

NGHIÊN CỨU ĐÁP ỨNG CỦA TẤM CÓ VẾT NỨT CHỊU TẢI TRỌNG DI ĐỘNG TRÊN CƠ SỞ KỸ THUẬT PHẦN TỬ SINH - DIỆT VÀ THỰC NGHIỆM

Nguyễn Thị Hồng¹, Bùi Mạnh Cường²

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đáp ứng của tấm có vết nứt chịu tải trọng di động. Quá trình phân tích đáp ứng của tấm có vết nứt được thực hiện trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) và đặc biệt tải di động được mô phỏng nhờ kỹ thuật phần tử Sinh - Diệt. Kết quả khảo sát số được so sánh với kết quả thí nghiệm trên mô hình thực tế tại phòng thí nghiệm Cơ học máy - Học viện KTQS. Kết quả nghiên cứu giúp ta hiểu rõ hơn về ứng xử của tấm có vết nứt khi chịu tải di động, đây là cơ sở để chẩn đoán khuyết tật trong tấm bằng phương pháp không phá hủy, nhờ phân tích đáp ứng của tấm.

Từ khóa: Tấm, vết nứt, phần tử hữu hạn, phần tử sinh-diệt, tải di động.

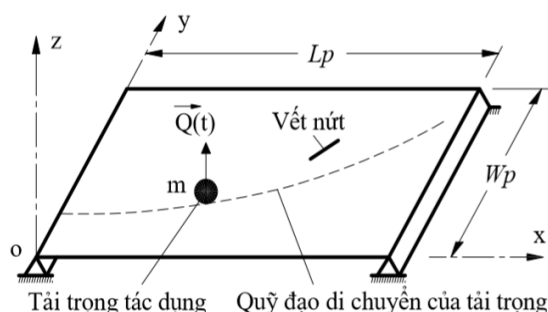
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thực tế kỹ thuật ta thường gặp các kết cấu dạng tấm chịu tải di động, ví dụ các tấm mặt cầu, đường chịu tác dụng của xe, các dải vết chống lầy trang bị cho ngành công binh, mặt cầu phao chịu tác dụng của xe bánh lốp hoặc xe bánh xích di chuyển, mặt đường băng chịu tác dụng của máy bay khi cất, hạ cánh, vv. Thông thường, ngay cả khi mới được chế tạo, các vết nứt đã tồn tại hoặc dưới tác dụng của tải trọng khai thác, trên các tấm thường xuất hiện các vết nứt với mức độ khác nhau, điều này dẫn đến giảm khả năng chịu tải và tuổi thọ của chúng. Do đó, vấn đề vết nứt trong tấm trở thành những đối tượng cần được xem xét với mục tiêu khuyến cáo kỹ thuật, duy trì sự làm việc của hệ và xa hơn nữa là đề xuất các giải pháp gia cường, khắc phục để nâng cao hiệu quả làm việc cho kết cấu. Đối với các kết cấu tấm không có vết nứt chịu tác dụng của tải trọng di động, hoặc tấm với vết nứt chịu tải trọng tĩnh, đến nay đã có khá nhiều công trình của các tác giả trong nước và nước ngoài công bố (Esta Kago, Jaan Lellep, 2014; Huang C.S, nnk 2011; Qian G.L, nnk 1991). Tuy nhiên đối với kết cấu tấm có

vết nứt chịu tác dụng của tải trọng động, đặc biệt là tải trọng di động, do tính phức tạp của vấn đề, cho đến nay còn rất ít công trình công bố (Ahmad M. nnk 2015; Asghari m., nnk 2009). Trong công trình này các tác giả đề xuất một kỹ thuật lập trình mới, cho phép đơn giản hóa vấn đề nghiên cứu, và so sánh tính đúng đắn giữa kết quả tính toán theo phương pháp đề xuất với kết quả thực nghiệm trên mô hình thực.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC TẤM CÓ VẾT NỨT VÀ GIẢI THUẬT PHẦN TỬ SINH-DIỆT

Quá trình phân tích đáp ứng của tấm có vết nứt chịu tải di động được thực hiện trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) và đặc biệt, tải di động được mô phỏng nhờ kỹ thuật phần tử Sinh - Diệt. Kết quả khảo sát số được so sánh với kết quả thí nghiệm trên mô hình thực tế tại phòng thí nghiệm Cơ học máy - Học viện KTQS.



