

ẢNH HƯỞNG CỦA LỖ KHOÉT ĐẾN DAO ĐỘNG TỰ DO TẮM XIÊN LÀM BẰNG VẬT LIỆU COMPOSITE

EFFECTS OF INTERNAL CUT-OUT ON FREE VIBRATION OF SKEW COMPOSITE PLATE

TS. Bùi Văn Bình

Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Các tấm xiên composite có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật như sử dụng trong việc chế tạo cánh, đuôi và vây của máy bay, tên lửa và các máy bay không người lái,... Một số phương pháp được dùng để nghiên cứu dao động của tấm xiên như phương pháp Rayleigh-Ritz, phương pháp chuỗi, phương pháp phần tử hữu hạn,... Bằng phương pháp phần tử hữu hạn, bài báo này trình bày kết quả tính toán tần số dao động, dạng dao động tự do của tấm xiên có khoét lỗ làm bằng vật liệu composite. Ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét, kích thước lỗ khoét của tấm được khảo sát. Thuật toán và chương trình tính được viết bằng Matlab dựa trên lý thuyết tấm bậc nhất Reissner-Mindlin, sử dụng phần tử đẳng tham số 8 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do.

Từ khóa: *Tấm xiên composite; Dao động tự do; Dạng dao động; Phương pháp phần tử hữu hạn.*

ABSTRACT

The skew plates have wide range of engineering applications such as construction of wings, tails, and fins of swept-wing aircrafts, missiles and unmanned aerial vehicle, ... Several methods were used to analyze the vibration of skew plate like Rayleigh-Ritz method, series method, finite element method, ... This paper presents some numerical results of free vibrations and mode shape analysis of the skew laminate composite plate with a internal cut-out using finite element method. The effects of position and geometry of the internal cut-out were considered. The Matlab programming using eight-noded rectangular isoparametric plate element with five degree of freedom per node based on Reissner-Mindlin plate theory was built to solve the problems.

Keywords: *Skew composite plate; Free vibration; Mode shape; Finite element method.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề dao động của cánh gió máy bay, tên lửa, máy bay không người lái,... luôn là một trong những mối quan tâm hàng đầu của các nhà khoa học, người thiết kế các thiết bị bay không người lái. Các lỗ khoét trên các loại tấm này thường được thiết kế để lắp đặt các thiết bị phụ trợ hoặc để làm giảm trọng lượng của chúng. Vật liệu composite lớp thường được sử dụng để chế tạo vì các đặc tính đặc biệt của nó so với các loại vật liệu khác như khả năng chống radar, giảm thiểu các ảnh hưởng của trường điện từ, trọng lượng nhẹ, dễ dàng gia công bằng phương pháp thủ công,...

Nghiên cứu về ứng xử cơ học của các kết cấu tấm xiên composite đã được công bố với nhiều cách tiếp cận khác nhau. Năm 2018, Zhang và các cộng sự [1] đã sử dụng mô hình theo Hecky để phân tích dao động của các tấm hình chữ nhật với các lỗ khoét hình chữ nhật. Năm 2019, Kasar và các cộng sự [2] đã sử dụng phần mềm công nghiệp để tính toán ứng suất của tấm composite lớp với các loại lỗ khoét khác nhau.

Trong năm 2020, nhiều công trình nghiên cứu liên quan đến tính toán ứng xử cơ học của các kết cấu tấm có và không có khoét lỗ đã được công bố. Askari và các cộng sự [3] đã sử dụng phương pháp giải tích kết hợp với phương pháp số gần đúng để phân tích dao động tự do của tấm với các lỗ khoét lệch tâm. Chaubey và các cộng sự [4] phân tích ảnh hưởng của nhiều lỗ khoét đến ổn định của vỏ composite bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Maharudra và các cộng sự [5] nghiên cứu về việc xác định tải trọng giới hạn mất ổn định của tấm composite hình thang bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Trong đó, ảnh hưởng của các tham số hình học lỗ khoét, điều kiện biên và góc sợi composite

của tấm đã được trình bày. Chandra và các cộng sự [6] đã nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí tải trọng đến đặc tính mất ổn định và dao động của tấm composite với lỗ khoét hình tròn,...

