

GIỚI THIỆU LUẬN ÁN

1. Tính cấp thiết của đề tài:

Tấm và vỏ làm bằng vật liệu composite là kết cấu có nhiều ưu điểm nổi trội và được sử dụng nhiều trong các lĩnh vực quan trọng như giao thông, xây dựng, cơ khí, hàng không vũ trụ,.. Trong thực tế các kết cấu tấm và vỏ composite thường mỏng nên có thể xảy ra mất ổn định đàn hồi. Do vậy, vấn đề ổn định của kết cấu tấm và vỏ composite đã và đang được nhiều nhà khoa học quan tâm giải quyết và đã đạt được một số kết quả đáng kể, đặc biệt là bài toán tĩnh học. Vấn đề ổn định các hệ đàn hồi chịu tải trọng động được chú ý nhiều trong ngành chế tạo máy và kỹ thuật hàng không và có ý nghĩa rất quan trọng trong việc khai thác sử dụng các kết cấu composite. Tuy nhiên cho đến nay, các kết quả nghiên cứu về ổn định động của các kết cấu composite vẫn chưa được công bố nhiều, đặc biệt ở Việt Nam. Vì vậy tác giả lựa chọn đề tài luận án: *Nghiên cứu ổn định đàn hồi của tấm và vỏ trụ composite lớp chịu tải trọng động*. Đây là vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục đích nghiên cứu:

Xây dựng mô hình bài toán và các phương trình cơ bản; thiết lập thuật toán, chương trình máy tính giải bài toán ổn định động của tấm và vỏ trụ composite lớp nhằm xác định các thông số tới hạn, miền ổn định. Khảo sát phân tích ảnh hưởng của các thông số hình học, vật liệu và các thông số của tải trọng đến khả năng ổn định của hệ.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu:

Đối tượng nghiên cứu là tấm và vỏ trụ mỏng nhiều lớp, trong đó mỗi lớp là vật liệu CPS đồng phương. Phạm vi nghiên cứu là ổn định đàn hồi của tấm chữ nhật và vỏ trụ thoải.

4. Cấu trúc của luận án:

Luận án có 112 trang với 12 bảng số liệu, 45 hình vẽ và đồ thị. Nội dung bao gồm phần mở đầu, 04 chương, phần kết luận và phụ lục.

NỘI DUNG CHÍNH CỦA LUẬN ÁN

Chương 1

TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU DAO ĐỘNG VÀ ỔN ĐỊNH CỦA TẤM VÀ VỎ COMPOSITE LỚP

1.1. Kết quả nghiên cứu dao động và ổn định của tấm và vỏ composite lớp

Các kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học trong nước và nước ngoài tập trung vào những vấn đề: Nghiên cứu về dao động của tấm và vỏ composite lớp tuyến tính và phi tuyến hình học, tấm và vỏ composite lớp có xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm; tấm và vỏ composite lớp có gia cường; tấm và vỏ composite lớp có xét đến biến dạng trượt ngang hoặc theo mô hình biến dạng bậc cao, tấm composite áp điện, tấm composite có cơ tính biến thiên bằng phương pháp giải tích và phương pháp PTHH.

Về ổn định động của tấm và vỏ composite lớp phần lớn mới sử dụng phương pháp giải tích để xây dựng được các phương trình cơ bản, áp dụng phương pháp Bubnov-Galerkin để cho một số trường hợp tấm và vỏ với các điều kiện biên và tải trọng đơn giản, tiến hành khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến lực tới hạn và phản ứng động của kết cấu. Đặc biệt ở Việt Nam các kết quả nghiên cứu về ổn định động của tấm và vỏ composite còn chưa nhiều.

1.2. Xác định nội dung nghiên cứu

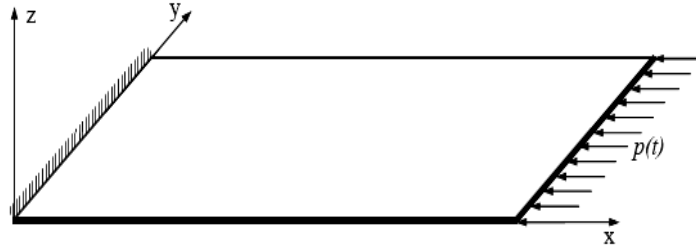
Qua phân tích kết quả nghiên cứu tác giả lựa chọn vấn đề “**Nghiên cứu ổn định đàn hồi của tấm và vỏ trụ composite lớp chịu tải trọng động**” làm nội dung nghiên cứu của luận án. Trong luận án sẽ tập trung giải quyết các bài toán chính như sau: Ổn định của tấm composite chịu tải trọng tuần hoàn tác dụng trong mặt phẳng trung bình; Ổn định của vỏ trụ composite chịu tải trọng tĩnh và động.

