

ỨNG DỤNG CƠ HỌC PHÁ HỦY (FRACTURE MECHANICS) TRONG KẾT CẤU CÔNG TRÌNH

ThS. NGUYỄN TUẤN NGỌC

Tổng Công ty Tư vấn thiết kế Giao thông vận tải

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Cơ học phá hủy (Fracture mechanics) là một ngành cơ học nghiên cứu sự phát triển các vết nứt trong vật liệu. Nó được sử dụng để phân tích cơ học vật rắn chịu lực tác dụng lên các vết nứt từ đó xác định khả năng chịu lực cho đến khi phá hủy. Trong lĩnh vực khoa học vật liệu hiện đại, cơ học phá hủy đóng vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu cơ chế làm việc của vật liệu. Việc dự đoán sự phát triển của vết nứt là nền tảng cho việc đánh giá liệu có thể chấp nhận một vài hư hại, hỏng hóc nhỏ của một bộ phận trong tổng thể toàn bộ kết cấu hay không.

2. MÔ HÌNH CỦA GRIFFITH VÀ SỰ PHÁT TRIỂN CỦA CƠ HỌC PHÁ HỦY

2. 1. Mô hình của Griffith

[1] Năm 1920, Griffith đã công bố các nghiên cứu của ông về mối liên quan giữa ứng suất phá hủy và kích thước các khuyết tật. Ông áp dụng giải tích trong nghiên cứu ứng suất phân bố quanh một lỗ hình elip (thực nghiệm này đã được tiến hành bởi Inglis bảy năm trước đó). Dựa vào nghiên cứu này, Griffith đã áp dụng định luật thứ nhất của nhiệt động học vào biểu thức của lý thuyết cơ học phá hủy. Mô hình của Griffith đã dự đoán được chính xác mối quan hệ giữa cường độ với kích thước khuyết tật

đối với vật liệu thủy tinh. Các cố gắng sau đó áp dụng mô hình Griffith vào kim loại đã không đạt được thành công. Cho đến tận năm 1948, một mô hình chỉnh sửa mô hình cơ bản của Griffith đã được đề xuất áp dụng thành công cho vật liệu kim loại.

Các nghiên cứu của Griffith dựa trên mâu thuẫn :

- Ứng suất cần thiết để phá vỡ tấm kính vào khoảng 100Mpa.
- Nhưng theo lý thuyết, ứng suất cần để phá hủy lực kết dính nguyên tử lên tới 10.000Mpa.

Tại thời điểm đó, cần có một lý thuyết để giải quyết vấn đề này. Thêm vào đó, các thí nghiệm trên sợi thủy tinh do Griffith chế tạo đưa ra giả thiết là ứng suất phá hoại sẽ tăng khi đường kính sợi giảm. Như vậy, với các lý thuyết về ứng suất kéo phá hoại được áp dụng rộng rãi trước Griffith không thể giải thích việc này. Griffith giả thiết rằng với các kết quả quan sát được việc phá hoại ở lực tác dụng thấp cũng như ảnh hưởng của kích thước cấu kiện có nguyên nhân do các khuyết tật nhỏ có trong vật liệu.

Để kiểm tra giả thuyết về các khuyết tật nhỏ này, Griffith đã thí nghiệm trên các mẫu mà ông tự tạo ra các khuyết tật nhỏ dưới dạng một vết nứt bề mặt lớn hơn các khuyết tật nhỏ

khác có trong mẫu thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm cho thấy tích số giữa căn bậc hai của chiều dài khuyết tật và ứng suất phá hủy σ_f gần như là hằng số:

$$\sigma_f \sqrt{a} \approx C$$

Việc sử dụng lý thuyết đàn hồi tuyến tính để giải thích vấn đề này thực sự gặp khó khăn. Lý thuyết đàn hồi tuyến tính dự đoán rằng ứng suất (ở đây là ứng biến) tại điểm đầu vết nứt là vô cùng lớn. Để tránh việc này, Griffith đã áp dụng lý thuyết nhiệt động học để giải thích mối quan hệ mà ông quan sát được.

