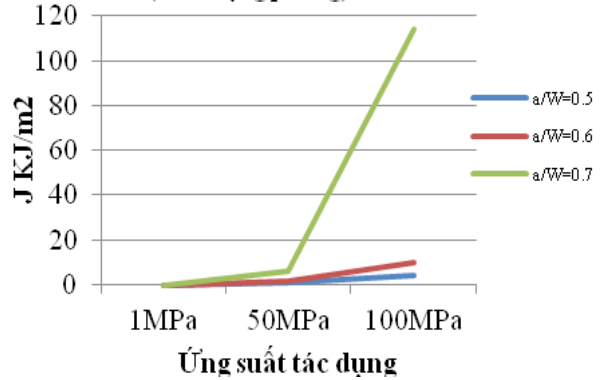
Hình 4 Mô hình hóa với Ansys

Kết quả

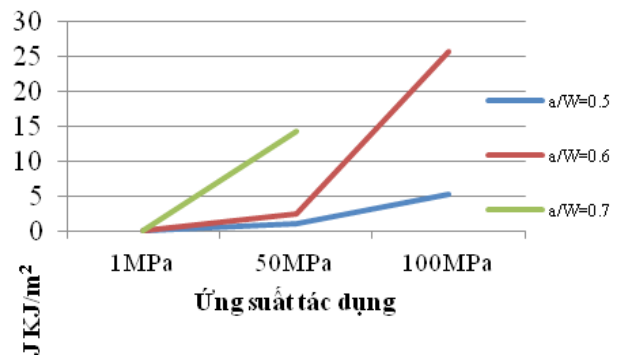
	Biến dạng phẳng (Plane Strain)		
J(KJ/m ²)	1MPa	50MPa	100MPa
a/W=0.5	0.00037245	0.94509	3.9369
a/W=0.6	0.0007406	1.9221	9.9691
a/W=0.7	0.0018534	6.0801	114.27

	Ứng suất phẳng (Plane Stress)		
J(KJ/m ²)	1MPa	50MPa	100MPa
a/W=0.5	0.00040665	1.0804	5.2164
a/W=0.6	0.0008139	2.3763	25.825
a/W=0.7	0.0020367	14.381	Error

Hình 5 Mối quan hệ J và a/W khi a/W thay đổi (Biến dạng phẳng)



Hình 6 Mối quan hệ J và a/W khi a/W thay đổi (Ứng suất phẳng)



Nhận xét: giá trị tích phân J (cho ứng suất phẳng và biến dạng phẳng) tỷ lệ thuận với tỷ lệ chiều dài vết nứt a/W và tăng rất nhanh ($\sigma \geq 50 \text{MPa}$) ($\sigma \geq 50 \text{MPa}$) khi tỷ lệ chiều dài vết nứt lớn (a/W=0,7). Giá trị tích phân J cho ứng suất phẳng và biến dạng phẳng khác nhau. Sự khác nhau này là rất có ý nghĩa. Đó là vấn đề khi xác định J cho kết cấu dưới tải đàn hồi – dẻo thì thừa nhận sự có mặt của ứng suất phẳng và biến dạng phẳng. [4]

VI. KẾT LUẬN

Tích phân J tỷ lệ thuận với tỷ lệ chiều dài vết nứt a/W và tăng rất nhanh khi a/W lớn (a/W=0,7). Giá trị J cho ứng suất phẳng và biến dạng phẳng khác nhau. Sự khác nhau này rất có ý nghĩa. Đó là vấn đề khi xác định J cho kết cấu dưới tải đàn hồi – dẻo thì thừa nhận sự có mặt của ứng suất phẳng và biến dạng phẳng. [4]

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] David Broek, “*Elementary Engineering Fracture Mechanics*”, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, 1984.
- [2] T.L. Anderson, “*FRACTURE MECHANICS Fundamentals and Applications*”, CRC Press, 1995.
- [3] Ashok Xasena, “*Nonlinear Fracture Mechanics for Engineers*”, CRC Press, 1998
- [4] James A. Joyce, “*Manual on Elastic-Plastic Fracture: Laboratory Test Procedures*”, ASTM Committee, 1996.
- [5] “*Structural Analysis Guide 12.0*”, ANSYS, Inc.
- [6] D. Trias, “*Fracture Mechanics for Structure Design Computer Lab Sessions*”, 2010
- [7] Dr. A.-V. Phan, “*ANSYS TUTORIAL – 2-D Fracture Analysis*”, University of South Alabama.
- [8] ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide Release 13.0, ANSYS Inc.
- [9] Cofie, “*Stress – Strain Behaviour in Elastic – Plastic Fracture Mechanics*”.
- [10] Nguyễn Lê Đăng Hải (2011), “Nghiên cứu về phá hủy trong vật liệu biến dạng dẻo đàn hồi (EPFM)”. Luận văn Thạc Sĩ.