BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

Trần Hữu Quốc

MÔ HÌNH HÓA VÀ TÍNH TOÁN SỐ KẾT CẤU TẤM COMPOSITE CÓ GÂN GIA CƯỜNG

Chuyên ngành: Cơ học vật thể rắn
Mã số: 62.44.21.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2010

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: GS. TS. Trần Ích Thịnh

Phản biện 1: GS. TSKH. Đào Huy Bích
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN

Phản biện 2: GS. TSKH. Nguyễn Đông Anh
Viện Cơ học Việt Nam

Phản biện 3: GS. TS. Nguyễn Mạnh Yên
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Trường
họp tại Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội
vào hồi 08 giờ 30 phút ngày 04 tháng 09 năm 2010

Có thể tìm hiểu luận án tại: Thư viện Quốc gia
Thư viện trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

1. Trần Ích Thịnh, Trần Hữu Quốc. Phân tích cơ học kết cấu tấm composite lớp có gân gia cường bằng phương pháp phần tử hữu hạn. *Tuyển tập công trình Hội nghị cơ học toàn quốc Cơ học vật rắn biến dạng lần thứ 8* (2006). T.823-833.
2. Trần Ích Thịnh, Trần Hữu Quốc. Tính toán tĩnh và động tấm composite lớp có gân gia cường bằng phương pháp phần tử hữu hạn. *Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ 8* (2007). T. 608-620.
3. Tran Ich Thinh, Tran Huu Quoc. Analysis of stiffened laminated composite plates by finite element based on higher-order displacement theory, *Vietnam Journal of Mechanics* (2008). Pp. 112-124.
4. Tran Ich Thinh, Tran Huu Quoc, Trinh Minh Cong. Free vibration and bending analysis of stiffened composite structures with laminated open and closed section stiffeners. *Proceedings of the International Conference on Computational Solid Mechanics CSM* (2008). Pp.458-467
5. Tran Ich Thinh, Tran Huu Quoc. Progressive Failure Analysis of Laminated Stiffened Composite Plates by Finite Element Method. *Tuyển tập Công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc* (2009). Pp. 221-228.
6. Tran Minh Tu, Tran Huu Quoc. Free Vibration Analysis of Composite Sandwich Plate Using Higher Order Theories and Finite Element Modelling. *Tuyển tập Công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc* (2009). Pp. 261-271.
7. Tran Huu Quoc, Tran Ich Thinh. Numerical-Experimental Investigation on Vibration and Bending Failure of Stiffened Composite Plates. *Vietnam Journal of Mechanics, Vol.32, No.2* (2010). Pp.81-94.
8. Tran Minh Tu, Pham Ngoc Thach, Tran Huu Quoc. Finite element modeling for bending and vibration analysis of laminated and sandwich composite plates based on higher-order theory. *Computational Materials Science 49* (2010). S390-394.
9. Tran Ich Thinh, Tran Huu Quoc. Finite element modeling and experimental study on bending and vibration of laminated stiffened glass fiber/polyester composite plates. *Computational Materials Science 49* (2010). S383-389.

A. GIỚI THIỆU LUẬN ÁN

1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Trong thực tế ứng dụng, các kết cấu hoặc các thành phần của kết cấu làm bằng vật liệu composite thường có dạng tấm được gia cường bởi các gân. Các gân gia cường có tác dụng làm cho kết cấu chịu được tải trọng lớn hơn trong khi khối lượng vật liệu sử dụng làm kết cấu tăng lên không đáng kể. Việc chế tạo và ứng dụng kết cấu tấm composite có gân gia cường trên thực tế hiện nay hầu hết đều dựa vào kinh nghiệm mà chưa có những tính toán, mô hình chính xác nào giải quyết đầy đủ các bài toán liên quan như bài toán tĩnh, bài toán động và bài toán bền. Để có thể thiết kế tối ưu các kết cấu composite có gân gia cường ta cần phải tiến hành giải các bài toán cơ học: tính toán chuyển vị, ứng suất, tần số dao động riêng v.v... của các tấm-gân có cấu hình vật liệu khác nhau, chịu các điều kiện biên và tải trọng khác nhau. Do vậy, hiện nay và trong tương lai, nghiên cứu cơ học vật liệu composite, tính toán các kết cấu tấm có gân gia cường làm bằng vật liệu composite phục vụ thiết kế, chế tạo là một việc làm có tính cấp thiết và có ý nghĩa khoa học cao.

2. MỤC TIÊU VÀ NHIỆM VỤ CỦA LUẬN ÁN

- **Mục tiêu nghiên cứu**

Nghiên cứu cơ sở lý thuyết nhằm xây dựng được thuật toán và chương trình phần tử hữu hạn để mô hình hoá và tính toán số các bài toán tĩnh, bài toàn động và bài toán bền cho các kết cấu tấm composite có gân gia cường lệch tâm.

Tiến hành thực nghiệm đo tần số dao động riêng của kết cấu tấm composite có gân gia cường với gân có các hình dạng mặt cắt ngang để kiểm nghiệm kết quả lý thuyết.

- **Nhiệm vụ của luận án**

a. Thiết lập hệ phương trình giải bài toán tĩnh, bài toán động và bài toán bền cho tấm composite lớp có gân gia cường dựa trên cơ sở trường chuyển vị biến thiên bậc cao.

b. Xây dựng thuật toán và lập chương trình máy tính cho phép tính toán chuyển vị, ứng suất, tần số dao động riêng và tải trọng phá huỷ uốn của kết cấu tấm composite có gân gia cường lệch tâm chịu các điều kiện biên khác nhau, các gân gia cường có hình dạng mặt cắt ngang khác nhau: chữ nhật, chữ T và chữ U và có thể xoay một góc bất kỳ trong mặt phẳng tấm.

c. Xây dựng thí nghiệm đo tần số dao động riêng của kết cấu tấm composite được gia cường bởi các gân có mặt cắt ngang khác nhau: mặt cắt chữ nhật, mặt cắt chữ T và mặt cắt chữ U nhưng có diện tích mặt cắt ngang bằng nhau (có cùng khối lượng vật liệu).

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- **Phương pháp số:** Xây dựng thuật toán và chương trình tính bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) dựa trên trường chuyển vị bậc của Reddy để giải bài toán tĩnh và động cho các kết cấu tấm composite lớp có gân gia cường, các gân có nhiều dạng mặt cắt ngang khác nhau và có thể xoay một góc bất kỳ trong mặt phẳng tấm.
- **Phương pháp thực nghiệm:** Xác định tần số dao động riêng của các tấm composite có gân gia cường với các dạng mặt cắt gân khác nhau như chữ nhật, chữ T và chữ U chịu các điều kiện biên khác nhau.

4. NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

- Thiết lập mô hình phần tử hữu hạn dựa trên lý thuyết chuyển vị bậc cao cho phép tính toán đối với tấm có độ dày mỏng và trung bình mà không phải sử dụng hệ số hiệu chỉnh cắt.
- Mô hình tính toán cho phép gân có thể nằm ở vị trí bất kỳ trong tấm và xoay một góc bất kỳ, mặt cắt gân có thể có những hình dạng khác nhau như chữ U, chữ T hay chữ nhật. Các gân là lệch tâm và có thể được bố trí không đều trong tấm.

- Luận án đã thiết lập thuật toán tính toán tải trọng tới hạn cho kết cấu tấm composite có gân gia cường theo cả quan điểm phá hủy lớp đầu tiên và phá hủy lớp cuối cùng, trong quan điểm phá hủy lớp cuối cùng, luận án đã thiết lập công thức và thuật toán tính toán tải trọng phá hủy lớp cuối cùng theo cả hai tiếp cận là loại bỏ hoàn toàn cơ tính của lớp bị phá hủy trước khi tính toán các tải trọng tiếp theo và tiếp cận loại bỏ từng phần cơ tính của lớp bị phá hủy tùy theo cơ chế phá hủy của lớp đó.
- Luận án đã tổ chức được một loại thí nghiệm mới: đo tần số dao động riêng của các tấm composite được gia cường bởi các gân có hình dạng mặt cắt ngang khác nhau nhưng có cùng diện tích và khối lượng vật liệu tạo thành.
- Luận án đã áp dụng mô hình và tính toán kiểm chứng một ứng dụng thực tế là bàn đẩy mũi tàu đoàn xà lan.

5. CẤU TRÚC CỦA LUẬN ÁN

Phần mở đầu, năm chương, kết luận chung và các phụ lục.

B. NỘI DUNG CHÍNH CỦA LUẬN ÁN

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Chương 1 của luận án giới thiệu tổng quan về tình hình nghiên cứu về vật liệu composite, về các phương pháp tính toán và các kết quả nghiên cứu về kết cấu tấm composite có gân gia cường của các tác giả trong và ngoài nước. Từ đó rút ra những vấn đề cần nghiên cứu và phát triển. Trên cơ sở đó lựa chọn phạm vi nghiên cứu cho đề tài.

Chương 2: MỘT SỐ HỆ THỨC CƠ HỌC TRONG TÍNH TOÁN TẤM VÀ DẦM COMPOSITE LỚP

2.1. Giới thiệu

Chương 2 luận án trình bày các hệ thức cơ học trong tính toán tấm và dầm composite là hai thành phần cơ bản cấu tạo nên kết cấu tấm composite có gân gia cường.

2.2. Tấm composite lớp

Sử dụng trường chuyển vị bậc ba của Reddy

$$\begin{aligned} U_t(x,y,z,t) &= u_{0t}(x,y,t)+z\theta_{xt}(x,y,t)+z^2u^*_{0t}(x,y,t)+z^3\theta^*_{xt}(x,y,t)\\ V_t(x,y,z,t) &= v_{0t}(x,y,t)+z\theta_{yt}(x,y,t)+z^2u^*_{0t}(x,y,t)+z^3\theta^*_{yt}(x,y,t)\\ W_t(x,y,z,t) &= w_{0t}(x,y,t) \end{aligned} \tag{2.1}$$

Từ đó xác định được các trường biến dạng, trường ứng suất, trường nội lực và cuối cùng xác định được quan hệ nội lực - biến dạng đối với tấm composite lớp như sau:

$$\begin{Bmatrix} N\\ N^*\\ M\\ M^*\\ Q\\ S\\ Q^* \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A & C & B & D & 0 & 0 & 0\\ C & E & D & F & 0 & 0 & 0\\ B & D & C & E & 0 & 0 & 0\\ D & F & E & G & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & A_c & B_c & C_c\\ 0 & 0 & 0 & 0 & B_c & C_c & D_c\\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_c & D_c & E_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \overline{\varepsilon}_m\\ \overline{\varepsilon}^*_m\\ \overline{\varepsilon}_u\\ \overline{\varepsilon}^*_u\\ \overline{\phi}\\ \overline{\psi}\\ \overline{\phi}^* \end{Bmatrix} \tag{2.26}$$

Viết gọn dưới dạng

$$\{N\}_t = [D]_t\{\varepsilon\}_t \tag{2.27}$$

2.3. Dầm composite lớp

Tương tự đối với tấm composite lớp, luận án cũng sử dụng trường chuyển vị bậc 3 của Reddy, tuy nhiên do dầm làm việc một phương nên trường chuyển vị có dạng:

$$U_d(x,y,z,t) = u_{0d}(x,y,t) + z\theta_{xd}(x,y,t) + z^2 u^*_{0d}(x,y,t) + z^3\theta^*_{xd}(x,y,t)$$
$$W_d(x,y,z,t) = w_{0d}(x,y,t) \quad (2.28)$$

Từ đó cũng xác định được các trường biến dạng, trường ứng suất, trường nội lực và cuối cùng xác định được quan hệ nội lực - biến dạng đối với dầm composite lớp như sau:

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N^*_x \\ M_x \\ M^*_x \\ Q_x \\ S_x \\ Q^*_x \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_g & C_g & B_g & D_g & 0 & 0 & 0 \\ C_g & E_g & D_g & F_g & 0 & 0 & 0 \\ B_g & D_g & C_g & E_g & 0 & 0 & 0 \\ D_g & F_g & E_g & G_g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A_{gc} & B_{gc} & C_{gc} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & B_{gc} & C_{gc} & D_{gc} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{gc} & D_{gc} & E_{gc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xo} \\ \varepsilon^*_{xo} \\ k_x \\ k^*_{xo} \\ \phi_x \\ \psi_x \\ \phi^*_x \end{Bmatrix} \quad (2.51)$$

Viết gọn dưới dạng

$$\{N\}_g = [D]_g \{\varepsilon\}_g \quad (2.52)$$

2.4. Kết luận chương 2

Tấm và dầm composite lớp là hai thành phần cơ sở để tạo nên kết cấu tấm composite lớp có gân gia cường. Trong chương 2, luận án đã thiết lập các hệ thức cơ học để tính toán tấm và dầm composite:

- Dựa trên trường chuyển vị bậc ba của Reddy, luận án đã xây dựng các công thức tính nội lực, ứng suất tại một điểm bất kỳ trong tấm cũng như trong gân.
- Đã thiết lập hệ thức quan hệ nội lực - biến dạng trong tấm và trong gân.
- Các hệ thức cơ học tính trong toán tấm và dầm composite nói trên sẽ được sử dụng để mô hình hoá các kết cấu tấm composite có gân gia cường bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Chương 3: PHÂN TÍCH CƠ HỌC TẤM COMPOSITE CÓ GÂN GIA CƯỜNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PTHH

3.1. Giới thiệu

Trên cơ sở giả thiết liên kết giữa tấm và gân là liên kết lý tưởng, chuyển vị tại mặt dưới của tấm bằng với chuyển vị tại mặt trên của gân, luận án xây dựng thuật toán ghép nối ma trận độ cứng và ma trận khối lượng của các phần tử gân vào ma trận độ cứng và ma trận khối lượng của phần tử tấm để tạo nên ma trận độ cứng và ma trận khối lượng phần tử tấm-gân.