Sự phát triển vết nứt dẫn đến sự tạo mới ra hai bề mặt, và như vậy có sự tăng lên của năng lượng bề mặt. Griffith đã tìm thấy mối quan hệ giữa hằng số C với năng lượng bề mặt của vết nứt bằng cách giải bài toán đàn hồi của một vết nứt hữu hạn nằm trong một tấm đàn hồi:

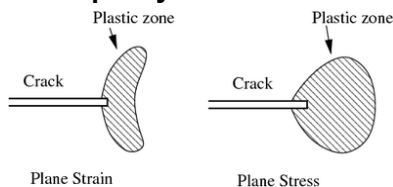
- Tính toán thế năng lưu giữ trong một mẫu hoàn toàn chịu tác dụng kéo dọc trục
- Cố định biên, như vậy ngoại lực tác dụng không sinh công và sau đó đưa vết nứt vào trong mẫu đang xét. Vết nứt làm xả ứng suất và như vậy làm giảm năng lượng đàn hồi quanh mặt nứt. Nói một cách khác, vết nứt làm tăng tổng năng lượng bề mặt của mẫu đang xét.

- Tính toán sự thay đổi năng lượng tự do (còn gọi là năng lượng bề mặt hoặc năng lượng đàn hồi) là hàm số của chiều dài vết nứt. Sự phá hủy xảy ra khi năng lượng tự do đạt tới giá trị đỉnh tương ứng với chiều dài nứt giới hạn. Năng lượng tự do giảm đi cùng với sự tăng của chiều dài vết nứt. Bằng cách này, Griffith chứng minh được

$$c = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi}}$$

Với E là mô đun đàn hồi của vật liệu, γ là mật độ năng lượng bề mặt của vật liệu. Giả thiết E = 62 Gpa và $\gamma = 1 \text{ J/m}^2$, ta có lời giải chính xác với dự đoán của Griffith về ứng suất phá hoại trong thí nghiệm với vật liệu thủy tinh.

2. 2. Sự thay đổi của Irwin



Sự xuất hiện vùng dẻo quanh điểm đầu vết nứt trong vật liệu dẻo (kim loại).

Lý thuyết của Griffith cho thấy sự đúng đắn đối với các kết quả thí nghiệm vật liệu giòn như thủy tinh. Đối với vật liệu dẻo như thép, người ta thấy rằng năng lượng bề mặt dự đoán theo lý thuyết của Griffith luôn cao bất thường.

Một nhóm nghiên cứu dưới sự chỉ đạo của G. R. Irwin tại U.S. Naval Research Labortary (NRL) trong thời gian Thế chiến thứ 2 nhận ra rằng vấn đề chảy dẻo đóng vai trò quan trọng đối với sự phá hủy của vật liệu dẻo.

Trong vật liệu dẻo (và ngay cả trong vật liệu giòn), có một vùng chảy dẻo phát triển ở đầu

vết nứt. Khi lực tác dụng tăng cao, vùng chảy dẻo tăng lên cho đến khi vết nứt phát triển thêm và vật liệu ở sau đầu vết nứt giải phóng lực. Việc lực tác dụng và giải phóng lực tại đầu vết nứt dẫn đến sự hao tán năng lượng dưới dạng nhiệt. Như vậy, năng lượng hao tán phải được tính cả vào trong quan hệ cân bằng năng lượng do Griffith viết cho vật liệu giòn. Theo ý nghĩa vật lý, so với vật liệu giòn thì cần có một phần năng lượng bổ sung thêm để vết nứt phát triển tăng lên đối với vật liệu dẻo.

Irwin đưa ra chiến lược phân chia năng lượng thành hai phần.

- Một phần được lưu trữ dưới dạng năng lượng của các ứng biến đàn hồi liên quan đến sự phát triển vết nứt. Đây là nhiệt động lực học gây nên lực phá hủy.
- Phần năng lượng bị hao tán bao gồm hao tán đàn hồi và năng lượng bề mặt (hoặc bất cứ hao tán nào khác). Năng lượng hao tán cung cấp sức kháng nhiệt động lực học cho phá hủy.