Hình 1. Tấm có vết nứt chịu khối lượng di động

¹ Bộ môn Đồ họa kỹ thuật - Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy Lợi

² Bộ môn Cơ học máy - Khoa Cơ khí, Trường Học viện KTQS

Xét tấm có vết nứt, liên kết bất kỳ, chịu tác dụng của tải trọng di động (dạng khối lượng di động) theo một quỹ đạo nào đó với vận tốc v . Mô hình bài toán như hình 1.

Phương trình mô tả dao động của phần tử tấm có vết nứt, chịu tác dụng của khối lượng di động, viết theo phương pháp phần tử hữu hạn, như sau (Ahmad M. nnk 2015; Asghari m., nnk 2009):

$$([M]_e + [M]_e^p)\{\ddot{q}\}_e + [C]_e^p\{\dot{q}\}_e + ([K]_e^c + [K]_e^p)\{q\}_e = \{P\}_e, \quad (1)$$

trong đó: $[M]_e^p$, $[C]_e^p$, $[K]_e^p$, $\{P\}_e$ tương ứng là ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng và véc tơ tải trọng phần tử bổ sung do tải trọng di động gây nên, các thành phần trong các ma trận này là hàm phụ thuộc thời gian và vị trí của tải trọng di động trên phần tử tấm.

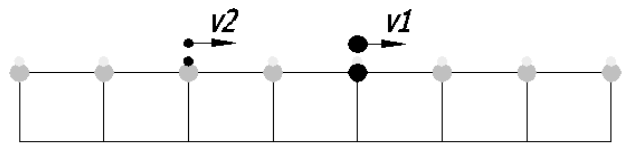
Khi nghiên cứu đáp ứng của tấm chịu tải di động, khó khăn lớn nhất là mô phỏng quá trình vật di động trên tấm. Vì những khó khăn này nên phần lớn các công trình đã công bố chỉ xét vật di động tương đương với tải trọng (do trọng lượng bản thân vật gây ra) là di động mà bỏ qua khối lượng vật di động tham gia vào đáp ứng của hệ. Để giảm bớt khó khăn và những hạn chế nêu trên, tác giả đề xuất phương pháp và giải thuật mới trên cơ sở kỹ thuật phần tử Sinh - Diệt trong phương pháp phần tử hữu hạn, dựa trên môi trường phần mềm ANSYS. Bản chất kỹ thuật này như sau: các khối lượng di động được xem như các phần tử sinh - diệt, sinh - diệt được hiểu theo nghĩa là khi được sinh ra các vật di động có khối lượng đúng bằng khối lượng thực của chúng, khi bị diệt đi thì khối lượng của chúng kéo xuống giá trị 0, lúc này chúng không còn tác dụng và tham gia vào chuyển động của hệ nữa. Quá trình vật di động giống như quá trình sinh diệt phần tử, giải thuật gồm 2 bước cơ bản như sau:

Bước 1, tất cả các khối lượng di động được gắn lên tất cả các nút dọc theo chiều dài tấm, sau đó chúng được diệt đi;

Bước 2, phụ thuộc vào vận tốc và thời gian xét, mỗi khi vật di động nào đó đi đến một nút nhất định thì khối lượng vật tương ứng tại nút đó được sinh ra, đi qua chúng lại tiếp tục bị diệt đi.

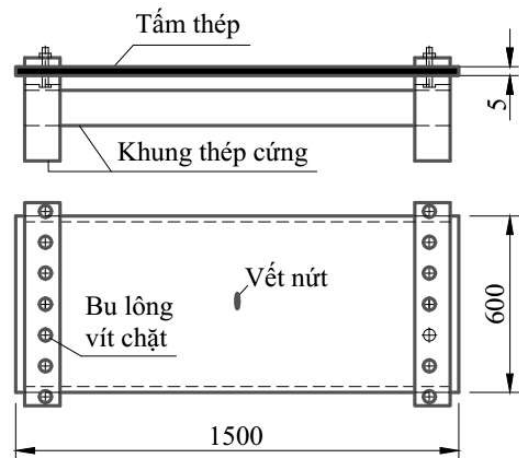
Thứ tự các bước thuật toán được thể hiện

trên hình 2. Giải thuật đã được tác giả ứng dụng lập trình trong môi trường ANSYS Workbench với việc sử dụng câu lệnh của môi trường ANSYS APDL.