Tại Việt Nam, các công trình nghiên cứu về loại kết cấu này đã và đang được quan tâm nghiên cứu. Bài báo trình bày một số kết quả tính toán số tần số dao động tự do, phân tích dạng dao động của tấm xiên composite có khoét lỗ dựa trên lý thuyết tấm của Reissner-Mindlin khi thay đổi các tham số hình học, vị trí các lỗ khoét.

2. THIẾT LẬP CÔNG THỨC PHẦN TỬ HỮU HẠN

2.1. Cơ sở lý thuyết

Theo Reissner-Mindlin [7], các thành phần chuyển vị u , v , w của tấm được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u_0(x, y) + z\theta_x(x, y) \\ v(x, y, z) &= v_0(x, y) + z\theta_y(x, y) \\ w(x, y, z) &= w_0(x, y) \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó: u_0 , v_0 và w_0 là các thành phần chuyển vị của điểm trên mặt trung bình ($z = 0$) theo các phương x , y và z ; θ_x và θ_y lần lượt là góc xoay của pháp tuyến mặt trung bình quanh các trục y và x .

2.2. Xây dựng công thức phần tử hữu hạn

Theo lý thuyết tấm nhiều lớp [8]: lực màng $\{N\}$, mô-men uốn $\{M\}$ và lực cắt $\{Q\}$ được xác định bằng tích phân ứng suất theo độ dày của tấm và được xác định như sau:

$$\begin{Bmatrix} \{N\} \\ \{M\} \\ \{Q\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A_{ij}] & [B_{ij}] & [0] \\ [B_{ij}] & [D_{ij}] & [0] \\ [0] & [0] & [F_{ij}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\epsilon^0\} \\ \{\kappa\} \\ \{\gamma^0\} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Trong đó:

$$([A_{ij}], [B_{ij}], [D_{ij}]) = \sum_{k=1}^n \int_{h_{k-1}}^{h_k} ([Q'_{ij}]_k) (1, z, z^2) dz$$

với $i, j = 1, 2, 6$ (3)

$$[F_{ij}] = \sum_{k=1}^n f \int_{h_{k-1}}^{h_k} ([C'_{ij}]_k) dz; \text{ với } f = 5/6; i, j = 4, 5 \quad (4)$$

Trong đó: n là số lớp composite; h_{k-1} , h_k lần lượt là độ cao vị trí của mặt trên và mặt dưới của lớp thứ k ; $[Q'_{ij}]_k$ và $[C'_{ij}]_k$ là các ma trận độ cứng thu gọn của lớp thứ k .

Bằng việc sử dụng phần tử đẳng tham số 8 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do, các chuyển vị của điểm bất kỳ của mặt trung bình của tấm được xác định:

$$u_0 = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot u_i; \quad v_0 = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot v_i; \quad w_0 = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot w_i;$$

$$\theta_x = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot \theta_{xi}; \quad \theta_y = \sum_{i=1}^8 N_i(\xi, \eta) \cdot \theta_{yi}; \quad (5)$$

$N_i(\xi, \eta)$ là các hàm dạng của phần tử đẳng tham số 8 nút trong hệ tọa độ phần tử (ξ, η) .

Phương trình dao động tự do không cản của kết cấu được xác định là:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (6)$$

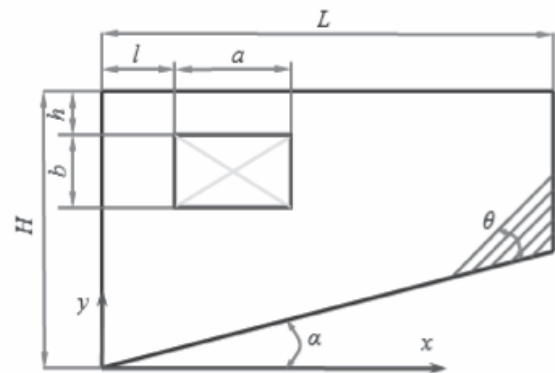
Trong đó: $\{u\}$, $\{\ddot{u}\}$ là véc tơ chuyển vị

nút, véc tơ gia tốc của chuyển vị nút trong hệ tọa độ tổng thể; $[M]$, $[K]$ lần lượt là ma trận khối lượng, ma trận độ cứng trong hệ tọa độ tổng thể.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN SỐ

3.1. Đối tượng khảo sát

Xét kết cấu xiên composite lớp có khoét lỗ ở trung tâm với hình dạng và kích thước như Hình 1.