Năng lượng hao tán tổng cộng:

$$G = 2\gamma + G_p$$

Trong đó γ là năng lượng bề mặt và G_p là hao tán dẻo (và hao tán từ các nguồn khác) trong một đơn vị diện tích của đường phát triển vết nứt. Sự thay đổi tiêu chuẩn năng lượng Griffith được viết dưới dạng:

$$\sigma_f \sqrt{a} = \sqrt{\frac{EG}{\pi}}$$

Với vật liệu giòn như kính, năng lượng bề mặt chiếm ưu thế, ta có $G \approx 2\gamma = 2 \text{ J/m}^2$

Với vật liệu dẻo như thép, hao tán dẻo chiếm ưu thế, $G \approx G_p = 1000 \text{ J/m}^2$

2.3. Các thông số cơ bản trong cơ học phá hủy

a) Chỉ số ứng suất tập trung (Stress intensity factor)

Một trong những thành công đáng kể khác của Irwin và các cộng sự của ông là việc tìm ra phương pháp tính toán lượng năng lượng có thể gây nên phá hủy dưới dạng ứng suất và chuyển vị tiệm cận xung quanh mặt nứt của vật rắn đàn hồi tuyến tính. Phát biểu tiệm cận này đối với ứng suất quanh khu vực đầu vết nứt như sau:

$$\sigma_{ij} \approx \left(\frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \right) f_{ij}(\theta)$$

Với σ_{ij} là ứng suất Cauchy, r là khoảng cách đến đầu vết nứt, θ là góc nghiêng so với mặt phẳng vết nứt và f_{ij} là các hàm số phụ thuộc dạng hình học vết nứt và điều kiện tải trọng. Do f_{ij} là các hàm số không thứ nguyên, nên thứ nguyên của chỉ số cường độ ứng suất K có dạng $\text{Mpa}\sqrt{\text{m}}$.

b) Năng lượng ứng biến giải phóng (Strain energy release)

Irwin là người đầu tiên quan sát thấy nếu kích thước vùng dẻo quanh vết nứt là nhỏ so với kích thước vết nứt, năng lượng cần thiết để vết nứt phát triển sẽ không tới hạn phụ thuộc vào trạng thái ứng suất quanh đầu vết nứt. Nói cách khác, các lời giải đàn hồi thuần túy có thể được sử dụng để tính toán năng lượng cần thiết để phá hủy.

Năng lượng giải phóng để vết nứt phát triển còn gọi tỉ lệ năng lượng ứng biến giải phóng có thể được tính như sự thay đổi về năng lượng ứng biến đàn hồi trên mỗi đơn vị diện tích vết nứt phát triển.

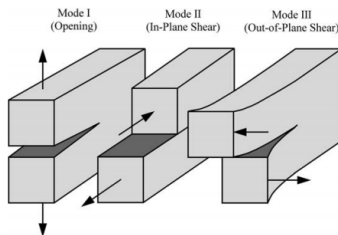
$$G = \left[\frac{\partial U}{\partial a} \right]_F = - \left[\frac{\partial U}{\partial a} \right]_u$$

Với U là năng lượng đàn hồi của hệ và a là chiều dài vết nứt. Một trong các giá trị lực P hoặc chuyển vị u có thể coi là cố định khi xác định biểu thức trên.