3.2. Ma trận độ cứng và ma trận khối lượng phần tử tấm

Sử dụng phần tử đẳng tham số 9 nút, mỗi nút 9 bậc tự do để mô hình phần tử tấm composite lớp. Chuyển vị của một điểm bất kỳ thuộc phần tử tứ giác, được biểu diễn bằng hàm dạng như sau:

$$\mathbf{q} = \sum_{i=1}^{n} N_i(\xi,\eta) q_i \quad (3.1)$$

Trong đó *n=9* là số nút của phần tử và q_i là vector chứa số bậc tự do của của nút thứ *i* có dạng:

$$q_i = \{u_{oi}, v_{oi}, w_{oi}, \theta_{xi}, \theta_{yi}, u^*_{oi}, v^*_{oi}, \theta^*_{xi}, \theta^*_{yi}\} \quad (3.2)$$

Áp dụng các biến đổi trong phương pháp phần tử hữu hạn, ta được:

- $\underset{(81x81)}{K^t_e} = \int_A B^T DBdA$ là ma trận độ cứng phần tử tấm (3.9)

- $\underset{(81x81)}{M_e^t} = \int_A N^T m N dA$ là ma trận khối lượng phần tử tấm (3.10)
- $\underset{(81x1)}{F_e^t} = \int_A N^T p dA + \int_A N^T P dA$ là véc tơ tải trọng nút phần tử (3.11)

3.3. Ma trận độ cứng và ma trận khối lượng phần tử dầm

Sử dụng phần tử dầm 3 nút, mỗi nút có 5 bậc tự do để mô hình hoá các gân gia cường. Chuyển vị của một điểm bất kỳ thuộc phần tử dầm, được biểu diễn qua hàm dạng và chuyển vị nút như sau:

$$\mathbf{q}_g^e = \sum_{i=1}^{n} N_i(\xi) q_i \tag{3.14}$$

Trong đó n=3 là số nút của phần tử và qi là vector chứa số bậc tự do của của nút thứ i có dạng:

$$q_i = \left\{u_{oi}, w_{oi}, \theta_{xi}, u_{oi}^*, \theta_{xi}^*\right\}^T \tag{3.15}$$

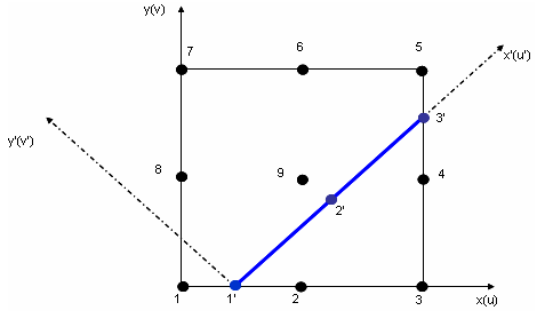
Tương tự đối với phần tử tấm composite, ta có công thức ma trận độ cứng phần tử dầm như sau:

$$\underset{(15x15)}{K_e^g} = \int_l B_g^T D_g B_g dl \tag{3.19}$$

Ma trận khối lượng phần tử dầm composite:

$$\underset{(15x15)}{M_e^g} = \int_l N^T m_g N dl \tag{3.20}$$

3.4. Xây dựng ma trận độ cứng và ma trận khối lượng phần tử tấm-gân



Hình 3.3. Phần tử tấm - gân

Để tính toán tấm composite có gân gia cường thì vấn đề mấu chốt là ghép nối các phần tử dầm vào phần tử tấm chứa nó để tạo ra ma trận độ cứng và ma trận khối lượng của phần tử tấm-gân. Luận án trình bày cách ghép nối như sau:

Phần tử tấm gân được cấu tạo bởi một phần tử tấm và các phần tử gân gia cường trong nó, do vậy ta có:

$$\underset{(81x81)}{K_e^{tg}} = \underset{(81x81)}{K_e^t} + \sum_{i=1}^{n} \underset{(81x81)}{K_i^{gt}} \tag{3.23}$$

$$\underset{(81x81)}{M_e^{tg}} = \underset{(81x81)}{M_e^t} + \sum_{i=1}^{n} \underset{(81x81)}{M_i^{gt}} \tag{3.24}$$

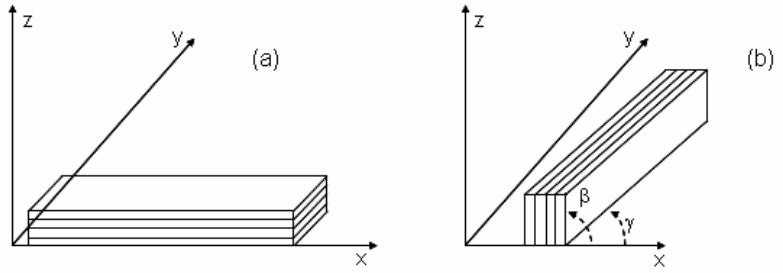
Trong đó:

- $\underset{(81x81)}{K_e^{tg}}$ - Là ma trận độ cứng phần tử tấm-gân.
- $\underset{(81x81)}{M_e^{tg}}$ - Là ma trận khối lượng phần tử tấm-gân.
- $\underset{(81x81)}{K_e^t} = \int_A \underset{(81x18)}{B^T} \underset{(18x18)}{D} \underset{(18x81)}{B} dA$ - Là ma trận độ cứng phần tử tấm.

- $\underset{(81x81)}{K_i^{gt}} = \underset{(81x81)}{T^T}\ \underset{(81x15)}{V^T}\ \underset{(15x15)}{K_g}\ \underset{(15x81)}{V}\ \underset{(81x81)}{T}$ - Là ma trận khối lượng phần tử gân mở rộng.
- $\underset{(15x15)}{K_g} = \int_l \underset{(15x7)}{B_g^T}\ \underset{(7x7)}{D_g}\ \underset{(7x15)}{B_g}\ dl$ - Là ma trận độ cứng phần tử gân.
- $\underset{(81x81)}{M_e^t} = \int_A N^T m N dA$ - Là ma trận khối lượng phần tử tấm.
- $\underset{(81x81)}{M_i^{gt}} = \underset{(81x81)}{T^T}\ \underset{(81x15)}{V^T}\ \underset{(15x15)}{M_g}\ \underset{(15x81)}{V}\ \underset{(81x81)}{T}$ - Là ma trận khối lượng phần tử gân mở rộng.
- $\underset{(15x15)}{M_e^g} = \int_l N^T m_g N dl$ - Là ma trận khối lượng phần tử gân.

Trong đó ma trận chuyển đổi *V* và ma trận *T* có tính đến độ lệch tâm giữa tấm và gân được thiết lập như sau:

3.4.1. Ma trận chuyển đổi *V*



Hình 3.4. Góc xoay phân tử gân

Lấy phần tử gân dọc theo phương trục *Ox* là phần tử gân cơ bản như hình 3.4a. Các phần tử gân xoay theo các phương khác thu được bằng cách xoay xung quanh trục *Oz* một góc α và quay quanh trục *Oy* một góc β. Chẳng hạn với dầm song song với trục *Oy* ta xoay dầm cơ bản đi một góc $\alpha=90^o$. Nếu các lớp của gân vuông góc với mặt phẳng tấm ta xoay gân thêm một góc $\beta= 90^o$

Sử dụng công thức chuyển đổi trục:

$$\begin{Bmatrix} U_s \\ V_s \\ W_s \end{Bmatrix} = R_{yz} \begin{Bmatrix} U_p \\ V_p \\ W_p \end{Bmatrix} \tag{3.25}$$

Trong đó:

$$R_{yz} = \begin{bmatrix} c_1c_2 & c_1s_2 & -s_2 \\ -s_2 & c_2 & 0 \\ s_1c_2 & s_1s_2 & c_1 \end{bmatrix}$$ Là ma trận xoay quanh trục *Oz* và *Oy*

Với c_1, s_1, c_2, s_2 là sine và cosine của góc quay quanh trục *Oz* và *Oy*.

Triển khai công thức (3.25) ở trên ta có được:

$$\{q_{st}\} = \Lambda\{q\} \tag{3.26}$$

Trong đó:

$\{q_{st}\} = \{u_{os} \quad w_{os} \quad \theta_{xs} \quad u_s^* \quad \theta_s^*\}^T$ Là chuyển vị nút phần tử gân

$\{q\} = \{u_{0p} \quad v_{0p} \quad w_{0p} \quad \theta_{xp} \quad \theta_{yp} \quad u_{0p}^* \quad v_{0p}^* \quad \theta_{xp}^* \quad \theta_{yp}^*\}^T$ Là chuyển vị nút phần tử tấm.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} c_1c_2 & c_2s_1 & s_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ s_2c_1 & s_2s_1 & c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_2c_1 & c_2s_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_2c_1 & c_2s_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_2c_1 & c_2s_1 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Là ma trận chuyển đổi trục toạ độ.

Do nút của phần tử gân nằm trong phần tử tấm nên ta có thể nội suy chuyển vị nút phần tử gân theo chuyển vị nút phần tử tấm theo công thức sau:

$$\sum_{j=1}^{3}\{q_{st}\}_j = \sum_{j=1}^{3}[\Lambda]_j[C]\sum_{i=1}^{9}\{q\}_i \quad (3.28)$$

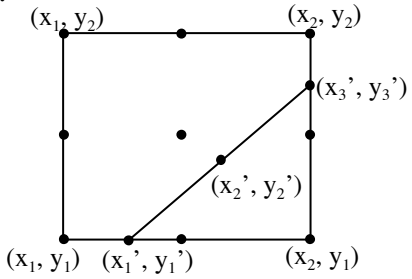
Trong đó $[C]_{15x27}$ được tính theo công thức sau:

$$[C] = \sum_{j=1}^{3}\sum_{i=1}^{9}(N_i[I_9]) \quad (3.29)$$

Với: - N_i là ma trận hàm dạng của phần tử tấm

- I_9 là ma trận đơn vị 9x9

N_i được tính bằng cách thay giá trị ξ', η' của các điểm nút phần tử dầm tương ứng trong phần tử tấm vào hàm dạng của phần tử tấm, giá trị ξ', η' được tính dựa trên toạ độ của nút của phần tử dầm như sau:



Hình 3.5. Toạ độ nút phần tử dầm trong phần tử tấm

Giả sử gọi toạ độ các nút của gân là (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), và (x_3', y_3'); toạ độ các nút góc của phần tử tấm chứa nó là (x_1,y_1), (x_2,y_1), (x_1,y_2) và (x_2,y_2) như trong hình 3.5. Ta có công thức tính ξ', η' tương ứng với các nút của phần tử dầm như sau:

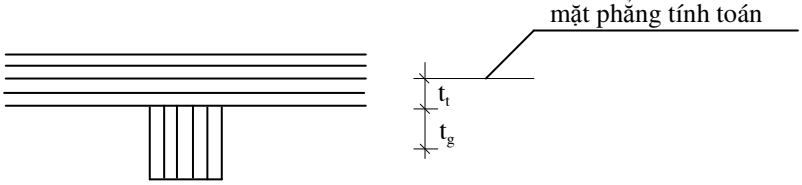
$$\xi_1' = \frac{2x_1' - x_2 - x_1}{x_2 - x_1}; \quad \xi_2' = \frac{2x_2' - x_2 - x_1}{x_2 - x_1}; \quad \xi_3' = \frac{2x_3' - x_2 - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\eta_1' = \frac{2y_1' - y_2 - y_1}{y_2 - y_1}; \quad \eta_2' = \frac{2y_2' - y_2 - y_1}{y_2 - y_1}; \quad \eta_3' = \frac{2y_3' - y_2 - y_1}{y_2 - y_1} \quad (3.30)$$

Từ các công thức trên, đặt $V_{(15x81)} = \sum_{j=1}^{3}[\Lambda]_j[C]$ ta được ma trận kết nối phần tử gân vào phần tử tấm.