Hình 1. Tấm xiên composite lớp có khoét lỗ

Các kích thước: $H = 0,7$ (m); $L = 0,6$ (m); góc xiên là α (độ); tấm dày $t = 1$ (cm) gồm 5 lớp composite có cấu hình góc sợi lệch trực là $[45^\circ/-45^\circ/45^\circ/-45^\circ/45^\circ]$, ($\theta = 45^\circ$). Điều kiện biên: ngàm tại cạnh có $x = 0$, các cạnh khác tự do. Vật liệu được khảo sát là vật liệu composite cốt vải có cơ tính như trong Bảng 1.

Bảng 1. Cơ tính vật liệu composite cốt vải

$E_1 = E_2$ (GPa)	E_3 (GPa)	$G_{12} = G_{13} = G_{23}$ (GPa)	ν_{12}	ν_{23}	ρ (kg/m ³)
63.8	9.67	4.14	0.064	0.32	1523

Các trường hợp được khảo sát với góc xiên $\alpha = 30^\circ$:

Trường hợp	a	b	l	h
TH1_VT11	0.1	0.1	0.1	0.1
TH1_VT12	0.1	0.1	0.3	0.1
TH1_VT13	0.1	0.1	0.4	0.1
TH2_VT31	0.2	0.1	0.2	0.1
TH2_VT32	0.2	0.1	0.3	0.1
TH2_VT33	0.2	0.1	0.2	0.2
TH3_VT61	0.2	0.2	0.1	0.1
TH3_VT62	0.2	0.2	0.2	0.1
TH3_VT63	0.2	0.2	0.3	0.1
TH4_VT81	0.4	0.2	0.1	0.1

3.2. Dao động tự do của tấm

3.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét

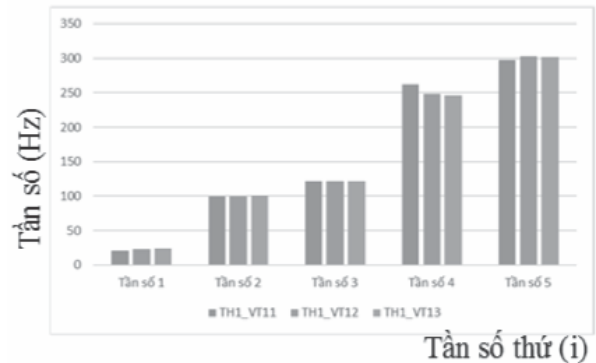
Để khảo sát ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét đến tần số dao động của tấm, bài báo xét ba trường hợp với kích thước lỗ khoét khác nhau:

Trường hợp 1: gồm có TH1_VT11, TH1_VT12 và TH1_VT13.

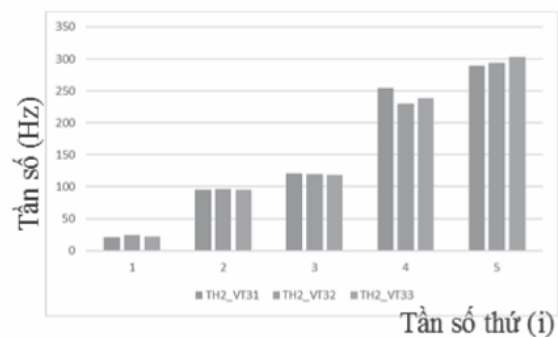
Trường hợp 2: gồm có TH2_VT31, TH2_VT32 và TH2_VT33.

Trường hợp 3: gồm có TH3_VT61, TH3_VT62 và TH3_VT63.