Irwin chỉ ra rằng, với dạng nứt thứ nhất (mode I crack) – nứt mở rộng, tỉ lệ năng lượng ứng biến và chỉ số cường độ ứng suất liên hệ qua biểu thức:

$$G = G_I = \begin{cases} \frac{K_I^2}{E} & \text{Plane stress} \\ \frac{(1-\nu^2)K_I^2}{E} & \text{Plane strain} \end{cases}$$

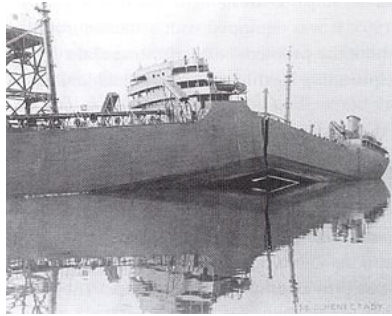
Với E là mô đun đàn hồi Young, ν là tỉ số Poisson, K_I là chỉ số cường độ ứng suất ở mode I. Irwin cũng chỉ ra rằng tỉ lệ năng lượng ứng biến giải phóng trong vật thể đàn hồi tuyến tính có thể biểu diễn dưới dạng các chỉ số cường độ ứng suất của mode I (mở rộng), mode II (trượt) và mode III (xé) với các điều kiện tải trọng khác nhau.



Các dạng phá hủy [1].

Sau đó Irwin đưa ra giả thiết bổ sung về kích thước và hình dạng của vùng năng lượng hao tán còn lại xấp xỉ hằng số đối với phá hủy tròn. Giả thiết này cho là năng lượng cần thiết để tạo ra năng lượng bề mặt đơn vị là hằng số và chỉ phụ thuộc vào loại vật liệu. Đặc tính của vật liệu này được đặt tên là fracture toughness, ký hiệu G_{IC} . Ngay nay, được viết là chỉ số cường độ ứng suất giới hạn K_{IC} . Nó được tìm thấy trong điều kiện ứng biến phẳng

(plain strain) và được chấp nhận như một đặc tính xác định trong cơ học phá hủy tuyến tính đàn hồi.



Tàu S.S. Schenectady đứt gãy do phá hủy tròn ngay tại cảng 1944.

Nhưng có một vấn đề đưa ra cho các nhà nghiên cứu của NRL, đó là vì vật liệu dùng cho hàng hải, ví dụ như thép tấm đóng tàu thường không hoàn toàn đàn hồi, nhưng phải chịu các biến dạng dẻo khá lớn tại các đầu vết nứt. Trong giả thiết cơ bản của lý thuyết do Irwin khởi xướng về cơ học phá hủy tuyến tính đàn hồi, vùng dẻo có kích thước nhỏ so với chiều dài vết nứt. Tuy nhiên, giả thiết này khá hạn hẹp trong một số kiểu phá hủy của kết cấu thép. Hầu hết vật liệu kỹ thuật cho thấy ứng xử phi tuyến đàn hồi và phi đàn hồi dưới các điều kiện tác dụng gây bởi các loại tải trọng. Trong các vật liệu như vậy, các giả thiết của cơ học phá hủy đàn hồi tuyến tính có thể không được đảm bảo. Đó là vì:

- Vùng chảy ở đầu vết nứt có thể có kích thước tương đương với kích thước vết nứt.
- Kích thước và hình dạng vùng chảy có thể thay đổi khi tải trọng tăng và dẫn đến chiều dài vết nứt cũng tăng theo.

Vì vậy, một lý thuyết tổng quan hơn về sự phát triển vết nứt là cần thiết đối với vật liệu đàn – dẻo, trong đó cần tính đến:

- Các điều kiện cục bộ khi vết nứt mới hình thành bao gồm cả sự hình thành mầm (nucleation), sự tăng trưởng và sự hợp lại (coalescence) của các lỗ rỗng hoặc mất dính kết tại đầu vết nứt.
- Tiêu chuẩn cân bằng năng lượng tổng thể để vết nứt phát triển lớn hơn dẫn tới phá hủy không ổn định.