Hình 2. Giải thuật phần tử sinh - diệt trong bài toán nhiều vật di động

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG SỐ VÀ THỰC NGHIỆM

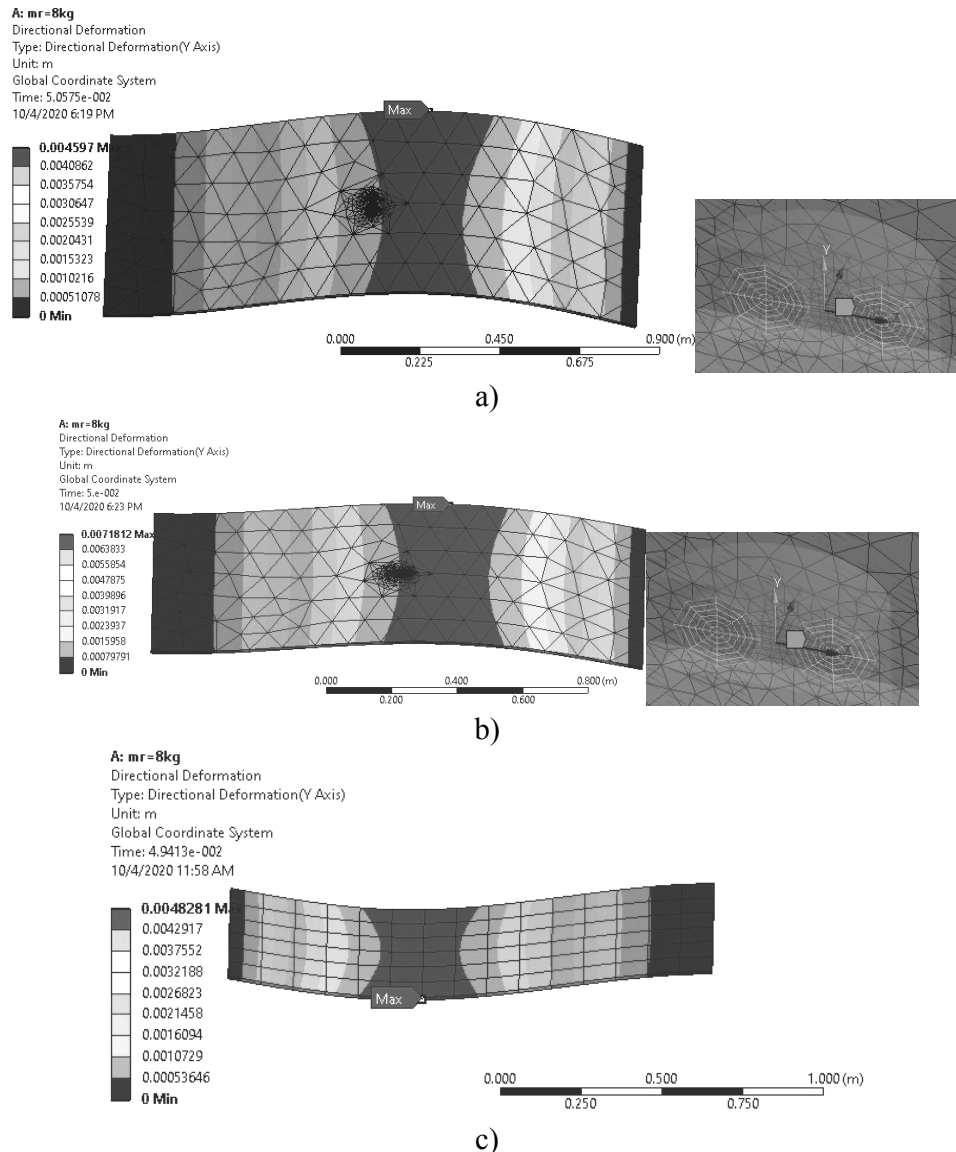


Hình 3. Sơ đồ kết cấu tấm thí nghiệm

Trước tiên tiến hành khảo sát đáp ứng của tấm có kích thước như hình 3 dưới tác dụng của vật di động bằng phương pháp số, với hai trường hợp nguy hiểm nhất đối với tấm là vết nứt bán elips tại chính giữa tấm theo chiều ngang và chiều dọc của tấm, vết nứt có chiều dài 10mm, chiều sâu 4mm chịu vật di động có khối lượng 8kg chạy chính giữa, dọc theo chiều dài của tấm với vận tốc 20m/s. Các mô hình phần tử hữu hạn của tấm có vết nứt và không vết nứt cũng như chuyển vị của tấm tại thời điểm đạt độ võng lớn nhất được thể hiện trên hình 4. Kết quả này nhận được trên cơ sở thực hiện mô phỏng số đáp ứng của tấm bắt đầu từ thời điểm vật đi vào tấm đến khi đi hết chiều dài tấm. Kết quả cho thấy rằng giá trị và thời điểm đạt

độ võng lớn nhất ở các tấm có vết nứt ngang, dọc và không vết nứt là hoàn toàn khác nhau, tấm không vết nứt đạt độ võng sớm nhất tại thời điểm $4,94e-2$ giây, tiếp theo là tấm có vết nứt dọc (thời điểm $5,0e-2$ giây) và cuối cùng là tấm có vết nứt ngang đạt độ võng lớn nhất tại $5,057e-2$ giây. Một

điểm thú vị là với chiều dài tấm 1,5m và vận tốc vật 20m/s thì tại các thời điểm này hoàn toàn không trùng với thời điểm vật ở vị trí chính giữa tấm, nghĩa là không phải vật tại vị trí chính giữa tấm thì tấm có độ võng lớn nhất. Vùng có độ võng lớn nhất nằm tại mép ngoài của tấm.



Hình 4. Mô hình phân tử hữu hạn và độ võng của tấm
(a-vết nứt ngang, b-vết nứt dọc, c-không vết nứt)