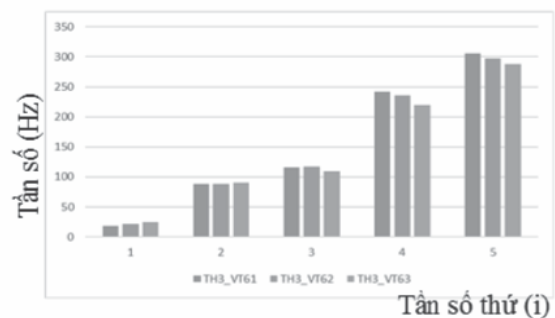
Kết quả tính toán năm tần số dao động đầu tiên được so sánh và trình bày lần lượt trên Hình 2, Hình 3 và Hình 4. Năm dạng dao động đầu tiên tương ứng các trường hợp TH1_VT13, TH2_VT33 và TH3_VT63 được trình bày trên Hình 5, Hình 6 và Hình 7; và trường hợp 4 (TH4_VT81) trên Hình 8.



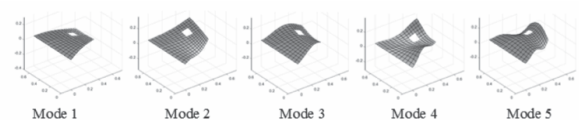
Hình 2. Ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét đến năm tần số dao động riêng đầu tiên trong trường hợp 1



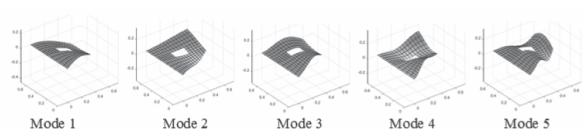
Hình 3. Ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét đến năm tần số dao động riêng đầu tiên trong trường hợp 2



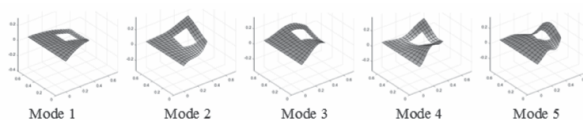
Hình 4. Ảnh hưởng của vị trí lỗ khoét đến năm tần số dao động riêng đầu tiên trong trường hợp 3



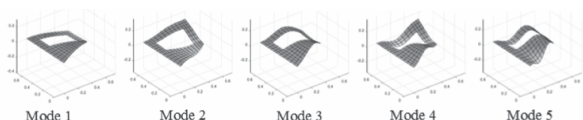
Hình 5. Năm tần số dao động riêng đầu tiên của trường hợp 1 (TH1_VT13)



Hình 6. Năm tần số dao động riêng đầu tiên của trường hợp 2 (TH2_VT33)



Hình 7. Năm tần số dao động riêng đầu tiên của trường hợp 3 (TH3_VT63)



Hình 8. Năm tần số dao động riêng đầu tiên của trường hợp 4 (TH4_VT81)

Theo số liệu trong biểu đồ (Hình 2, Hình 3 và Hình 4), một số nhận xét:

- Khi so sánh với TH1_VT11: TH1_VT12 và TH1_VT13 lần lượt tăng 8,6% và 12,2% ở tần số thứ nhất; giảm 5,4% và 6,03% ở tần số thứ 4; các tần số khác chênh lệch lớn nhất khoảng 2%.

- Khi so sánh với TH2_VT31: TH2_VT32 và TH2_VT33 lần lượt tăng 15,5% và 7,5% ở tần số thứ nhất; giảm 9,8% và 6,2% ở tần số thứ 4; ở tần số thứ 5 TH_VT33 tăng 4,6%; các tần số khác chênh lệch lớn nhất khoảng 3,5%.

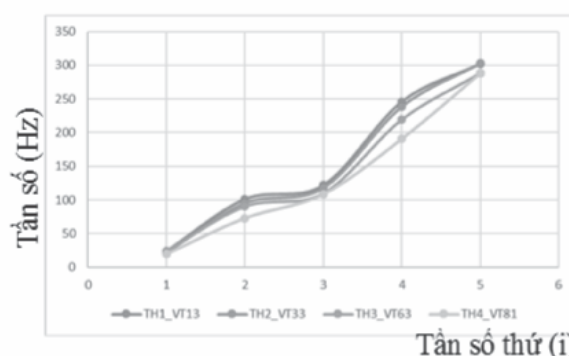
- Khi so sánh với TH31_VT61: TH3_VT62 và TH3_VT63 lần lượt tăng 14% và 32,7% ở tần số thứ nhất; giảm 2,3% và 9,2% ở tần số thứ 4; giảm 2,7% và 5,7% ở tần số 5; các tần số khác chênh lệch lớn nhất 4%.