c) R-curve

Một trong những hướng giải quyết bài toán cơ học phá hủy đàn dẻo là khởi sướng của Irwin về đường cong cường độ sức kháng phát triển vết nứt (Irwin's **crack extension resistance curve**) còn gọi là **R-curve**. Đường cong này thừa nhận thức tế rằng cường độ để phá hủy tăng cùng với sự tăng kích thước vết nứt trong vật liệu đàn dẻo. Đường cong R-curve này xác định toàn bộ tỉ lệ năng lượng hao tán là hàm số với kích thước vết nứt và có thể được dùng để kiểm tra sự phát triển các vết nứt chậm hoặc phá hủy không ổn định (unstable fracture). Tuy nhiên, R-curve đã không được sử dụng rộng rãi trong thực tế cho đến những năm 1970. Nguyên nhân chính là đường cong R-curve phụ thuộc vào dạng hình học của mẫu vật và lực gây nứt cũng rất khó xác định được.

d) J-integral

Vào giữa những năm của thập niên 1960, James R. Rice (lúc đó tại trường đại học Brown University) và G.P. Cherepanov độc lập phát triển một cách đo độ bền mới. Phân tích của Rice, giả thiết biến dạng đàn hồi không tuyến tính tại đầu vết nứt và được ký hiệu là tích phân J

(J-integral). Phân tích này bị giới hạn trong trường hợp biến dạng dẻo tại đầu vết nứt không tiến về cạnh xa nhất của phần chịu tải trọng. Nó cũng yêu cầu giả thiết ứng xử đàn hồi không tuyến tính của vật liệu là gần xấp xỉ với hình dạng và độ lớn của đáp ứng tải trọng của vật liệu thực. Thông số phá hoại đàn dẻo được ký hiệu J_{IC} và được chuyển thành K_{IC} .

e) Các mô hình vùng dính kết (Cohesive zone models)

Khi một vùng quanh đầu vết nứt chịu biến dạng dẻo, các phương pháp khác có thể sử dụng để xác định khả năng phát triển vết nứt và hướng của vết nứt phát triển và phân nhánh. Một kỹ thuật đơn giản là kết hợp vào tính toán số phương pháp mô hình vùng dính kết dựa trên các khái niệm đề ra bởi Berenblatt và Dugdale vào những năm 1960. Mối quan hệ giữa các mô hình Dugdale – Berenblatt và lý thuyết Griffith được phân biệt bởi Willis năm 1967. Sự tương đương giữa hai phương pháp tiếp cận đối với phá hủy giòn được chứng minh bởi Rice năm 1968. Lợi ích của mô hình vùng dính kết trong phá hủy được tái hiện lại từ năm 2000 nhờ vào các nghiên cứu tiên phong trong động lực học phá hủy (fracture dynamics) của Xu và Needleman, Camacho và Ortiz.

f) Phá hủy dẻo hoàn toàn

Nếu vật liệu quá bền đến nỗi vùng chảy ở đầu vết nứt kéo dài tới cạnh biên của mẫu trước khi phá hủy, vết nứt sẽ không tập trung ứng suất có hiệu. Thay vào đó, sự có mặt của vết nứt đơn thuần gây ra sự giảm diện tích chịu lực. Như vậy, ứng suất phá hủy được

quy ước giả thiết là trung bình của thêm chảy và cường độ cực hạn của vật liệu.

Một số giá trị fracture toughness của các vật liệu điển hình:

Loại vật liệu	Tên	K_{IC} (MPa · m ^{1/2})
Kim loại	Aluminum alloy	24
	Steel alloy	50
Ceramic	Aluminium oxide	3–5
	Concrete	0.2–1.4
Polymer	Polymethyl methacrylate	0.7–1.6
	Polystyrene	0.7–1.1
	Silica aerogels	0.0008–0.0048

g) Nứt trong môi trường ăn mòn (Stress corrosion cracking – SCC)

Môi trường ăn mòn SCC được cho là nguyên nhân gây ra các sự cố vụ sập cầu Silver Bridge vào tháng 12 năm 1967. Khi cây cầu treo dây võng bắc qua sông Ohio tại Point Pleasant, West Virginia bất ngờ đổ sập. Nút neo của cáp treo bị hỏng và toàn bộ kết cấu đổ sập xuống sông, làm chết 46 người đang tham gia giao thông qua cầu. Rỉ thép tại các mối nối thanh có tại treo đã gây nên nứt ứng suất rỉ (stress corrosion crack). Bên cạnh đó, việc tập trung các ứng suất dư cũng được coi là một trong các nguyên nhân gây nên sự cố này.