3.4.2. Ma trận tính độ lệch tâm *T*

Để tính đến độ lệch tâm giữa phần tử gân và phần tử tấm ta đi xây dựng ma trận *T* như sau:



Hình 3.6. Độ lệch tâm giữa tấm và gân.

Trên cơ sở giả thiết liên kết giữa tấm và gân là lý tưởng, chuyển vị tại mặt dưới của tấm đồng nhất với chuyển vị tại mặt trên của gân:

$$\begin{aligned}
&[u_t]_{z=-t_t/2} = [u_g]_{z=t_g/2};\ [\theta_{xt}]_{z=-t_t/2} = [\theta_{xg}]_{z=t_g/2};\\
&[u_t^*]_{z=-t_t/2} = [u_g^*]_{z=t_g/2};\ [\theta_{xg}^*]_{z=-t_t/2} = [\theta_{xg}^*]_{z=t_g/2};\\
&[w_t]_{z=-t_t/2} = [w_g]_{z=t_g/2}
\end{aligned} \tag{3.31}$$

Từ các công thức trường chuyển vị (2.1) và (2.31) ta có được chuyển vị tại mặt dưới của tấm và mặt trên của gân như sau:

$$u_{ot} - \left(t_t/2\right)\theta_{xt} + \left(t_t/2\right)^2 u_t^* - \left(t_t/2\right)^3 \theta_{xt}^* = u_{og} + \left(t_g/2\right)\theta_{xg} + \left(t_g/2\right)^2 u_g^* + \left(t_g/2\right)^3 \theta_{xg}^* \tag{3.32}$$

Áp dụng các điều kiện trong (3.30) ta được:

$$\begin{aligned}
&[u_{og}] = [u_{ot}] - e^*[\theta_{xt}] + e^{**}[u_t^*] - e^{***}[\theta_{xt}^*]\\
&[\theta_{xg}] = [\theta_{xt}];\\
&[u_g^*] = [u_t^*];\\
&[\theta_{xg}^*] = [\theta_{xt}^*]
\end{aligned} \tag{3.33}$$

Trong đó:

$$\begin{aligned}
&e^* = \frac{t_t}{2} + \frac{t_g}{2};\quad e^{**} = \left(\frac{t_t}{2}\right)^2 - \left(\frac{t_g}{2}\right)^2;\\
&e^{***} = \left(\frac{t_t}{2}\right)^3 + \left(\frac{t_g}{2}\right)^3
\end{aligned} \tag{3.34}$$

Do đó ta có:

$$\begin{bmatrix} u_{og} \\ 0 \\ w_{og} \\ \theta_{xg} \\ 0 \\ u_{xg}^* \\ 0 \\ \theta_{xg}^* \\ 0 \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -e^* & 0 & e^{**} & 0 & -e^{***} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{ot} \\ v_{ot} \\ w_{ot} \\ \theta_{xt} \\ \theta_{yt} \\ u_t^* \\ v_t^* \\ \theta_{xt}^* \\ \theta_y^* \end{bmatrix}_i \tag{3.35}$$

Với i=1,..,9

Với cả phần tử gồm 9 nút ta có ma trận chuyển đổi có tính đến độ lệch tâm giữa gân và tấm như sau:

$$T=\begin{bmatrix} T_{gx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & T_{gx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T_{gx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & T_{gx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & T_{gx} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_{gx} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_{gx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_{gx} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_{gx} \end{bmatrix} \tag{3.36}$$

Trong đó:

$$T_{gx}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -e^{*} & 0 & e^{**} & 0 & -e^{***} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.37}$$

3.5. Ghép nối ma trận: Trình bày cách ghép nối ma trận phần tử tấm-gân vào ma trận độ cứng và ma trận khối lượng tổng thể

3.6. Tích phân số: Trình bày cách thực hiện tích phân số nhằm tính toán các ma trận độ cứng và ma trận khối lượng.

3.7. Các phương trình tổng quát hệ tấm-gân

Phương trình dao động tự do của tấm gân:

$$M\ddot{Q}+KQ=0 \tag{3.48}$$

Giải hệ phương trình (3.48) ta tìm được tần số riêng và dạng dao động riêng của tấm-gân.

Từ (3.48), bỏ qua gia tốc, ta được phương trình cho bài toán tĩnh:

$$KQ=F \tag{3.49}$$

3.8. Phân tích phá huỷ tăng tiến

Hiện nay, trên thế giới đang tồn tại hai quan điểm về cách tính toán tải trọng phá huỷ của kết cấu composite. Quan điểm thứ nhất cho rằng kết cấu composite sẽ bị phá huỷ ngay khi có một lớp nào đó bị phá huỷ, quan điểm thứ hai cho rằng sau khi một hay một số lớp nào đó của kết cấu composite bị phá huỷ thì kết cấu vẫn vẫn chưa bị phá huỷ và vẫn có khả năng chịu một tải trọng nào đó, kết cấu composite chỉ được coi là bị phá huỷ khi tất cả các lớp của bị phá huỷ. Ngoài ra, với quan điểm thứ hai cũng có hai tiếp cận: tiếp cận thứ nhất loại bỏ hoàn toàn cơ tính của lớp vật liệu bị phá huỷ trước khi tính tiếp cho các lớp tiếp theo; tiếp cận thứ hai chỉ loại bỏ cơ tính của lớp bị phá huỷ ứng với cơ chế phá huỷ của lớp đấy, cơ tính khác của lớp đó và các lớp khác vẫn giữ nguyên trước khi tính phá huỷ cho các lớp tiếp theo.

3.8.1. Phân tích phá huỷ lớp đầu tiên

Theo quan điểm này thì kết cấu composite được cho là bị phá huỷ khi một trong các lớp cấu tạo nên kết cấu composite bị phá huỷ. Với quan điểm này ta có các bước phân tích phá huỷ kết cấu như sau:

- Từ các thông số về vật liệu, kích thước hình học ta thiết lập công thức tính ma trận độ cứng của kết cấu.
- Cho tấm chịu một tải trọng bất kỳ là P_o nào đó.
- Áp đặt điều kiện biên phù hợp và tính toán tìm chuyển vị nút của các phần tử.
- Từ chuyển vị nút các phần tử tính toán các thành phần ứng suất tại các nút trên tất cả các lớp của tất cả các phần tử.
- Áp dụng các tiêu chuẩn bền kiểm tra độ bền của kết cấu.
- Nếu một lớp nào đó bị phá huỷ thì dừng tính toán và tải trọng tương ứng sẽ là tải trọng phá huỷ; nếu có hơn một lớp thỏa mãn điều kiện phá huỷ thì giảm P_o đi một lượng ΔP; nếu không có lớp nào thoả mãn điều kiện phá huỷ thì tăng P_o lên một lượng ΔP và quay lại bước tính toán chuyển vị nút trên tất cả các phần tử.

3.8.2. Phân tích phá huỷ tăng tiến

Theo quan điểm này thì kết cấu composite được cho là bị phá huỷ chỉ khi tất cả các lớp cấu tạo nên kết cấu composite đều bị phá huỷ. Với quan điểm này cũng có hai tiếp cận:

- Loại bỏ hoàn toàn cơ tính của lớp bị phá huỷ ($E_1 = E_2 = G_{12} = \upsilon_{12} = \ldots = 0$), các lớp khác không thay đổi trước khi tính toán tải trọng phá huỷ cho các lớp tiếp theo.
- Tìm ra cơ chế phá huỷ và loại bỏ cơ tính tương ứng với cơ chế phá huỷ của lớp bị phá huỷ, các thành phần cơ tính khác của lớp bị phá huỷ và các lớp khác không thay đổi trước khi tính toán tải trọng phá huỷ cho các lớp tiếp theo. Cụ thể như sau:
  - ✓ Nếu phá huỷ vật liệu nền: cho $E_2=0$, các thành phần khác như E_1, G_{12},…$\neq 0$.
  - ✓ Nếu phá huỷ do cắt trong mặt phẳng: Cho $G_{12}=0$, các thành phần khác như E_1, E_2,…$\neq 0$.
  - ✓ Nếu phá huỷ sợi: cho tất cả các thành phần $E_1=0$, $E_2=0$, $G_{12}=0$ và $\upsilon_{12}=0$.

Từ đó ta có:

- ***Các bước phân tích phá huỷ tăng tiến kết cấu composite theo tiếp cận loại bỏ hoàn toàn cơ tính của lớp bị phá huỷ***:
  - Từ các thông số về vật liệu, kích thước hình học ta thiết lập công thức tính ma trận độ cứng của kết cấu.
  - Cho tấm chịu một tải trọng bất kỳ là P_o nào đó.
  - Áp đặt điều kiện biên phù hợp và tính toán tìm chuyển vị nút của các phần tử.
  - Từ chuyển vị nút các phần tử, tính toán các thành phần ứng suất trên tất cả các lớp của tất cả các phần tử.
  - Áp dụng các tiêu chuẩn bền kiểm tra độ bền của kết cấu.
  - Nếu có duy nhất một lớp nào đó bị phá huỷ thì cho tất cả các hằng số vật liệu của lớp bị phá huỷ bằng không, sau đó tăng tải trọng lên một lượng ΔP rồi tính toán lại từ bước tính ma trận độ cứng kết cấu cho đến khi tất cả các lớp bị phá huỷ, lúc đó ta tìm được tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng và đây cũng là tải trọng lớn nhất mà kết cấu có thể chịu được.
- ***Các bước phân tích phá huỷ tăng tiến kết cấu composite theo tiếp cận loại bỏ cơ tính của lớp bị phá huỷ theo cơ chế phá huỷ***:
  - Từ các thông số về vật liệu, kích thước hình học ta thiết lập công thức tính ma trận độ cứng của kết cấu.
  - Cho tấm chịu một tải trọng bất kỳ là P_o nào đó.
  - Áp đặt điều kiện biên phù hợp và tính toán tìm chuyển vị nút của các phần tử.

- Từ chuyển vị nút các phần tử, tính toán các thành phần ứng suất trên tất cả các lớp của tất cả các phần tử.
- Áp dụng các tiêu chuẩn bền kiểm tra độ bền của kết cấu.
- Nếu có duy nhất một lớp nào đó bị phá huỷ, áp dụng tiêu chuẩn bền **Ứng suất lớn nhất** tìm ra cơ chế phá huỷ của lớp bị phá huỷ. Sau khi có được cơ chế phá huỷ, cho các hằng số vật liệu tương ứng với cơ chế phá huỷ của lớp bị phá huỷ bằng không (như đã trình bày trên), các thành phần cơ tính khác của lớp bị phá huỷ và các lớp khác không thay đổi. Tăng tải trọng thêm một lượng ΔP rồi tính toán lại từ bước tính ma trận độ cứng kết cấu cho đến khi tất cả các lớp bị phá huỷ, lúc đó ta tìm được tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng và đây cũng là tải trọng lớn nhất mà kết cấu có thể chịu được.