Chương 2.

ỔN ĐỊNH CỦA TẤM COMPOSITE LỚP CHỊU TẢI TRỌNG BIẾN ĐỔI ĐIỀU HÒA

2.1. Mô hình bài toán, các giả thiết

Xét tấm chữ nhật gồm n lớp, như trên hình 2.1.



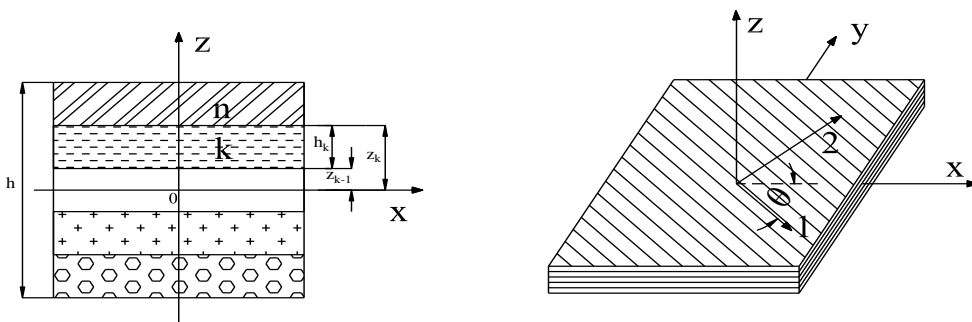
Hình 2.1. Tấm composite lớp chịu nén trong mặt trung bình.

Các giả thiết: Tấm mỏng thỏa mãn giả thuyết Krichhoff - Love. Các lớp bố trí đối xứng qua mặt trung bình của tấm và bám dính với nhau tuyệt đối. Vật liệu làm việc trong miền đàn hồi.

Để giải quyết bài toán, luận án sử dụng phương pháp thuần nhất hóa tính tấm composite và ứng dụng phương pháp PTHH để xây dựng thuật toán.

2.2. Cơ sở phương pháp thuần nhất hóa tính tấm composite lớp

Xét một tấm composite gồm n lớp, trong đó mỗi lớp là vật liệu composite đồng phương (Hình 2.2).



Hình 2.2 . Sơ đồ tấm composite nhiều lớp

Theo lý thuyết kỹ thuật tính tấm và vỏ composite lớp, ta có quan hệ ứng xử của tấm composite lớp như sau:

$$\begin{Bmatrix} \{N\} \\ \{M\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A] & [B] \\ [B] & [D] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\varepsilon_0\} \\ \{\chi\} \end{Bmatrix} \quad (2.1)$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (z_k - z_{k-1}) (Q'_{ij})_k ; B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (z_k^2 - z_{k-1}^2) (Q'_{ij})_k ; D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (z_k^3 - z_{k-1}^3) (Q'_{ij})_k \quad (2.2)$$

Trong đó các hệ số $Q_{i,j}$ được xác định thông qua các mô đun đàn hồi kỹ thuật của lớp vật liệu composite đồng phương $E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}$:

$$\begin{aligned} E_1 &= \psi E_c + (1-\psi) E_n \\ E_2 &= \frac{E_n \cdot E_c \cdot E_1}{E_1 [\psi E_n + (1-\psi) E_c] - \psi \cdot (1-\psi) \cdot (\nu_n E_c - \nu_c E_n)^2} ; G_{12} = \frac{G_n \cdot G_c}{\psi G_n + (1-\psi) G_c} \\ \nu_{12} &= \psi \cdot \nu_c + (1-\psi) \cdot \nu_n ; \nu_{21} = \frac{\nu_{12} \cdot E_2}{E_1} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Khối lượng riêng của vật liệu ρ_i của vật liệu composite lớp:

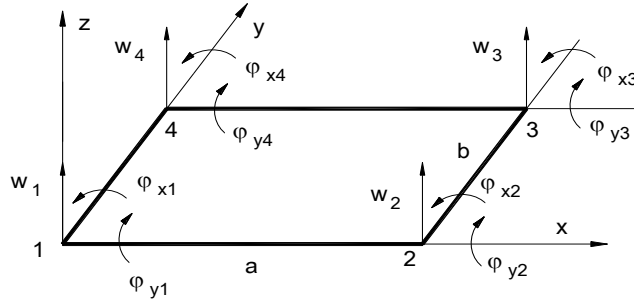
$$\rho_t = \frac{1}{h} \sum_{k=1}^n \rho_k h_k ; \rho_k = \rho_c \psi + \rho_n (1-\psi) \quad (2.4)$$

2.3. Thuật toán phần tử hữu hạn tính ổn định động của tấm composite lớp

2.3.1. Xác định các ma trận phần tử.

Phần tử tấm composite lớp trong bài toán uốn khi tấm mất ổn định

Mô hình phần tử này được biểu diễn như trên hình 2.3.



Hình 2.3. Phần tử chữ nhật tấm composite lớp 4 nút trong bài toán uốn

Trong trường hợp tấm composite đối xứng, khi bắt đầu mất ổn định, phiếm hàm thế năng biến dạng đàn hồi của phần tử tấm chịu uốn và nén đồng thời:

$$\begin{aligned} U^e &= \frac{1}{2} \{\Delta_b^e\}^T [K_b^e] \{\Delta_b^e\} + \frac{1}{2} \{\Delta_b^e\}^T [K_{Gx}^e] \{\Delta_b^e\} + \\ &+ \frac{1}{2} \{\Delta_b^e\}^T [K_{Gy}^e] \{\Delta_b^e\} + \frac{1}{2} \{\Delta_b^e\}^T [K_{Gxy}^e] \{\Delta_b^e\} \end{aligned} \quad (2.5)$$

trong đó các ma trận độ cứng phần tử:

$$\begin{aligned} [K_b^e] &= \int_0^a \int_0^b [B_b]^T [D] [B_b] dx dy \\ [K_G^e] &= [K_{Gx}^e] + [K_{Gy}^e] + [K_{Gxy}^e] \end{aligned} \quad (2.6)$$

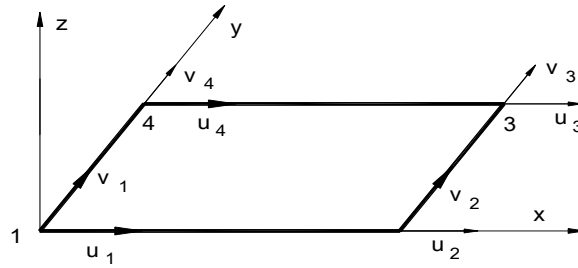
$$\begin{cases} [K_{Gx}^e] = \sum_{k=1}^n (\sigma_x)_k h_k \int_A [N'_{bx}] [N'_{bx}]^T dA \\ [K_{Gy}^e] = \sum_{k=1}^n (\sigma_y)_k h_k \int_A [N'_{by}] [N'_{by}]^T dA \\ [K_{Gxy}^e] = \sum_{k=1}^n (\tau_{xy})_k h_k \int_A [N'_{bx}] [N'_{by}]^T dA \end{cases}, \quad (2.7)$$

Ma trận khối lượng của tấm composite lớp khi dao động uốn:

$$[M_u]^e = h \int_S \rho_t [N_b]^T [N_b] dS \quad (2.8)$$

Phần tử tấm composite lớp trong bài toán phẳng

Mô hình phần tử này được biểu diễn như trên hình 2.4.