Hiện trường sụp đổ cầu Silver Bridge.

Người ta đã không lường trước được sự sụp đổ bất ngờ của vật liệu dẻo chịu ứng suất

kéo không đổi trong môi trường ăn mòn. Một số loại thép không rỉ và hợp kim nhôm nứt khi có sự xuất hiện của clorua, thép các bon thấp (mild steel) nứt khi có mặt của alkali (kiềm) còn gọi là nứt sôi (boiler cracking) và hợp kim đồng (copper alloy) nứt trong các môi trường có hòa tan amoniac (nứt theo mùa – season cracking).

Tệ hơn nữa, thép kết cấu cường độ cao nứt theo kiểu ròn nếu ở trong các môi trường nước có hòa tan các chất, đặc biệt là clorua. Do sự có mặt của hiện tượng ăn mòn, các vết nứt phát triển mạnh ngay cả khi nó ở dưới K_{IC} . Ở đây, ký hiệu là K_{ISCC} , giá trị này thậm chí còn nhỏ hơn 1% của K_{IC} .

Hợp kim	K_{IC} (MN/m ^{3/2})	Môi trường ăn mòn	K_{ISCC} (MN/m ^{3/2})
13Cr steel	60	3% NaCl	12
18Cr-8Ni	200	42% MgCl ₂	10
Cu-30Zn	200	NH ₄ OH, pH7	1
Al-3Mg-7Zn	25	aqueous halides	5
Ti-6Al-4V	60	0.6M KCl	20

Ảnh hưởng của năng lượng hóa học trong phương trình cân bằng năng lượng như sau:

$$\text{elastic energy released} + \text{chemical energy} = \text{surface energy} + \text{deformation energy}.$$

Vết nứt xuất hiện đầu tiên tại K_{ISCC} và phát triển dần dần cho đến khi các ion rỉ khuếch tán vào điểm đầu vết nứt. Vết nứt phát triển lại gây ảnh hưởng (làm tăng) giá trị K (kích thước vết nứt xuất hiện trong việc tính toán cường độ ứng suất).

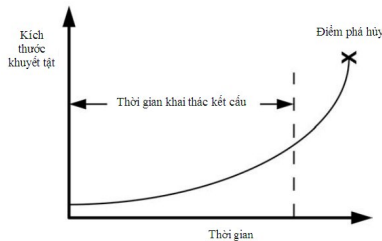
Cuối cùng, nó đạt tới K_{IC} và gây phá hủy cấu kiện.

h) Sự phát triển khuyết tật theo thời gian

Theo [1], cơ học phá hủy có vai trò quan trọng trong việc sự đoán tuổi thọ từng phần của kết cấu dựa trên sự phụ thuộc theo thời gian của độ lớn vết nứt như trường hợp mỏi hoặc nứt do ứng suất ăn mòn. Tốc độ phát triển vết nứt có mối quan hệ với các thông số cơ học phá hủy như cường độ ứng suất, độ lớn vết nứt giới hạn. Mối quan hệ này có dạng như sau:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

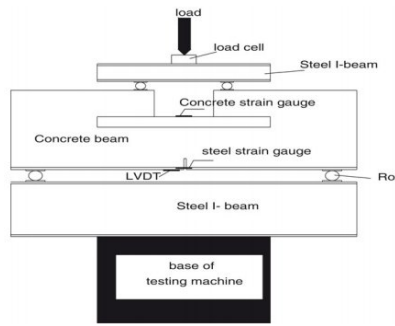
Trong đó $\frac{da}{dN}$ là độ tăng kích thước vết nứt sau mỗi lần chịu tác động, ΔK là khoảng biên độ cường độ ứng suất, C , m là các thông số phụ thuộc vật liệu.