3.9. Kết luận chương 3

- Trên cơ sở các hệ thức tính toán tấm và dầm composite lớp dựa trên trường chuyển vị bậc ba của Reddy đã trình bầy trong chương 2, chương 3 luận án đã xây dựng được công thức ma trận độ cứng phần tử, ma trận khối lượng phần tử tấm và phần tử gân.
- Từ các giả thiết liên kết giữa tấm và gân là ***liên kết lý tưởng***, chuyển vị tại ***mặt dưới của tấm*** bằng với chuyển vị tại ***mặt trên của gân***, chương 3 luận án đã thiết lập được thuật toán ghép nối ma trận độ cứng và ma trận khối lượng của phần tử gân vào phần tử tấm để tạo nên ma trận độ cứng và ma trận khối lượng phần tử tấm-gân. Gân có thể nằm ở vị trí bất kỳ và xoay một góc bất kỳ trong phần tử tấm. Đây là một đóng góp mới của luận án trong nghiên cứu tính toán kết cấu tấm composite lớp có gân gia cường.
- Với bài toán bền đối với kết cấu composite, hiện nay đang có hai quan điểm tính: Tính tải trọng phá huỷ lớp đầu tiên và tính tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng. Quan điểm thứ nhất cho rằng kết cấu composite bị phá huỷ khi có một lớp nào đó bị phá huỷ. Quan điểm thứ hai cho rằng kết cấu composite chỉ bị phá huỷ khi tất cả các lớp đều bị phá huỷ. Với quan điểm thứ hai cũng có hai tiếp cận. Tiếp cận thứ nhất: nếu một lớp nào đó bị phá huỷ thì loại bỏ hoàn toàn cơ tính của lớp đó và xác định tải trọng phá huỷ tiếp theo. Tiếp cận thứ hai: nếu một lớp nào đó bị phá huỷ thì tìm cơ chế phá huỷ của lớp đó và loại bỏ các thành phần cơ tính tương ứng với cơ chế phá huỷ đó, các thành phần cơ tính khác của lớp bị phá huỷ và các lớp không bị phá huỷ không thay đổi và xác định tải trọng phá huỷ tiếp theo. Luận án đã thiết lập lưu đồ thuật toán giải bài toán bền theo cả hai quan điểm và các tiếp cận nói trên.

Chương 4: KẾT QUẢ SỐ BẰNG PHƯƠNG PHÁP PTHH

4.1. Giới thiệu

Từ các thuật toán trong chương 3, luận án tiến hành xây dựng chương trình tính toán bài toán tĩnh, bài toán động và bài toán bền kết cấu tấm composite có gân gia cường bằng ngôn ngữ Matlab. Trong chương bốn, luận án sẽ sử dụng chương trình đó để khảo sát một số bài toán tĩnh, bài toán động và bài toán bền của kết cấu tấm composite có gân gia cường với các dạng mặt cắt gân khác nhau chịu các điều kiện biên và tải trọng khác nhau.

4.2. Bài toán tĩnh

4.2.1. Bài toán 1: Kiểm tra độ tin cậy của thuật toán và chương trình

Để kiểm chứng độ tin cậy của thuật toán và chương trình, luận án đã so sánh kết quả tính toán với kết quả đã công bố của tác giả Kolli đối với bài toán tĩnh và so sánh với kết quả tính tần số dao động riêng của kết cấu tấm gân với kết quả của tác giả Dong Min-Lee. Kết quả cho thấy độ tin cậy của thuật toán và chương trình.

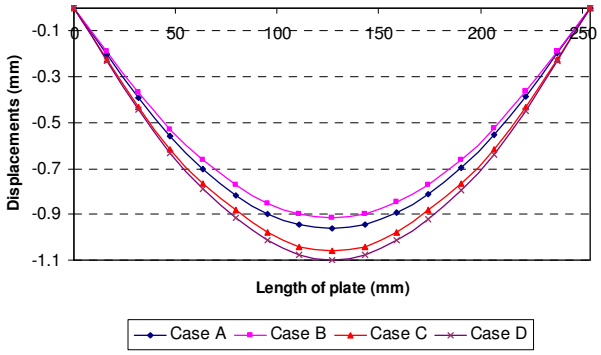
Kết quả tính toán độ võng của tấm được gia cường bởi hai gân vuông góc nhau tại giữa tấm được so sánh với kết quả tính toán bởi Kolli trong bảng 4.3.

Bảng 4.3. Độ võng tại giữa tấm của tấm composite lớp có hai gân gia cường vuông góc tại giữa tấm.

Điều kiện biên	Độ võng tại giữa tấm (mm)					
	$[0^0/90^0]$			$[45^0/-45^0]$		
	Kolli	**Luận án**	*Chênh lệch (%)*	Kolli	**Luận án**	*Chênh lệch (%)*
Tựa bản lề bốn cạnh	0.91186	**0.929**	*1.88%*	1.3117	**1.335**	*1.76%*
Ngàm bốn cạnh	0.3700	**0.374**	*1.09%*	0.4415	**0.446**	*1.03%*
Hai cạnh tựa bản lề, hai cạnh ngàm	0.5748	**0.584**	*1.55%*	0.6850	**0.695**	*1.48%*

4.2.2. Bài toán 2: Ảnh hưởng của vị trí gân đến độ võng

Để xét ảnh hưởng của vị trí gân đến độ võng của tấm-gân, luận án xét tấm chịu tải trọng phân bố đều với các trường hợp có hai gân gia cường vuông góc nhau tại giữa tấm và trường hợp hai gân gia cường song song nhau. Kết quả được thể hiện trong biểu đồ



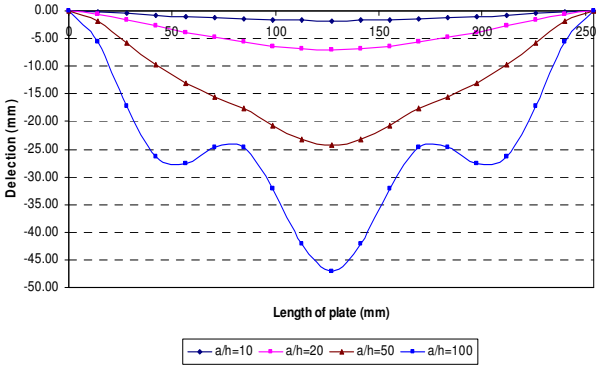
Hình 4.6. Độ võng của tấm composite có gân gia cường.

Nhận xét:

- Từ hình 4.6 ta thấy khi chịu cùng một tải trọng và điều kiện biên như nhau, độ võng của tấm có hai gân gia cường song song nhau lớn hơn độ võng của tấm có hai gân gia cường vuông góc nhau tại giữa tấm. Với tấm có hai gân gia cường song song nhau thì độ võng của tấm-gân có cấu hình $[0^0/45^0/45^0/0^0]$ nhỏ hơn độ võng của tấm-gân có cấu hình $[0^0/90^0/90^0/0^0]$ nhưng trong trường hợp hai gân gia cường vuông góc nhau thì độ võng của tấm-gân có cấu hình $[0^0/90^0/90^0/0^0]$ lại nhỏ hơn so với tấm-gân có cấu hình $[0^0/45^0/45^0/0^0]$.
- Vị trí của gân và cấu hình có ảnh hưởng đáng kể tới độ võng của tấm composite có gân gia cường.

4.2.3. Bài toán 3: Ảnh hưởng của tỷ số a/h đến độ võng của tấm gân

Tỷ số a/h thể hiện độ dầy mỏng của tấm, trong bài toán 3, luận án xét ảnh hưởng của tỷ số a/h với các trường hợp a/h=10, 20, 50, 100 đến độ võng của tấm composite có hai gân gia cường song song nhau.



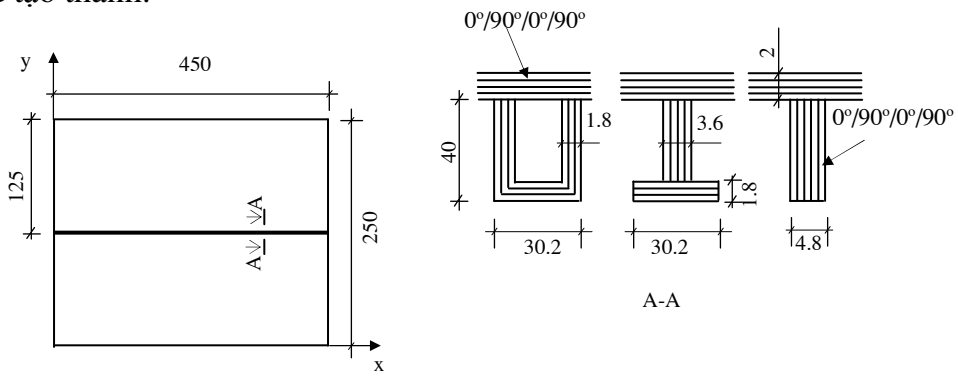
Hình 4.7. Ảnh hưởng của tỷ số a/h đến độ võng của kết cấu tấm-gân.

Nhận xét:

- Từ hình 4.7 ta thấy tỷ số a/h có ảnh hưởng lớn tới độ võng của tấm composite có gân gia cường. Tấm-gân có tỷ số a/h càng lớn thì độ võng càng lớn.
- Đối với các tấm càng mỏng thì ảnh hưởng của gân đến độ võng càng thể hiện rõ hơn, tại các vị trí có gân gia cường đường cong độ võng bị gãy khúc lớn hơn.
- Mô hình dựa trên lý thuyết chuyển vị bậc ba thiếu của luận án cho kết quả tốt với cả tấm mỏng và tấm dầy.

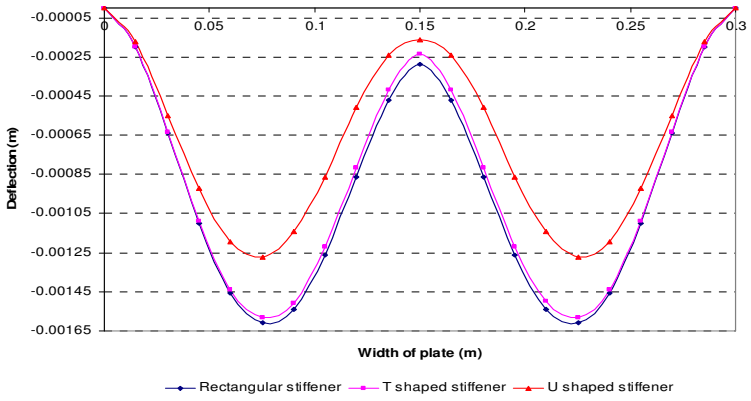
4.2.4. Bài toán 4: Ảnh hưởng của mặt cắt gân đến độ võng của tấm-gân

Để khảo sát ảnh hưởng của mặt cắt ngang của gân đến độ võng của kết cấu tấm-gân, luận án xét các tấm composite được gia cường bởi các gân có hình dạng mặt cắt ngang khác nhau là chữ T, chữ U và chữ nhật nhưng có cùng diện tích và chiều cao tức là có cùng khối lượng vật liệu tạo thành.



Hình 4.8. Tấm composite được gia cường bởi các gân có mặt cắt khác nhau.

Kết quả tính toán độ võng tại đường giữa tấm và song song với trục Oy (đường BC) với lưới phần tử 8x6 được thể hiện trong hình 4.13.



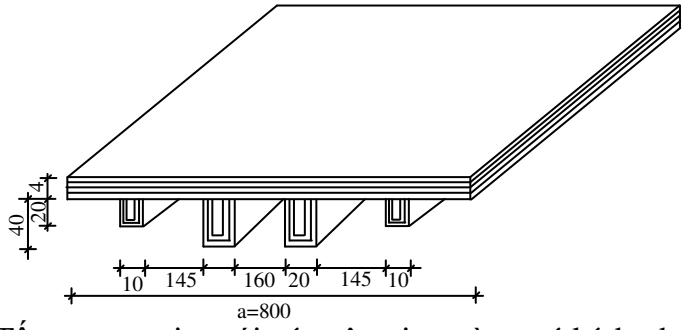
Hình 4.13. Độ võng tại đường giữa tấm có gân song song với trục *Ox*.

Nhận xét:

- Với kích thước kết cấu tấm-gân, cấu hình và vật liệu xét trong bài toán 4, dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều q = -4500N/m^2, độ võng của kết cấu tấm-gân với gân gia cường có mặt cắt chữ nhật lớn hơn độ võng của kết cấu tấm-gân với gân có mặt cắt ngang hình chữ T và chữ U. Độ võng lớn nhất của tấm có gân chữ nhật lớn hơn độ võng lớn nhất của tấm có gân chữ U khoảng 26.7%.
- Như vậy, hình dạng mặt cắt ngang của gân có ảnh hưởng lớn tới khả năng chịu tải trọng của kết cấu tấm-gân, điều đó cho thấy với cùng một lượng vật liệu tạo thành, kết cấu có thiết kế hợp lý hơn sẽ có khả năng chịu tải trọng cao hơn.