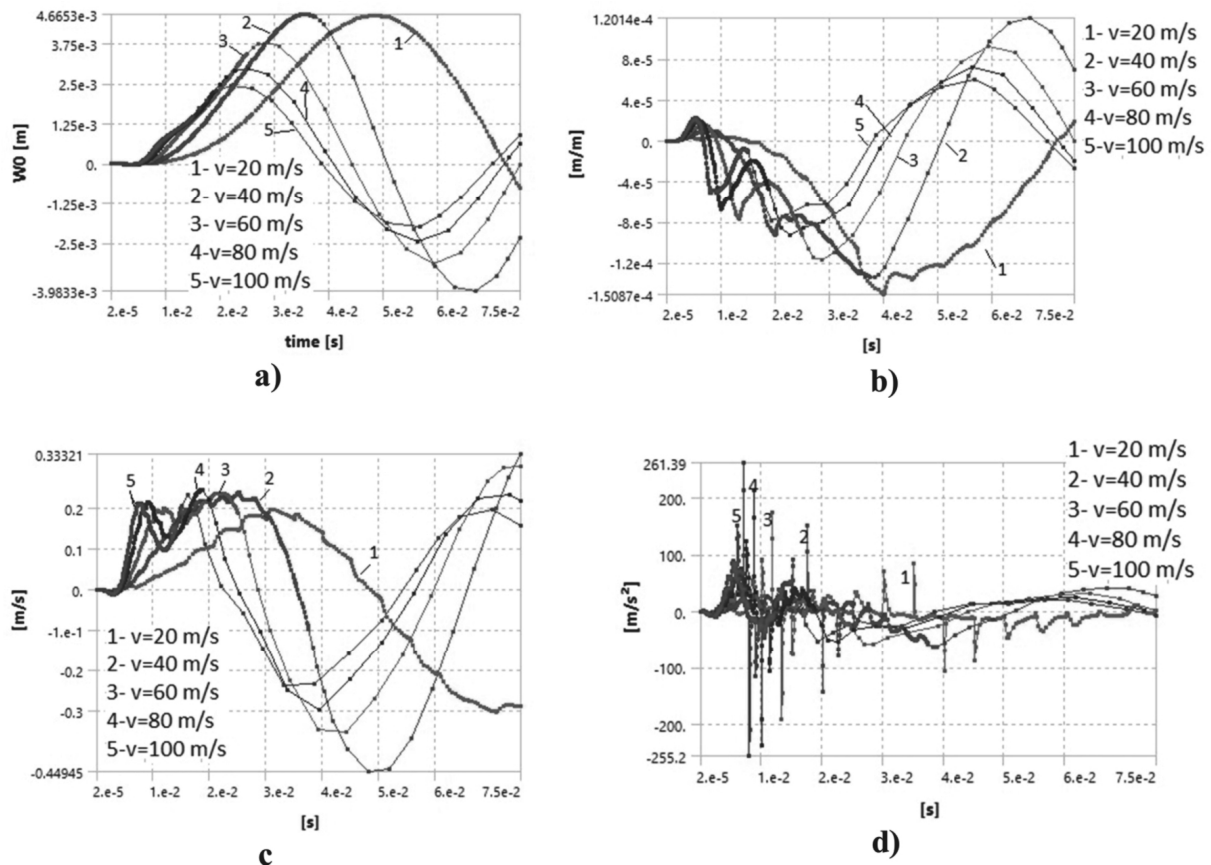
Tiếp theo khảo sát đáp ứng của các tấm, bao gồm: gia tốc, chuyển vị theo phương vuông góc với bề mặt tấm và theo phương dọc theo chiều dài tấm tại vị trí mép bên, chính giữa chiều dài tấm (vị trí này cũng chính là nơi sẽ đặt cảm biến gia tốc và cảm biến biến dạng trong quá trình thí nghiệm ở bước tiếp sau được thể hiện trên các hình 8, hình