Hình 2.4. Phần tử chữ nhật tấm composite lớp 4 nút trong bài toán phẳng

Ma trận độ cứng của phần tử tấm composite lớp khi chịu nén trong mặt trung bình được xác định như sau:

$$[K_f]^e = \int_S [B_f]^T [A] [B_f] dS \quad (2.9)$$

Ma trận khối lượng của tấm composite khi dao động trong mặt trung bình:

$$[M_f]^e = h \int_S \rho_t [N_f]^T [N_f] dS \quad (2.10)$$

2.3.2. Phương trình dao động của tấm composite lớp

$$\begin{bmatrix} [M_s] & [0] \\ [0] & [M_b] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{\Delta}_s\} \\ \{\ddot{\Delta}_b\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_s] & [0] \\ [0] & [K_b] + [K_G(t)] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\Delta_s\} \\ \{\Delta_b\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F(t)\} \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

Viết dưới dạng khai triển:

$$[M_s] \{\ddot{\Delta}_s\} + [K_s] \{\Delta_s\} = \{F(t)\} \quad (2.12)$$

$$[M_b] \{\ddot{\Delta}_b\} + ([K_b] + [K_G(t)]) \{\Delta_b\} = 0 \quad (2.13)$$

Trường hợp tải trọng tuần hoàn:

$$\{F(t)\} = \{F_0\} + \sum_{k=1}^N \{F_k\} \cos k\Omega t, \quad \Omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.14)$$

Giải phương trình (2.12), ta xác định ứng suất trong tấm:

$$\begin{aligned} \{\sigma^*\}^e &= \left\{ \sum_{k=1}^n (\sigma_x)_k h_k \quad \sum_{k=1}^n (\sigma_y)_k h_k \quad \sum_{k=1}^n (\tau_{xy})_k h_k \right\}^e = \\ &= [A][B_s] \{\Delta_s^e\} = [A][B_s] \left(\{\Delta_{s0}^e\} + \sum_{k=1}^N \{\Delta_{sk}^e\} \cos \Omega_k t \right) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Ma trận độ cứng hình học $[K_G(t)]$ của tấm là ma trận tuần hoàn với chu kỳ T, có dạng sau:

$$[K_G(t)] = [K_{G_0}] + \sum_{k=1}^N [K_{G_k}] \cos \Omega_k t, \quad (2.16)$$

2.3.3. Lập phương trình trạng thái theo các tọa độ suy rộng

Qua biến đổi, bài toán được đưa về xét tính ổn định nghiệm của hệ m phương trình đối với các tọa độ suy rộng $\{q\}$ như sau:

$$\{\Delta_b\} = [V] \{q\} \quad (2.17)$$

Thay (2.17) vào (2.13), qua biến đổi ta có phương trình:

$$\{\ddot{q}\} + ([\Omega_r] + [G(t)]) \{q\} = 0 \quad (2.18)$$

Khi có cản, phương trình vi phân dao động (2.18) trở thành:

$$\{\ddot{q}\} + (\alpha[E] + \beta[\Omega_r]) \{\dot{q}\} + ([\Omega_r] + [G(t)]) \{q\} = 0 \quad (2.19)$$

Gọi $\{x(t)\}$ là véc tơ trạng thái của phương trình (2.18) hay (2.19):

$$\{x(t)\} = \{q_1(t) \dots q_m(t) \dot{q}_1(t) \dots \dot{q}_m(t)\}^T \quad (2.20)$$

Phương trình trạng thái của hệ tuyến tính biến đổi theo thời gian lúc này có dạng:

$$\{\dot{x}(t)\} = [A(t)]\{x(t)\}, \{x_0\} = \{x(0)\} \quad (2.21)$$

trong đó: Ma trận toàn hệ $[A(t)]$ là ma trận vuông cấp $2m$.

Nghiệm tổng quát của (2.21) có dạng:

$$\{x(t)\} = [\Phi(t,0)]\{x_0\}, \{x(t+T)\} = \mu\{x(t)\}, \quad (2.22)$$

trong đó: μ là trị riêng, $[\Phi(t,0)]$ là ma trận cơ bản của hệ (2.21).

2.4. Tiêu chuẩn ổn định:

Điều kiện ổn định được phát biểu như sau : *Hệ là ổn định tiệm cận, nếu mọi trị riêng μ_i tìm được có mô đun nhỏ hơn 1. Nếu trong các trị riêng μ_i chỉ cần từ 1 trị riêng trở lên có mô đun bằng 1, tất cả các trị riêng khác có mô đun nhỏ hơn 1 thì hệ ổn định biên. Ngược lại trong tất cả các trị riêng μ_i chỉ cần 1 trị riêng có mô đun lớn hơn 1 thì hệ mất ổn định.*