4.2.5. Bài toán 5: Tính toán độ võng và ứng suất trong kết cấu tấm composite được gia cường bởi các gân có kích thước khác nhau phân bố không đều trong tấm

Trong bài toán này, luận án tính toán tần độ võng và ứng suất của kết cấu tấm composite được gia cường bởi các gân có kích thước khác nhau, đây cũng là một dạng kết cấu tấm-gân hay được sử dụng trong thực tế chẳng hạn như bệ máy đáy tầu.

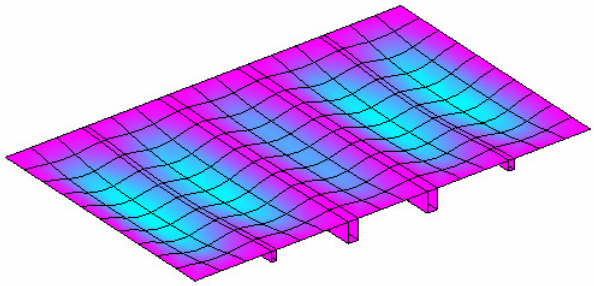


Hình 4.14. Tấm composite với các gân gia cường có kích thước khác nhau.

Bảng 4.4. Kết quả tính độ võng và ứng suất tấm-gân.

Độ võng lớn nhất	σ_x max	σ_y max	τ_{xy} max
mm	N/m^2	N/m^2	N/m^2
3.02	11.787E+6	13.49E+6	5.29E+6

Độ võng của cả tấm-gân được thể hiện trong hình vẽ sau đây:



Hình 4.16. Độ võng của tấm-gân với các gân có kích thước khác nhau.

Nhận xét:

- Kết quả tính toán độ võng, ứng suất được thể hiện trong bảng 4.4 và hình 4.16 cho thấy mô hình và chương trình tính của luận án có thể tính toán được với các kết cấu tấm composite được gia cường bởi các gân có kích thước khác nhau, phân bố không đều nhau trong tấm điều mà phương pháp giải tích không làm được.
- Hình 4.16 cũng cho thấy khi chịu tải trọng phân bố đều hai bên của tấm vùng được gia cường bởi hai gân nhỏ có độ võng lớn hơn tại giữa tấm là vùng được gia cường bởi hai gân có kích thước lớn hơn (vùng lắp đặt máy trong kết cấu bệ máy đáy tàu).

4.2.6. Bài toán 6: Tính toán ứng suất trong tấm composite có gân gia cường

Khi phân tích, tính toán tấm composite có gân gia cường, phương pháp giải tích qui đổi kết cấu tấm-gân thành kết cấu tấm có độ cứng tương đương không xác định độ dầy nên không tính toán ứng suất trong tấm và trong gân được. Trong bài toán 6, luận án khảo sát, tính toán ứng suất trong tấm và trong gân, đây cũng là một ưu điểm của phương pháp phần tử hữu hạn so với phương pháp giải tích. Từ kết quả tính toán ứng suất tại một điểm bất kỳ trong kết cấu tấm-gân, luận án phát triển để tính toán cho bài toán bền ở các bài toán 13, 14.

4.3. Bài toán động

4.3.1. Bài toán 7: Kiểm tra độ tin cậy của thuật toán và chương trình đối với bài toán động

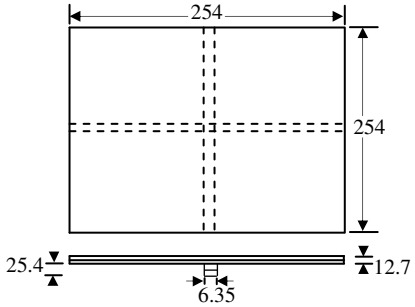
Để kiểm chứng độ tin cậy của thuật toán và chương trình đối với bài toán dao động tự do, luận án đã so sánh kết quả tính toán với kết quả đã công bố của tác giả Dong Min-Lee, các kết quả tính toán tần số dao động riêng cũng cho thấy độ tin cậy của thuật toán và chương trình.

Kết quả tính toán tần số dao động riêng của tấm được gia cường bởi 1 gân song song với truc *Ox* với lưới phần tử 8x6 (sau một số bước tính toán với các lưới phần tử khác nhau, lưới 8x6 đã cho kết quả hội tụ) được so sánh với kết quả tính toán của Dong Min-Lee trong bảng 4.5.

Bảng 4.5. Tần số dao động riêng của tấm composite có 1 gân gia cường.

Loại gân	Mặt cắt gân b_{st} x d_{st}	Tác giả	5 tần số đầu tiên (Hz)				
			1	2	3	4	5
1	0x0	Dong-Min Lee	85.1	134.0	207.4	216.1	252.5
		Luận án	**85.1**	**134.1**	**207.9**	**216.5**	**253.1**
		Chênh lệch	*0%*	*0.07%*	*0.24%*	*0.18%*	*0.23%*
2	1.56x4.5	Dong-Min Lee	108.3	207.3	214.9	252.3	329.2
		Luận án	**107.7**	**205.1**	**211.9**	**249.9**	**326.1**
		Chênh lệch	*-0.55%*	*-1.07%*	*-1.41%*	*-0.96%*	*-0.95%*
3	2.06x7.5	Dong-Min Lee	170.6	209.2	257.7	292.9	338.4
		Luận án	**168.4**	**207.2**	**255.4**	**287.9**	**335.5**
		Chênh lệch	*-1.31%*	*-0.96%*	*-0.90%*	*-1.73%*	*-0.86%*
4	3.64x10.5	Dong-Min Lee	213.8	229.4	270.2	313.8	354.0
		Luận án	**212.2**	**225.3**	**268.8**	**308.6**	**352.0**
		Chênh lệch	*-0.75%*	*-1.82%*	*-0.52%*	*-1.68%*	*-0.56%*
5	5.20x15.0	Dong-Min Lee	227.8	270.2	294.5	321.8	373.7
		Luận án	**228.4**	**263.4**	**293.7**	**316.1**	**371.5**
		Chênh lệch	*0.26%*	*-2.58%*	*-0.27%*	*-1.8%*	*-0.59%*

4.3.2. Bài toán 8: Ảnh hưởng của điều kiện biên đến tần số dao động riêng



Hình 4.21. Tấm composite có 2 gân gia cường vuông góc.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện biên đến tần số dao động riêng của kết cấu tấm-gân, luận án tính toán tần số dao động riêng của kết cấu tấm composite được gia cường bởi hai gân vuông góc tại giữa tấm (hình 4.21) và chịu các loại điều kiện biên: bốn cạnh ngàm; hai cạnh ngàm, hai cạnh tự do; bốn cạnh tựa bản lề.

Kết quả tính toán tần số dao động riêng với lưới 8x8 phần tử đối với tấm trên trong các điều kiện biên khác nhau được so sánh với kết quả của các tác giả khác trong bảng 4.6.

Bảng 4.6. Tần số dao động riêng của tấm composite có 2 gân gia cường vuông góc.

Điều kiện biên	Dạng dao động	[74]	[24]	[66]	FSDT - Luận án	HSDT - Luận án	Chênh lệch giữa (7) và (5)	Chênh lệch giữa (7) và (6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Tựa bản lề 4 cạnh	1	1076.0	961.81	1092.64	1053.6	1039.8	-3.71%	-5.08%
	2	2059.6	1954.41	1837.04	2083.7	2099.3	11.84%	12.49%
	3	2302.7	2325.41	2491.85	2327.6	2346.5	-7.06%	-6.19%
	4	2635.8	2641.18	2654.51	2556.9	2492.5	-3.82%	-6.5%
Ngàm 4	1	1666.5	1583.50	1753.79	1609.5	1559.4	-8.96%	12.47%

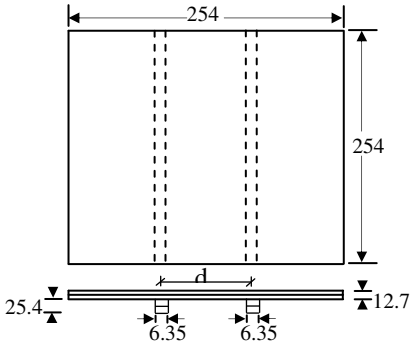
cạnh	2	2929.2	2831.53	2716.65	2926.3	2924.0	7.16%	7.09%
	3	3140.1	3165.27	3319.93	3141.2	3141.8	-5.69%	-5.67%
	4	3666.3	3634.62	3686.53	3639.2	3618.5	-1.30%	-1.88%
Hai cạnh ngàm, hai cạnh tự do	1	1445.8	1342.1	1468.82	1427.5	1413.5	-2.89%	-3.91%
	2	2107.7	2101.6	2029.11	2083.9	2065.8	2.63%	1.78%
	3	3054.0	3024.58	3074.45	2896.7	2763.7	-6.14%	11.24%
	4	3196.8	3211.27	3212.13	3209.9	3220.2	-0.07%	0.25%

Nhận xét:

- Kết quả tính toán của luận án là gần gũi với các kết quả của các tác giả khác, chênh lệch lớn nhất là 11.84% tương ứng với tần số thứ 2 trong trường hợp tấm chịu điều kiện biên tựa bản lề 4 cạnh, điều này cho thấy độ tin cậy của thuật toán và chương trình.
- Điều kiện biên có ảnh hưởng rất lớn đến tần số dao động riêng của kết cấu tấm composite có gân gia cường, tấm có điều kiện biên tựa bản lề 4 cạnh có tần số nhỏ hơn rất nhiều so với tấm có điều kiện biên ngàm 4 cạnh.
- Mô hình dựa trên lý thuyết chuyển vị bậc cao cho kết quả tần số dao động riêng của tấm composite có gân gia cường thấp hơn tần số dao động riêng tính theo mô hình bậc nhất.

4.3.3. Bài toán 9: Ảnh hưởng của vị trí gân đến tần số dao động riêng

Việc bố trí các gân gia cường sao cho kết cấu tấm-gân có khả năng chịu tải trọng lớn nhất, tránh được các tình trạng bất lợi có ý nghĩa rất quan trọng trong thực tế ứng dụng. Trong bài toán 9, luận án khảo sát ảnh hưởng của vị trí của các gân gia cường đến tần số dao động riêng của kết cấu tấm-gân.



Hình 4.22. Tấm composite được gia cường bởi 2 gân song song.

Kết quả tính toán tần số dao động riêng với lưới 8x8 phần tử được thể hiện trong bảng 4.7.