9. Với các vận tốc vật di chuyển khác nhau là 20 m/s; 40 m/s; 80 m/s 100 m/s.

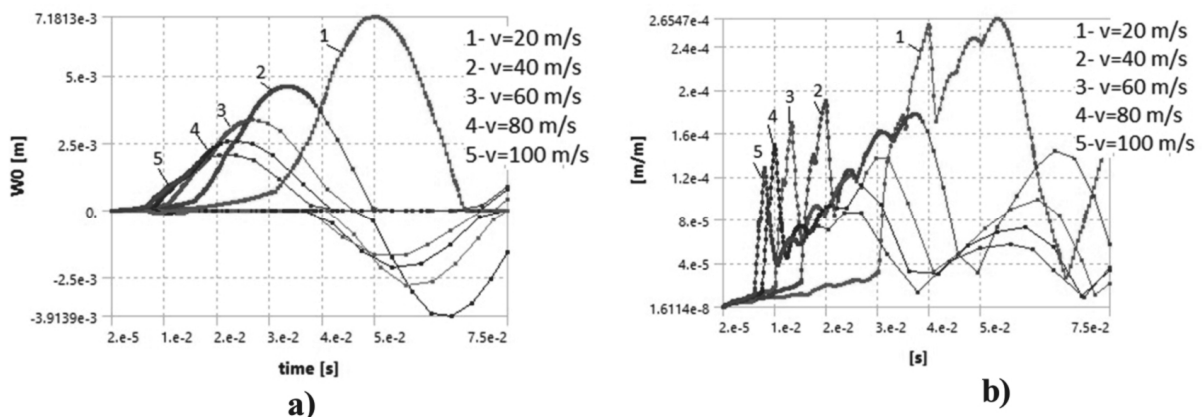
Trên hình 5 thể hiện kết quả nghiên cứu đáp ứng của tấm không vết nứt về chuyển vị, biến dạng, vận tốc và gia tốc tại vị trí mép bên, chính giữa chiều dài tấm với các vận tốc di chuyển của vật khác nhau 20 m/s; 40 m/s; 80 m/s; 100 m/s