Sự phát triển của kích thước các khuyết tật theo thời gian [1]

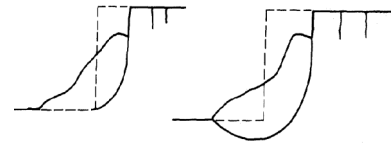
2.4. Các ứng dụng nghiên cứu cơ học phá hủy trong các lĩnh vực khác

Cơ học phá hủy được nghiên cứu và ứng dụng nhiều trong kết cấu kim loại. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu đã phát triển, ứng dụng trong các loại vật liệu khác nhau như bê tông cốt thép, cơ học đá... Năm 2011, Shailendra Kumar và Sudhirkumar V. Barai xuất bản cuốn "Concrete Fracture Models and Applications" trình bày các nghiên cứu ứng dụng Cơ học phá hủy trong bê tông [2]. Trước đó, năm 2007, Nabil A.B. Yehia, Noran M. Wahab đăng tải bài báo "Fracture mechanics of flanged reinforced concrete sections" trên tạp chí Engineering Structures 29 (2007) 2334–2343 [3].



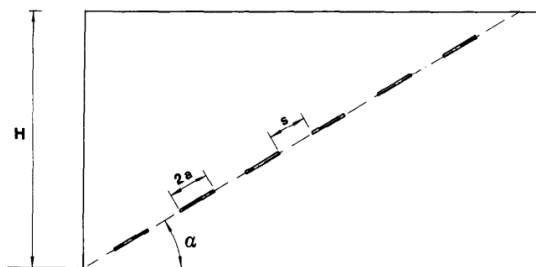
Mô hình thí nghiệm kiểm chứng cơ học phá hủy với dầm bê tông cốt thép [3]

Nghiên cứu thực nghiệm của Nabil A.B. Yehia, Noran M. Wahab được tiến hành trên 12 mẫu dầm bê tông cốt thép, trong đó 9 mẫu có mặt cắt chữ T và 3 mẫu có mặt cắt chữ nhật. Các thông số được nghiên cứu bao gồm tỉ số bề rộng cánh và bề rộng sườn dầm (B/b), tỉ số chiều dày bản cánh và tổng chiều cao (t_s/h), và tỉ số cốt thép chịu kéo trong dầm. Kết quả đo bao gồm tải trọng, ứng biến trong thép và bê tông, độ võng dầm. Thí nghiệm được tiến hành nhằm kiểm chứng phương pháp dự đoán tải trọng giới hạn của Baluch cũng như phương pháp phần tử hữu hạn. Theo đó, hai phương pháp này đều cho kết quả gần đúng và có phần thấp hơn so với kết quả thí nghiệm.

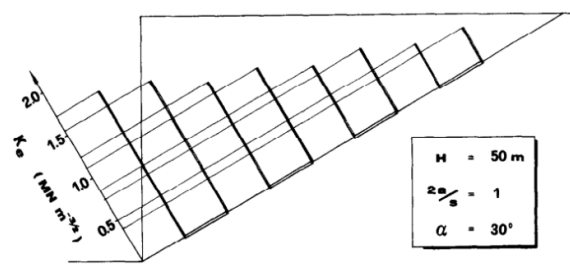


Ứng dụng cơ học phá hủy trong việc dự đoán sự phá hoại của các mái dốc đá có vết nứt [4].

Cơ học phá hủy còn được áp dụng trong nghiên cứu cơ học đá, đặc biệt các vấn đề ổn định mái dốc đá [4], [5].



Dạng hình học các vết nứt trong khối đá [5].



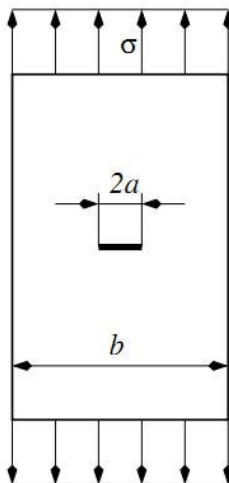
Cường độ ứng suất tương đương tại các vị trí vết nứt [5].