Bảng 4.7. Tần số dao động riêng của tấm có 2 gân song song.

d/a_t	Tần số (Hz)			
	1	2	3	4
0.2	1913.6	2765.3	3721.2	3973.3
0.4	1729.2	2871.9	3360.6	4378.7
0.6	1510.6	2798.9	2922.9	4163.6
0.8	1407.6	2698.7	2730.9	3746.0

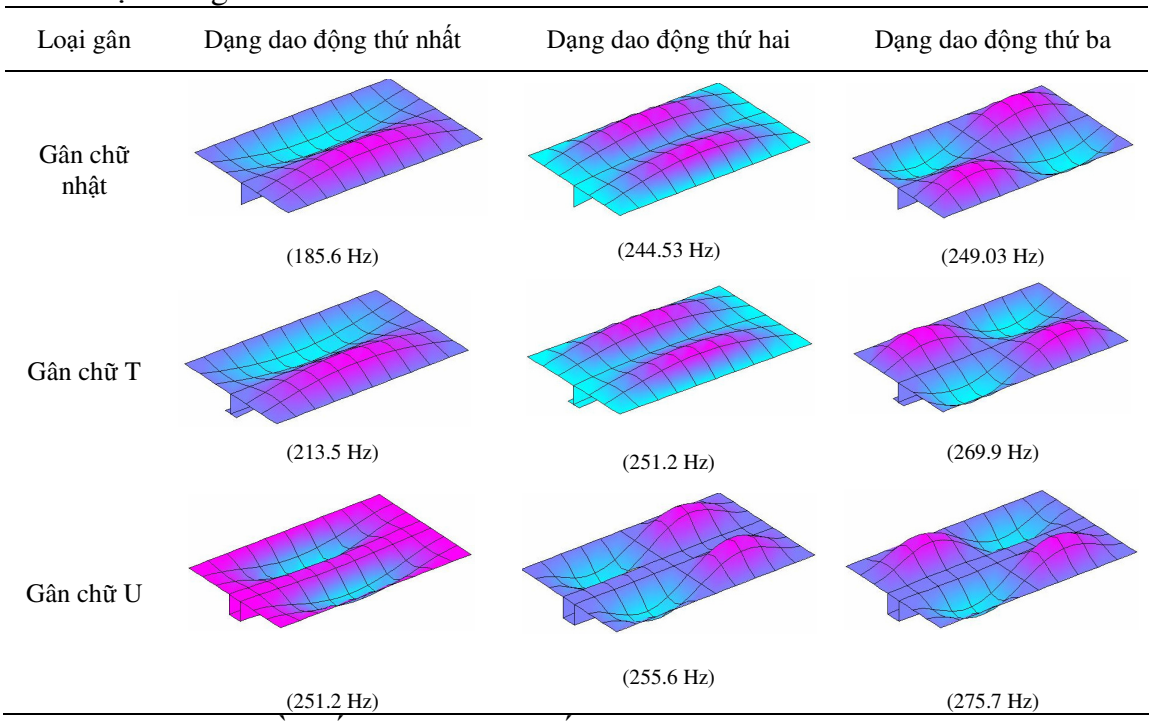
Nhận xét:

Kết quả tính trong bảng 4.7 cho thấy vị trí của gân gia cường ảnh hưởng đến tần số dao động riêng của kết cấu tấm gân. Với khoảng cách d/a_t=0.2 thì tần số thứ nhất của kết cấu là lớn nhất, khi hai gân dịch dần sát ra cạnh tấm d/a_t=0.4, 0.6, 0.8 thì tần số thứ nhất cũng nhỏ dần, tuy nhiên đối với các tần số khác thì không tuân theo qui luật này.

4.3.4. Bài toán 10: Ảnh hưởng của mặt cắt gân đến tần số dao động riêng

Trong bài toán 10, luận án khảo sát ảnh hưởng của mặt cắt ngang của gân đến tần số dao động riêng của kết cấu tấm gân. Ở đây xét 3 kết cấu tấm-gân với 3 dạng mặt cắt gân khác nhau là chữ nhật, chữ T và chữ U, diện tích mặt cắt ngang và chiều cao của 3 loại gân là bằng nhau, do đó khối lượng vật liệu cấu tạo của 3 kết cấu tấm-gân là bằng nhau.

Tần số dao động riêng của các kết cấu tấm-gân trên được tính toán với lưới phần tử 8x6 và thể hiện trong hình 4.24.



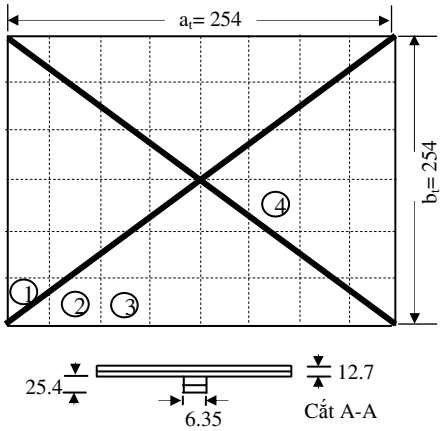
Hình 4.24. Tần số dao động của tấm composite có gân gia cường với các dạng mặt cắt khác nhau, ngàm 4 cạnh.

Nhận xét:

- Từ hình 4.24 ta thấy dạng dao động của tấm với gân gia cường có mặt cắt chữ U khác với dạng dao động của tấm với gân gia cường có mặt cắt chữ T và chữ nhật.
- Với cùng khối lượng vật liệu cấu tạo nên tấm-gân, tần số dao động thứ nhất của tấm có gân gia cường mặt cắt chữ U là lớn nhất, lớn hơn 35.34% so với tần số của tấm có gân chữ nhật, và 17.66% so với tần số của tấm có gân chữ T.
- Hình dạng mặt cắt gân có ảnh hưởng lớn đến mode và tần số dao động của kết cấu tấm composite có gân gia cường.

4.3.5. Bài toán 11: Tần số dao động riêng của tấm composite có hai gân gia cường theo đường chéo của tấm

Như đã khảo sát và nhận xét trong chương 1, hầu hết các mô hình của các tác giả đã công bố chỉ cho phép tính toán với các kết cấu tấm-gân với các gân nằm song song với các cạnh của tấm hoặc nút của phần tử gân phải trùng với nút của phần tử tấm. Mô hình của luận án cho phép tính toán các kết cấu tấm-gân, gân nằm ở vị trí bất kỳ và xoay một góc bất kỳ trong tấm, các nút của gân không trùng với nút của tấm. Trong bài toán 11, luận án tính toán tần số dao động của tấm composite được gia cường bởi hai gân theo đường chéo của tấm (hình 4.25).



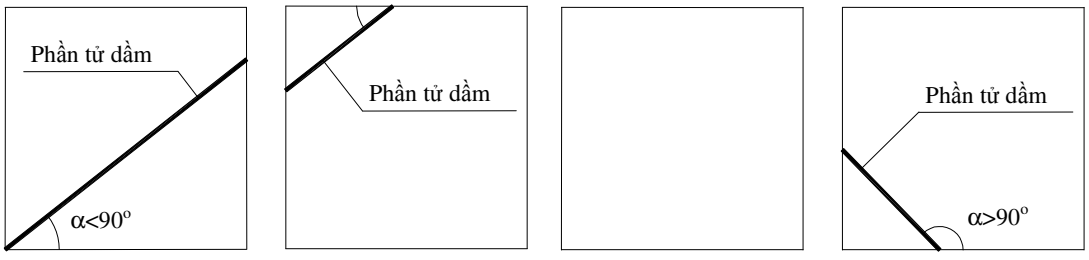
Hình 4.25. Tấm composite được gia cường bởi 2 gân theo đường chéo.

- Kích thước tấm: $a = b = 254$mm, $h_t = 12.7$mm.
- Cấu hình: Tấm gồm 4 lớp $[0^0/90^0/90^0/0^0]$ có độ dầy bằng nhau.
- Vật liệu: Tấm và gân được làm bằng graphite/epoxy có các hằng số vật liệu: E_1=144.8Gpa; E_2=9.67Gpa; $G_{12}=G_{13}$=4.14Gpa; G_{23}=3.45Gpa; υ_{12}=0.3; ρ=kg/m^3.
- Kích thước gân: gân được gia cường theo đường chéo của tấm; chiều cao d_g = 25.4mm; chiều rộng b_g = 6.35mm (hình 4.21).
- Tấm-gân chịu điều kiện biên ngàm 4 cạnh.

Với lưới phần tử 8x6 như trong hình 4.21, ta thấy mô hình tính xuất hiện 4 loại phần tử:

- ✓ Phần tử tấm chứa phần tử gân đi qua một nút và cắt một cạnh của phần tử tấm (1) tạo một góc nhọn so với trục *Ox*.
- ✓ Phần tử tấm chứa phần tử gân cắt hai cạnh của phần tử tấm (2).
- ✓ Phần tử tấm không chứa phần tử gân (3).
- ✓ Phần tử tấm chứa phần tử gân tạo một góc tù so với trục *Ox* (4)

Các loại phần tử này được thể hiện trong hình 4.26 dưới đây:



Hình 4.26. Các loại phần tử tấm-gân

Kết quả tính toán tần số dao động riêng của kết cấu với lưới phần tử 8x6 trên được so sánh với kết quả tính toán tần số dao động riêng của tấm có hai gân vuông góc với nhau tại giữa tấm (bài toán 8) và hai gân song song nhau (bài toán 9) trong bảng 4.8 sau:

Bảng 4.8. Tần số dao động riêng của tấm có 2 gân gia cường ở các vị trí khác nhau.

Tấm gân	Tần số (Hz)		
	1	2	3
2 gân chéo nhau (1)	1374.4	2701.0	2701.0
2 gân vuông góc (2)	1559.4	2924.0	3141.8
2 gân song song (3) (d/a=0.6)	1510.6	2798.9	2922.9

Nhận xét:

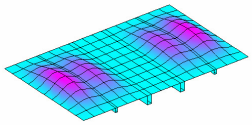
- Từ hình 4.25 và 4.26 nhận thấy mô hình của luận án cho phép tính toán với các trường hợp phần tử gân nằm bất kỳ trong phần tử tấm.

- Từ bảng kết quả 4.8 và đồ thị trong hình 4.27 cho thấy tần số dao động riêng của kết cấu tấm được gia cường bởi hai gân theo đường chéo của tấm nhỏ hơn tần số dao động riêng của kết cấu tấm có hai gân song song hoặc vuông góc với nhau tại giữa tấm mặc dù chiều dài và khối lượng vật liệu cấu tạo của hai gân theo đường chéo là lớn hơn hai gân song song hoặc vuông góc nhau tại giữa tấm.

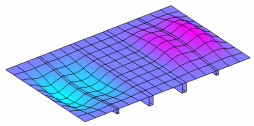
4.3.6. Bài toán 12: Tần số dao động riêng của kết cấu tấm composite với các gân có kích thước khác nhau, phân bố không đều trong tấm

Trong bài toán 5, luận án đã thực hiện tính toán bài toán tĩnh đối với kết cấu tấm-gân được gia cường bởi các gân có kích thước khác nhau, phân bố không đều trong không gian tấm. Trong bài toán 12, luận án sử dụng kích thước và vật liệu của kết cấu tấm-gân trong bài toán 5 để tính toán tần số dao động riêng.

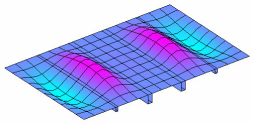
Kết quả tính toán tần số dao động riêng và dạng dao động của kết cấu tấm-gân nói trên được thể hiện trong hình 4.28 sau:



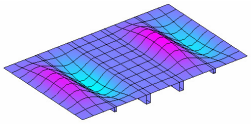
Dạng dao động thứ nhất, f_1=132.14



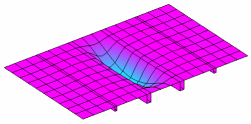
Dạng dao động thứ hai, f_2=132.15



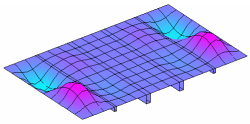
Dạng dao động thứ ba, f_3=141.86



Dạng dao động thứ tư, f_4=141.90



Dạng dao động thứ năm, f_5=167.76



Dạng dao động thứ sáu, f_6=169.20

Hình 4.28. Dạng dao động và tần số dao động riêng của tấm composite được gia cường bởi các gân có kích thước mặt cắt ngang khác nhau.

Nhận xét:

- Kết quả tính toán tần số dao động riêng và dạng dao động riêng trong bài toán 12 một lần nữa khẳng định mô hình của luận án tính toán được các bài toán tĩnh và động đối với kết cấu tấm composite được gia cường bởi các gân có kích thước khác nhau, phân bố không đều nhau trong tấm.
- Từ kết quả trong hình 4.28 cho thấy với việc bố trí hai gân to ở giữa, hai gân nhỏ ở hai bên thì các tần số tương ứng với dạng dao động riêng thứ nhất và thứ hai; thứ ba và thứ tư là xấp xỉ nhau, các dạng dao động riêng này xảy ra ở vùng chứa các gân nhỏ của tấm.

4.4. Tính toán bài toán bền

4.4.1. Bài toán 13: Tải trọng phá huỷ uốn của tấm composite có gân gia cường theo tiếp cận loại bỏ hoàn toàn cơ tính (hằng số vật liệu) của lớp bị phá huỷ ra khỏi kết cấu

Trong bài toán 13, luận án khảo sát tính toán tải trọng phá huỷ uốn của kết cấu tấm-gân theo cả hai quan điểm: tải trọng phá huỷ lớp đầu tiên và tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng. Với cách tính toán tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng trong bài toán này, luận án giải theo tiếp cận sẽ loại bỏ hoàn toàn các hằng số vật liệu của lớp bị phá huỷ.

Bảng 4.9. Tải trọng phá huỷ lớp đầu tiên và tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng của kết cấu tấm composite có gân gia cường(MPa).