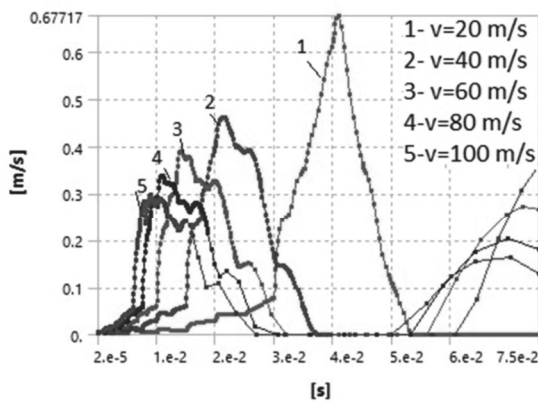
trong khoảng thời gian 7.5×10^{-2} giây (khoảng thời gian mà vật đi hết chiều dài tấm ở vận tốc 20 m/s). Trên hình 6 là kết quả nghiên cứu của tấm có vết nứt dọc. Hình 7 là đáp ứng của tấm với vết nứt ngang. Các kết quả khảo sát thể hiện trên các hình 5, hình 6, hình 7 cho ta thấy đáp ứng của tấm có vết nứt dọc, vết nứt ngang và không vết nứt là hoàn toàn khác nhau. Tấm có vết nứt ngang và

dọc có chuyển vị, biến dạng, vận tốc và gia tốc lớn hơn nhiều so với tấm không vết nứt, các thông số này thay đổi cũng phức tạp hơn so với ở tấm không vết nứt. Một điểm thú vị là khi vận tốc di chuyển của vật lớn hơn 20 m/s, các tấm có vết nứt đạt được độ võng cực đại tại thời điểm vật đã đi ra khỏi tấm, chứ không phải ở giai đoạn vật vẫn còn di chuyển trên tấm.

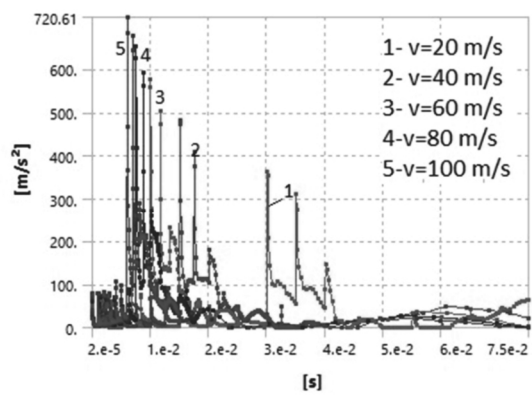


Hình 5. Đáp ứng của tấm không vết nứt (a-chuyển vị, b-biến dạng, c-vận tốc, d-gia tốc)



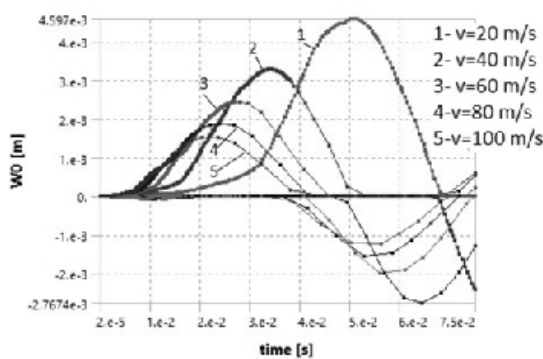


c)

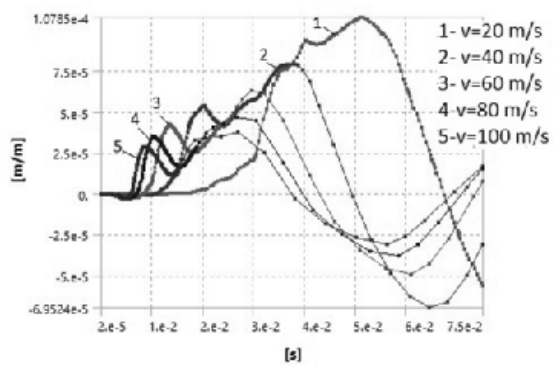


d)