Dạng dao động của các trường hợp lần

lượt theo các tần số tương ứng không thay đổi, ngoại trừ trường hợp tần số thứ 5 của trường hợp TH4_VT81.

3.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét

Hình 9 trình bày kết quả phân tích ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét đến năm tần số dao động riêng trong các trường hợp TH1_VT13, TH2_VT33, TH3_VT63 và TH4_VT81.



Hình 9. Ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét

Nhận xét:

Các tần số trong trường hợp TH1_VT13, TH2_VT63, TH4_VT81 khi so sánh với trường hợp TH1_VT13: Tần số thứ nhất lần lượt giảm 6,4%; tăng 2,2%; giảm 17,9%. Tần số thứ 2 lần lượt giảm 5,3%; giảm 10,3%; giảm 27,8%. Tần số thứ 3 lần lượt giảm 2,3%; giảm 9,7%; giảm 10,8%. Tần số thứ 4 lần lượt giảm 2,8%; giảm 10,8%; giảm 22,5%. Tần số thứ 5 lần lượt giảm 0,4%; giảm 4,6%; giảm 4,5%.

4. KẾT LUẬN

Bằng phương pháp phân tử hữu hạn, sử dụng phần tử đẳng tham số 8 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do, bài báo đã xây dựng thuật toán và chương trình để tính toán dao động tự do

của tấm xiên có lỗ khoét làm bằng vật liệu composite lớp. Thông qua các kết quả khảo sát số của nghiên cứu, có thể đưa ra một số kết luận như sau: Tần số dao động của tấm xiên chịu ảnh hưởng tương đối lớn khi thay đổi kích thước lỗ khoét và vị trí các lỗ khoét. Dạng dao động của kết cấu tấm xiên thay đổi khi kích thước lỗ và vị trí lỗ thay đổi, đặc biệt là ở các tần số cao. Do đó, khi nghiên cứu dao động của các kết cấu tấm xiên, chúng ta cần phải khảo sát cho từng trường hợp cụ thể. ❖

Ngày nhận bài: **02/4/2023**

Ngày phản biện: **05/5/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Y.P. Zhang, C.M. Wang, D.M. Pedroso, H. Zhang; *Extension of Hencky bar-net model for vibration analysis of rectangular plates with rectangular cutouts*, Journal of Sound and Vibration 432 (2018) 65-87.
- [2]. A.M. Kasar, S.S. Vadgeri, S. R. Patil, P. P. Bartere; *Stress analysis of carbon fiber reinforced composite laminate with different centrally located cutouts*, Materials Today: Proceedings 16 (2019) 592–597.
- [3]. E. Askari, K.H. Jeong, M. Amabili; *A novel mathematical method to analyze the free vibration of eccentric annular plates*, Journal of Sound and Vibration (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2020.115513>.
- [4]. A. Chaubey, A. Kumar, A. Chakrabarti; *Effect of multiple cutouts on shear buckling of laminated composite spherical shells*, Materials Today: Proceedings 21 (2020) 1155–1163.
- [5]. Maharudra, B. Arya and T. Rajanna; *Buckling behaviour of composite laminates of trapezoidal panel with cutout subjected to nonuniform in-plane edge loads*, Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.224>
- [6]. S.S. Chandra, T. Rajanna and K. Venkata Rao; *Effect of position of partial load on buckling and vibration characteristics of composite panels with circular cutouts*, Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.229>
- [7]. Bathe, K-J (1996); *Finite element procedures*, Prentice-Hall, Inc.
- [8]. Autar K. Kaw (2006); *Mechanics of Composite Materials*, Taylor & Francis Group, LLC.