Tiêu chuẩn	Ứng suất lớn nhất	Tsai-Wu	Vị trí	Lớp
Tải trọng phá huỷ lớp đầu tiên	0.252	0.254	Song song với trục *Oy*	1 (đáy)
Tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng	0.415	0.415		1, 8, 6, 4 (đỉnh, đáy, đỉnh)

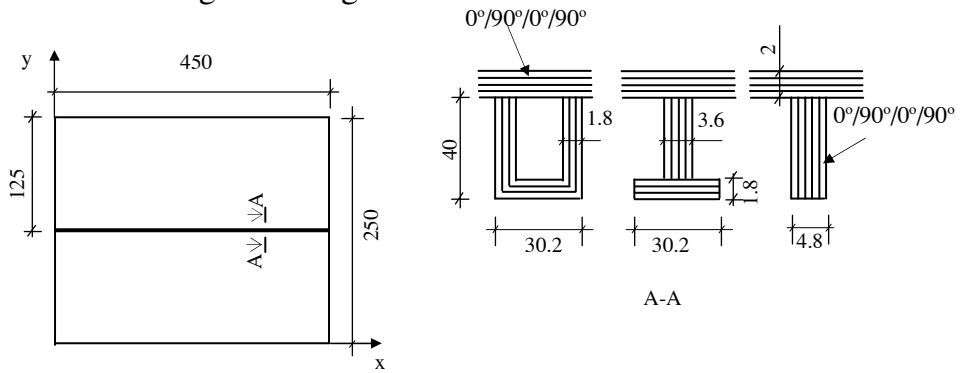
Nhận xét:

- Từ bảng kết quả 4.9 ta nhận thấy tải trọng phá huỷ uốn của kết cấu tấm-gân tính theo quan điểm phá huỷ lớp đầu tiên chỉ bằng 60.7% so với tải trọng phá huỷ uốn khi tính theo quan điểm phá huỷ đến lớp cuối cùng.
- Như vậy ta có thể nhận thấy sau khi lớp đầu tiên bị phá huỷ, kết cấu tấm-gân composite chưa bị phá huỷ ngay, chúng vẫn còn khả năng làm việc và chịu thêm tải trọng cho đến khi lớp cuối cùng bị phá huỷ.

4.4.2. Bài toán 14: Tải trọng phá huỷ uốn của tấm composite có gân gia cường với các mặt cắt gân khác nhau theo cách tiếp cận loại bỏ từng phần cơ tính của lớp bị phá huỷ tuỳ theo cơ chế phá huỷ của lớp đó.

Trong bài toán 14 này luận án tính toán lực phá huỷ lớp cuối cùng theo cách tiếp cận loại bỏ từng phần các thành phần cơ tính của lớp bị phá huỷ tuỳ theo cơ chế phá huỷ của lớp đó.

Xét 3 kết cấu tấm-gân với 3 dạng mặt cắt ngang khác nhau là chữ nhật, chữ T và chữ U (hình 4.31), diện tích mặt cắt ngang của 3 loại gân là bằng nhau, do đó khối lượng vật liệu cấu tạo của 3 kết cấu tấm-gân là bằng nhau.



Hình 4.31. Tấm composite được gia cường bởi các gân có mặt cắt ngang khác nhau.

Bảng 4.10. Hằng số vật liệu của tấm composite lớp có gân gia cường.

Hằng số	Giá trị (Mpa)	Hằng số	Giá trị (Mpa)
E_{1t}	10580	E_{1g}	4807
E_{2t}	2640	E_{2g}	4807
G_{12t}	1020	G_{12g}	2054
G_{23t}	528	G_{23g}	961
υ_{12t}	0.19	υ_{12g}	0.17
ρ_t	1600kg/m^3	ρ_g	1400kg/m^3
X_{kt}	381.0	X_{kg}	78.8
X_{nt}	271.6	X_{ng}	142.9
Y_{kt}	40.0	Y_{kg}	78.8
Y_{nt}	95.0	Y_{ng}	84.7
T_t	20.0	T_g	25.0
St	20.0	S_g	25.0
Rt	145.2	R_g	69.4

Tấm-gân chịu tải trọng phân bố đều trong các điều kiện biên khác nhau. Kết quả tính lực phá huỷ lớp đầu tiên và lực phá huỷ tăng tiến được thể hiện trong bảng 4.11.

Bảng 4.11. Lực phá huỷ lớp đầu tiên và lực phá huỷ lớp cuối cùng của tấm được gia cường bởi các gân có mặt cắt khác nhau.

Điều kiện biên		Tựa bản lề 4 cạnh			Ngàm 4 cạnh		
Loại gân		Chữ nhật	Chữ T	Chữ U	Chữ nhật	Chữ T	Chữ U
(1)	ƯSLN	0.4058	0.4126	0.4687	0.8010	0.8015	0.8724
	Tsai-Wu	0.4070	0.4139	0.4701	0.8100	0.8108	0.8864
(2)	ƯSLN	0.4830	0.5811	0.6601	1.0733	1.0419	1.1721
	Tsai-Wu	0.4830	0.5835	0.6621	1.1240	1.0562	1.1966
(3)	ƯSLN	0.5635	0.7675	0.7326	1.6314	1.7473	1.7241
	Tsai-Wu	0.5641	0.9200	0.7349	1.6365	2.0944	1.7300
Vị trí phá huỷ		Mặt trên lớp 4; mặt dưới lớp 1; giữa gân	Mặt trên lớp 4; mặt dưới lớp 1; giữa gân	Mặt trên lớp 4; mặt dưới lớp 1; cạnh gân	Mặt trên lớp 4; mặt dưới lớp 1; cạnh gân	Mặt trên lớp 4; mặt dưới lớp 1; giữa gân	Mặt trên lớp 4; mặt dưới lớp 1; cạnh gân

Ghi chú:

(1) - Phá huỷ lớp đầu tiên.

(2) - Phá huỷ lớp cuối cùng theo tiếp cận loại bỏ hoàn toàn cơ tính lớp phá huỷ.

(3) - Phá huỷ lớp cuối cùng theo tiếp cận loại bỏ từng phần cơ tính lớp phá huỷ.

Nhận xét:

- Từ bảng 4.11 cho thấy sau khi bị phá huỷ lớp đầu tiên tấm-gân vẫn tiếp tục làm việc và chịu thêm được tải trọng lớn hơn. Cụ thể trong trường hợp tấm chịu điều kiện biên tựa bản lề, tải trọng phá huỷ uốn tăng khoảng từ 38% đến 86%. Đối với trường hợp ngàm 4 cạnh thì tải trọng phá huỷ tăng lên là 110%.
- Tải trọng phá huỷ của tấm được gia cường bằng gân có mặt cắt chữ U lớn hơn tải trọng phá huỷ của tấm được gia cường bởi các gân chữ T và chữ nhật. Tải trọng phá huỷ của tấm-gân trong trường hợp chịu điều kiện biên ngàm bốn cạnh lớn xấp xỉ 2 lần tải trọng phá huỷ của tấm-gân khi chịu điều kiện biên bản lề bốn cạnh.
- Tải trọng phá huỷ tính theo tiếp cận loại bỏ hoàn toàn cơ tính của lớp bị phá huỷ lớn hơn tải trọng phá huỷ lớp đầu tiên nhưng nhỏ hơn so với tải trọng phá huỷ tính theo tiếp cận loại bỏ từng phần cơ tính tuỳ theo cơ chế phá huỷ của lớp bị phá huỷ, bằng 70% đối với kết cấu có gân mặt cắt ngang chữ U chịu điều kiện biên ngàm 4 cạnh.
- Kết cấu tấm-gân được gia cường bởi các gân có mặt cắt khác nhau có vị trí phá huỷ khác nhau.

4.5. Kết luận chương 4

Trong chương 4, luận án đã khảo sát, tính toán số các bài toán tĩnh, bài toán động và bài toán bền các kết cấu tấm composite được gia cường bởi các loại gân có hình dạng mặt cắt ngang khác nhau như mặt cắt chữ nhật, mặt cắt chữ T và mặt cắt chữ U. Từ các kết quả số, tác giả rút ra một số kết luận sau:

- Thuật toán và chương trình tính toán kết cấu tấm composite có gân gia cường của luận án có độ tin cậy cao khi giải các bài toán tĩnh, bài toán động và bài toán bền. Đối với bài toán tĩnh, luận án đã so sánh kết quả tính toán độ võng của tấm-gân với kết quả tính của Kolli cho sự chênh lệch lớn nhất là 1.88%; đối với bài toán dao động tự do, luận án đã so sánh kết quả tính toán tần số dao động riêng với kết quả tính toán của Dong Min-Lee cho thấy độ chênh lệch lớn nhất là -1.41%.
- Luận án đã khảo sát ảnh hưởng của vị trí gân đến độ võng và tần số dao động riêng của kết cấu tấm-gân, kết quả cho thấy với cùng một khối lượng vật liệu, tấm có hai gân gia

cường vuông góc với nhau tại giữa tấm có độ võng nhỏ và tần số dao động riêng lớn hơn tấm có gân gia cường song song.

- Luận án đã khảo sát ảnh hưởng của mặt cắt ngang của gân gia cường đến độ võng và tần số dao động riêng của kết cấu tấm-gân. Kết quả cũng chỉ ra rằng với các kết cấu tấm-gân có cùng khối lượng vật liệu tạo thành, kết cấu tấm được gia cường bởi gân có mặt cắt ngang hình chữ U cho độ võng nhỏ nhất, nhỏ bằng 83% độ võng của tấm có gân hình chữ nhật nhưng tần số dao động riêng lớn hơn 34.35% tần số của tấm có gân hình chữ nhật.
- Luận án đã tiến hành tính toán tần số dao động riêng của tấm composite được gia cường bởi hai gân theo đường chéo của tấm và tấm composite được gia cường bởi các gân có kích thước khác nhau. Đây là một ưu điểm của phương pháp phần tử hữu hạn trong khi phương pháp giải tích sẽ gặp rất nhiều khó khăn trong giải quyết loại bài toán này.
- Luận án đã tiến hành tính toán tải trọng uốn phá huỷ của kết cấu tấm composite có gân gia cường, các kết quả số cho thấy: sau khi lớp đầu tiên bị phá huỷ, kết cấu tấm-gân composite vẫn tiếp tục làm việc và vẫn có khả năng chịu thêm tải trọng. Tải trọng phá huỷ lớp cuối cùng lớn hơn 100% tải trọng phá huỷ lớp đầu tiên.

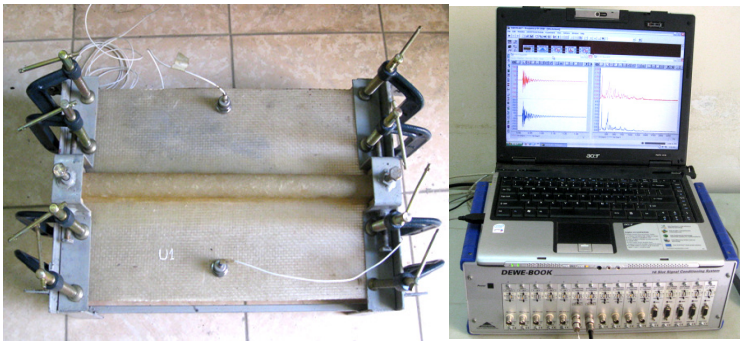
Chương 5: THỰC NGHIỆM VÀ ỨNG DỤNG

5.1. Giới thiệu

Để đánh giá kết quả tính toán số bằng phần tử hữu hạn đã trình bày trong các chương trước, chương năm của luận án trình bày kết quả thí nghiệm đo tần số dao động riêng của tấm composite với ba loại mặt cắt ngang khác nhau: mặt cắt chữ nhật, mặt cắt chữ T và mặt cắt chữ U. Diện tích mặt cắt ngang của ba loại gân trên là bằng nhau, tức là có cùng khối lượng vật liệu cấu tạo nên.

5.2. Thí nghiệm đo tần số dao động của tấm composite có gân gia cường

Mục này trình bày phương tiện thí nghiệm, đặc tính kỹ thuật của máy đo dao động. Mục 5.2.2 trình bày qui cách mẫu thí nghiệm, vật liệu làm mẫu và chế tạo mẫu thí nghiệm. Mục 5.2.3 trình bày qui trình đo và lấy kết quả thí nghiệm.