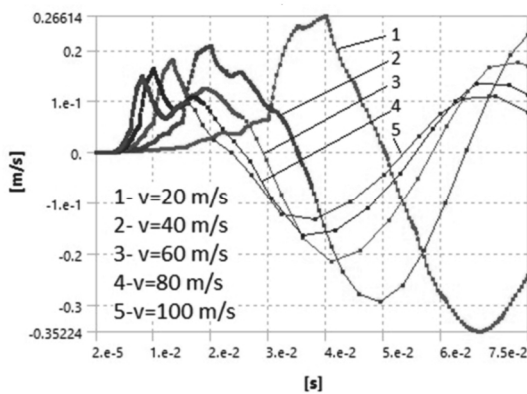
Hình 6. Đáp ứng của tấm có vết nứt dọc (a-chuyển vị, b-biến dạng, c-vận tốc, d-gia tốc)



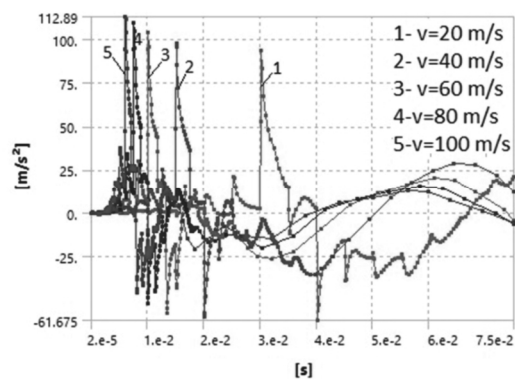
a)



b)



c)



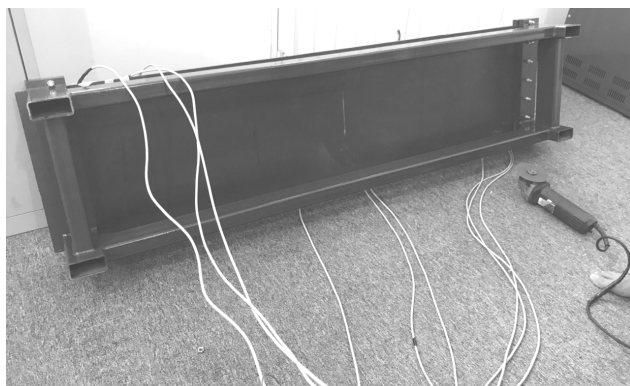
d)

Hình 7. Đáp ứng của tấm có vết nứt ngang (a-chuyển vị, b-biến dạng, c-vận tốc, d-gia tốc)

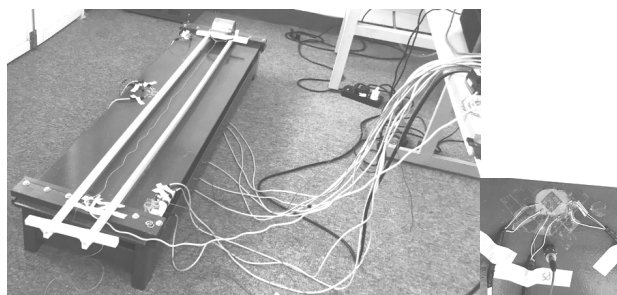
Cuối cùng, nghiên cứu thực nghiệm đáp ứng động của tấm thông qua các đặc trưng gia tốc, vận tốc, chuyển vị và biến dạng. Kết quả mô phỏng số và thực nghiệm đo tại điểm mép bên, chính giữa phương chiều dài tấm có nứt ngang được thể hiện ở bảng 1, kết quả lấy tại thời điểm các giá trị này đạt trị số lớn nhất. Theo các kết quả nghiên cứu

cho ta thấy kết quả mô phỏng số khá gần với thí nghiệm, sai số không quá 26 %. Sai số lớn nhất là thông số biến dạng lên tới 25.7% điều này là do kết quả tính toán trên mô hình phần tử hữu hạn lấy tại một điểm, còn trong thực tế tem đo biến dạng chiếm cả một vùng và vì vậy thật sự rất khó để mà xác định được tem biến dạng đo tại điểm nào

tương ứng trên mô hình phần tử hữu hạn, mặt khác tem đo biến dạng rất nhạy với keo gián, ảnh hưởng của lớp keo gián cũng dẫn đến sai số lớn, điều này là đặc trưng rất điển hình của phép đo biến dạng. Tuy vậy, kết quả nghiên cứu đã cho ta thấy rằng phương pháp và kỹ thuật mô phỏng đã đề xuất đáng tin cậy khi áp dụng trong phân tích đáp ứng của kết cấu chịu tải di động nói chung và cho tấm có vết nứt nói riêng.