Có thể thấy, cơ học phá hủy đã được nghiên cứu ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau như bê tông, bê tông cốt thép, cơ học đá... Các lĩnh vực này đều rất quan trọng đối với các công trình giao thông vận tải.

3. Ví dụ ứng dụng [6] và kết luận

Ở đây xét ví dụ áp dụng đơn giản với 1 tấm thép có một vết nứt ngang, chịu lực ứng suất kéo đều. Các thông số cơ bản như sau:

Mô đun đàn hồi $E = 200\text{GPa}$, hệ số Poisson 0.3. Kích thước hình học $b=0.2\text{m}$, $a=0.02\text{m}$. Áp lực tác dụng $\sigma=100\text{MPa}$. Xác định chỉ số cường độ ứng suất K_I .



Bài toán được xem xét dưới hai phương pháp: sử dụng kết quả lời giải giải tích và mô hình hóa bằng chương trình phần tử hữu hạn Ansys để tính toán.

Theo lý thuyết:

$$K_I = \sigma \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F\left(\frac{a}{b}\right)$$

Trong đó:

$$F\left(\frac{a}{b}\right) = \left[1 - 0.1\left(\frac{a}{b}\right)^2 + 0.96\left(\frac{a}{b}\right)^4\right] \sqrt{\sec \frac{\pi a}{b}}$$

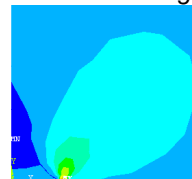
Thay số, ta được kết quả,

$$K_I = 25.67994 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

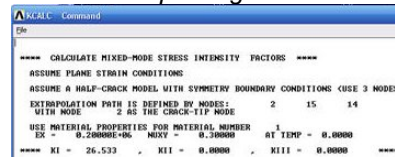
Sử dụng chương trình Ansys, mô hình hóa vết nứt và tính chỉ số K_I .



Mô hình chia nứt trong Ansys



Kết quả ứng suất



Giá trị K_I .

Phân tích bằng chương trình Ansys, ta nhận được kết quả K_I bằng $26.533 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Sai số giữa lý thuyết và tính toán bằng Ansys vào khoảng 3.2%.

Kết luận: Cơ học phá hủy đóng vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu, đánh giá kết cấu công trình. Cơ học phá hủy không chỉ được nghiên cứu với các vật liệu thủy tinh, kim loại mà còn có nhiều nghiên cứu ứng dụng trong cơ học đá (xây dựng hầm qua núi), mái dốc đá, trong kết cấu bê tông (xây dựng mặt đường bê tông xi măng)... Đây là một môn khoa học đòi hỏi khối lượng tính toán giải tích lớn và gặp thường khó khăn trong việc tìm lời giải giải tích nhất là khi hình dạng vết nứt phức tạp, lực tác dụng phức tạp, vật liệu đa dạng. Việc ứng dụng chương trình phân tích phần tử hữu hạn Ansys sẽ giúp giải các bài toán phức tạp này, giảm thời gian và công sức trong việc tìm lời giải giải tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Fracture mechanics – Fundamentals and Applications, T.L. Anderson.
2. “Concrete Fracture Models and Applications”, Shailendra Kumar · Sudhirkumar V. Barai.
3. “Fracture mechanics of flanged reinforced concrete sections”, Nabil A.B. Yehia, Noran M. Wahab, Engineering Structures 29 (2007) 2334–2343.
4. “Slope stability analysis using fracture mechanics approach”, W.M. Cai, V. Murti, S. Valliappan; Theoretical and Applied Fracture Mechanics 12 (1990) 261-281.
5. “Fracture mechanics approach to stability analysis of rock slopes”, C. Scavia, Engineering Fracture Mechanics Vol. 35, No. 415, pp. 899-910, 1990.
6. “Ansys tutorial 2-D Fracture Analysis”, Dr. A.-V. Phan, University of South Alabama.