Hình 5.5. Đo tần số tấm composite có gân chữ U

Kết quả đo tần số dao động tự do của tấm composite có gân gia cường được so sánh với kết quả tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn trong bảng 5.2 và bảng 5.3

Bảng 5.2. Tần số dao động tự do (Hz) của tấm composite sợi thuỷ tinh/polyester có gân gia cường ngàm 4 cạnh.

Tần số	Gân chữ nhật			Gân chữ T			Gân chữ U		
	Fem	Exp	(%)	Fem	Exp	(%)	Fem	Exp	(%)
1	185.6	172.1	7.8	213.5	196.8	8.5	251.2	226.6	10.9
2	244.53	223.3	9.5	251.2	229.4	9.5	255.6	231.2	9.5
3	249.03	225.4	10.5	269.9	236.1	14.3	275.7	238.5	15.6

Bảng 5.3. Tần số dao động tự do (Hz) của tấm composite sợi thuỷ tinh/polyester có gân gia cường ngàm 2 cạnh 2 cạnh tự do.

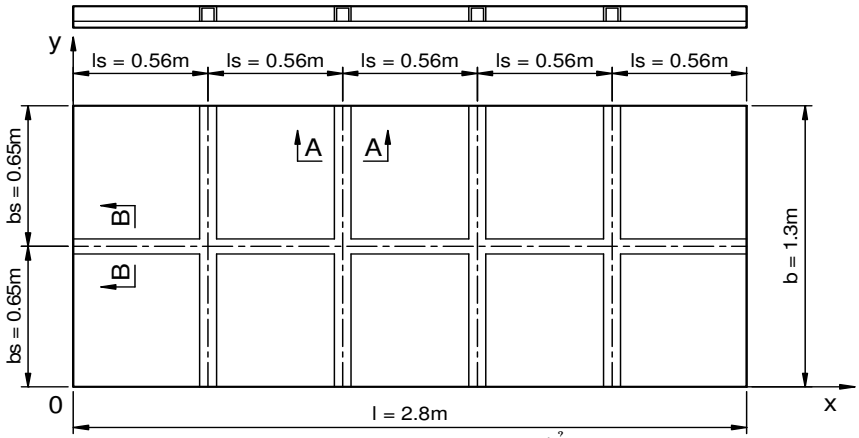
Tần số	Gân chữ nhật			Gân chữ T			Gân chữ U		
	Fem	Exp	(%)	Fem	Exp	(%)	Fem	Exp	(%)
1	41.4	39.1	5.9	46.9	44.0	6.6	51.5	47.7	8.0
2	52.2	48.0	8.8	52.2	48.5	7.6	52.2	48.9	6.7
3	87.1	79.9	9.0	89.5	80.9	10.6	90.1	81.2	11.0

5.3. Ứng dụng

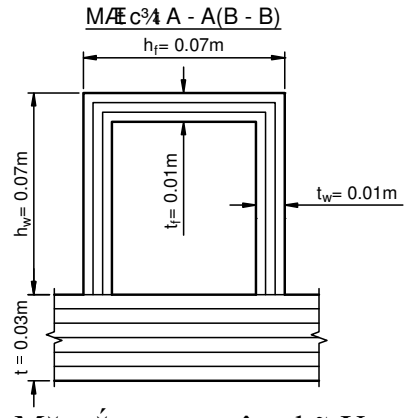
Luận án đã áp dụng chương trình đã được thiết lập để tính toán kiểm tra bền cho một ứng dụng thực tế là bàn đẩy mũi tàu xà lan tại Đông Triều - Quảng Ninh.

Mục 5.3.2 mô tả bàn đẩy mũi tàu là kết cấu tấm composite được gia cường bởi 1 gân dọc và 4 gân ngang có mặt cắt ngang chữ U.

Hình 5.9. Mũi tàu đẩy bằng kết cấu tấm composite có gân gia cường.



Hình 5.10. Kích thước chung bàn đẩy mũi tàu.



Hình 5.11. Mặt cắt ngang gân chữ U.

Việc xác định tải trọng tác dụng lên tàu được áp dụng theo tài liệu [6], tải trọng tác dụng lên bàn đẩy là tải trọng phân bố đều trên một phần diện tích hình chữ H. Kết quả tính toán cho giá trị tải trọng phá hủy là $\mathbf{p_{max} = 221400\ N/m^2}$ lớn gấp 1,28 lần tải trọng bất lợi nhất $\boldsymbol{p = 172520\ N/m^2}$.

5.4. Kết luận chương 5

Trong chương 5, luận án đã tiến hành thí nghiệm đo tần số dao động của ba loại tấm composite có ba loại gân gia cường có hình dạng mặt cắt khác nhau nhưng có cùng diện tích mặt cắt ngang là mặt cắt chữ nhật, mặt cắt chữ T và mặt cắt chữ U. Kết quả đo là gần gũi với kết quả tính toán bằng phần tử hữu hạn, chênh lệch lớn nhất là 15.6%, đã chứng minh mô hình và chương trình có độ tin cậy cao.

Kết quả đo tần số dao động riêng của tấm composite được gia cường bởi các gân có hình dạng mặt cắt khác nhau nhưng có cùng diện tích bằng thực nghiệm và bằng mô hình phần tử hữu hạn đều chỉ ra rằng tấm composite được gia cường bởi gân có mặt cắt chữ U cho tần số cao hơn so với tấm được gia cường bởi gân chữ nhật và chữ T lần lượt là 35.34% và 17.66%. Điều đó cho thấy khi được gia cường bởi gân chữ U kết cấu có độ cứng lớn hơn so với khi được gia cường bởi gân chữ nhật và gân chữ T, đó cũng là lý do tại sao gân chữ U hay được ứng dụng trên thực tế.

Chương 5 luận án cũng áp dụng mô hình để tính toán cho một ứng dụng thực tế là bàn đẩy mũi tàu đẩy đoàn xà lan tại Đông Triều, Quảng Ninh. Bàn đẩy mũi tàu được mô hình là tấm composite có các gân gia cường chữ U, mô hình đã thực hiện:

- Tính được độ võng và ứng suất trong điều kiện làm việc bất lợi nhất của bàn đẩy mũi tàu.
- Xác định được tải trọng uốn tới hạn p_{max} cho bàn đẩy.

Từ lời giải số của các bài toán trên, ta thấy bàn đẩy mũi tàu được đảm bảo cả về độ bền và độ cứng. Điều này là hoàn toàn hợp lý vì tàu đẩy xà lan 2.500 tấn với bàn đẩy trên vẫn đang hoạt động tốt tại Đông Triều, Quảng Ninh từ cuối năm 2006 đến nay.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Luận án đã xây dựng được thuật toán phần tử hữu hạn và chương trình tính dựa trên lý thuyết tấm bậc cao có kể đến biến dạng cắt ngang để giải bài toán uốn, bài toán dao động tự do và bài toán bền cho kết cấu tấm composite lớp có gân gia cường có vị trí bất kỳ và phân bố không đều trong mặt phẳng tấm, hay các gân có kích thước và hình dạng mặt cắt ngang khác nhau như mặt cắt chữ nhật, chữ T và chữ U…Độ tin cậy của thuật toán và chương trình đã được khẳng định qua việc so sánh một số kết quả của luận án với các kết quả đã công bố của một số tác giả khác. Cụ thể với bài toán tính độ võng của tấm composite được gia cường bởi hai gân vuông góc nhau tại giữa tấm chịu các điều kiện biên khác nhau, sai lệch lớn nhất so với kết quả của Kolli tính toán dựa trên lý thuyết bậc nhất là 1,88%; với bài toán tính tần số dao động riêng của tấm composite được gia cường bởi một gân chữ nhật có các lớp vuông góc với mặt phẳng tấm, sai lệch lớn nhất so với kết quả của Dong Min-Lee tính toán dựa trên lý thuyết bậc nhất là 1,41%.
2. Luận án đã tính toán độ võng, ứng suất và tần số dao động riêng của kết cấu tấm composite lớp với các gân gia cường có mặt cắt ngang khác nhau như chữ nhật, chữ T và chữ U có cùng diện tích mặt cắt ngang và chiều cao (cùng khối lượng vật liệu tạo thành). Kết quả tính toán số cho thấy kết cấu tấm composite lớp với gân chữ U có độ võng và ứng suất nhỏ hơn (khoảng 27% với trường hợp xét trong luận án) trong khi tần số dao động riêng lớn hơn kết cấu tấm composite lớp có gân gia cường mặt cắt ngang chữ nhật và chữ T (lớn hơn 35%). Điều này đồng nghĩa với việc tấm được gia cường bởi gân chữ U cứng hơn và có khả năng chịu tải trọng uốn cao hơn so với tấm được gia cường bởi gân chữ nhật và chữ T.
3. Tải trọng uốn phá huỷ đối với các kết cấu tấm composite được gia cường bởi các gân có các mặt cắt ngang khác nhau được tính toán theo quan điểm phá huỷ lớp đầu tiên và quan điểm phá huỷ lớp cuối cùng, trong đó quan điểm phá huỷ lớp cuối cùng có hai tiếp cận là

loại bỏ hoàn toàn cơ tính của lớp bị phá huỷ trước khi tiếp tục tính toán tải trọng phá huỷ cho các lớp tiếp theo và loại bỏ từng phần cơ tính của lớp bị phá huỷ tuỳ thuộc vào cơ chế phá huỷ của lớp bị phá huỷ. Kết quả tính toán cho thấy sau khi lớp đầu tiên của kết cấu tấm-gân composite bị phá huỷ, kết cấu vẫn còn khả năng làm việc và chịu thêm tải trọng. Cụ thể, với kết cấu tấm được gia cường bởi một gân song song với trục *ox* và đi qua trọng tâm của tấm thì tải trọng uốn phá huỷ lớp cuối cùng tính theo quan điểm loại bỏ từng phần cơ tính của lớp bị phá huỷ lớn hơn 100% so với tải trọng phá huỷ lớp đầu tiên.

4. Tác giả đã tổ chức thực hiện được thí nghiệm: đo được tần số dao động riêng của các tấm composite sợi thuỷ tinh/nhựa polyester được gia cường bởi các gân có hình dạng mặt cắt ngang khác nhau nhưng có cùng diện tích, chiều cao và khối lượng vật liệu tạo thành. Kết quả thực nghiệm khá gần với kết quả tính toán bằng phần tử hữu hạn, sai lệch lớn nhất là 15,6% đối với trường hợp gân chữ U ngàm 4 cạnh. Kết quả đo cũng chỉ ra rằng gân có mặt cắt ngang chữ U là cứng hơn gân có mặt cắt chữ nhật và chữ T. Điều này giải thích tại sao kết cấu được gia cường bởi gân chữ U thường được sử dụng trong các ứng dụng thực tế của các ngành hàng không, đóng tàu, v.v...kết quả thí nghiệm một lần nữa khẳng định độ tin cậy của thuật toán và chương trình.

5. Luận án đã xây dựng được mô hình tính toán bàn đẩy mũi tàu đẩy đoàn xà lan tại Đông Triều, Quảng Ninh. Bàn đẩy là một tấm composite lớp có gân gia cường mặt cắt chữ U. Giá trị độ võng và ứng suất lớn nhất tìm được từ bài toán uốn cho bàn đẩy đều nhỏ hơn giá trị độ võng và độ bền cho phép của kết cấu. Tải trọng tới hạn tính theo thuyết bền Tsai-Wu lớn gấp 1,28 lần tải trọng bất lợi nhất. Điều này là hoàn toàn hợp lý vì tàu đẩy xà lan 2.500 tấn với bàn đẩy trên vẫn đang hoạt động tốt tại Đông Triều, Quảng Ninh từ cuối năm 2006 đến nay.

Hướng nghiên cứu phát triển của luận án:

Trên cơ sở các nội dung và các kết quả nghiên cứu đã trình bày, có thể đề xuất một số nội dung cần tiếp tục nghiên cứu như sau:

- Phân tích phi tuyến kết cấu tấm composite có gân gia cường bằng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên trường chuyển vị bậc cao.
- Phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm đến kết cấu tấm composite có gân gia cường.
- Nghiên cứu bài toán ổn định tuyến tính và phi tuyến của kết cấu tấm composite có gân gia cường v.v..