Hình 8. Mẫu tấm với vết nứt ngang



Hình 9. Mẫu tấm làm thí nghiệm

Bảng 1. Kết quả mô phỏng số và thực nghiệm với vận tốc vật 20 m/s

| Thông số | Mô phỏng số | Thực nghiệm | Sai số % |
|----------------------------------|-------------|-------------|----------|
| Chuyển vị (mm) | 4.52 | 4.11 | 9.8 |
| Biến dạng phương dọc tấm (10e-4) | 1.08 | 0.86 | 25.7 |
| Vận tốc (m/s) | 0.35 | 0.31 | 10.6 |
| Gia tốc (m/s ²) | 98.7 | 88.13 | 12 |

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đáp ứng của tấm có vết nứt chịu tải trọng di động. Quá trình phân tích đáp ứng của tấm có vết nứt được thực hiện trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) và đặc biệt, tải di động được mô phỏng nhờ kỹ thuật phần tử Sinh - Diệt. Kết quả khảo sát số được so sánh với kết quả thí nghiệm trên mô hình thực tế tại phòng thí nghiệm Cơ học máy - Học viện KTQS. Kết quả nghiên cứu và giải thuật được đề xuất giúp ta dễ dàng thực hiện các nghiên cứu đáp ứng của tấm có vết nứt khi chịu tải di động với quy luật chuyển động khác nhau, qua đó hiểu rõ hơn về sự khác biệt giữa đáp ứng của tấm nguyên vẹn và tấm có vết nứt khi chịu tải di động, đây là cơ sở để chẩn đoán khuyết tật trong tấm bằng phương pháp không phá hủy, nhờ phân tích đáp ứng của tấm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ahmad M., Ruhollah M., Mohammad H. K. (2015), *Nonlinear Dynamic Analysis of a Rectangular Plate Subjected to Accelerated/Decelerated Moving Load*, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 53, 1, pp.151-166.
- Asghari M., Ghahremani A.R., Ghafoori E. (2009), *Semi-Analytical Analysis of the Dynamic Response of Rectangular Plates under Traversing Moving Oscillator*, Euromech Solid Mechanics Conference, Lisbon, Portugal, 11-17 September 2009, pp.1-11.
- Esta Kago, Jaan Lellep. (2014), *Vibrations of Cracked Plates Resting on Elastic Foundations*, Recent Advances in Mechanical Engineering Applications, pp.11-17.
- Huang C.S., Leissa A.W., Li R.S. (2011), *Accurate Vibration Analysis of Thick, Cracked Rectangular Plates*, Journal of Sound and Vibration, 330 (2011), pp.2079-2093.

Qian G.L., Gu S.N., Jiang J.S., 1991. *A Finite Element Model of Cracked Plates Application to Vibration Problems*, Comput. & Structures 39 (1991), pp.483-487.

Abstract:

A STUDY ON THE RESPONSE OF CRACKED PLATES UNDER TRAVERSING MOVING MASS BY USING FINITE ELEMENT BIRTH AND DEATH TECHNIQUE AND EXPERIMENTAL

The paper presents the results of theoretical and experimental researches on the response of cracked plates under traversing moving mass. Response analysis process of cracked plate is done on the basis of finite element method (PTHH) and especially the traversing moving mass is simulated by Birth and Dead element technique. Survey results are compared with experimental results on actual model at the Laboratory of Machine Mechanics. The research results help us better understand the behavior of the cracked plate under mobile load, which is the basis for diagnosing defects in the plate by non-destructive method, thanks to the analysis of the plate's response.

Keywords: Plate, crack, finite element, birth-death element, moving mass.

Ngày nhận bài: 18/8/2020

Ngày chấp nhận đăng: 11/11/2020