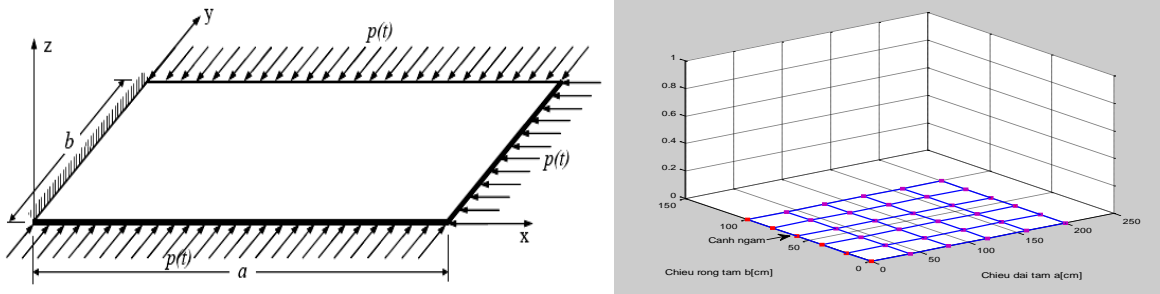
2.5. Các bước tính toán và sơ đồ thuật toán

Với thuật toán đã trình bày ở luận án, tác giả lập trình tính toán để giải bài toán ổn định của tấm composite lớp chịu tải trọng tuần hoàn tác dụng trong mặt phẳng tấm. Chương trình có tên CPS_PLATE_BUCK được viết trong môi trường Matlab. Để kiểm tra độ tin cậy của chương trình tính đã lập, tác giả thực hiện theo hai cách: So sánh kết quả tính bằng chương trình đã lập với kết quả bài toán tương tự với công trình đã được tác giả nước ngoài Javed Ather công bố năm 2011: Sai số: 2,06%. So sánh kết quả tính bằng chương trình đã lập với kết quả thí nghiệm (trình bày ở chương 4).

2.6. Tính toán số

2.6.1. Bài toán xuất phát

Tấm composite chữ nhật $a = 200\text{cm}$, $b = 100\text{cm}$, gồm 5 lớp vật liệu composite đồng phương, chiều dày mỗi lớp $t = 1\text{mm}$. Đặc trưng cơ lý của mỗi lớp được thể hiện như trong bảng 2.2. Tấm liên kết ngàm dọc một cạnh ngắn và chịu tải trọng $p = p_0 \cos \Omega t$ phân bố đều trên 3 cạnh còn lại (Hình 2.5).



Hình 2.5. Mô hình thực và mô hình chia phần tử của bài toán
Thông số tính toán của các lớp vật liệu thể như trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Các thông số lớp vật liệu

Lớp	E_c (N/cm^2)	E_n (N/cm^2)	ρ_c (kg/cm^3)	ρ_n (kg/cm^3)	Hệ số cốt	Góc cốt ($độ$)
1	39×10^6	7×10^6	0,00263	0,0027	0,4	0
2	13×10^6	7×10^6	0,00280	0,0027	0,4	60
3	$7,4 \times 10^6$	7×10^6	0,00295	0,0027	0,4	90
4	13×10^6	7×10^6	0,00280	0,0027	0,4	60
5	39×10^6	7×10^6	0,00263	0,0027	0,4	0

Bài toán dao động riêng: Tiến hành giải bài toán dao động riêng, xác định được các tần số riêng. Sử dụng 5 tần số đầu tiên để phân tích mode.

Bài toán ổn định động: Tính toán cho 2 lớp bài toán, với biên độ tải trọng p_0 khác nhau:

Trường hợp 1: Biên độ tải trọng $p_0 = 500\text{N/m}$, tần số tải trọng $\Omega = 5$ rad/s. Kết quả là $|\mu_i|_{\max} = 0,968$. Vì vậy tấm ổn định.

Trường hợp 2: Biên độ tải trọng $p_0 = 700\text{N/m}$, tần số tải trọng $\Omega = 5$ rad/s. Kết quả $|\mu_i|_{\max} = 1,2905$. Vì vậy tấm mất ổn định động.

2.6.2. Khảo sát một số yếu tố đến khả năng ổn định của tấm

2.6.2.1. Ảnh hưởng của tần số tải trọng:

Cho biên độ tải trọng $p_0 = 700\text{N/m}$. Các tần số tải trọng lựa chọn được dựa trên cơ sở kết quả các tần số riêng của tấm, sao cho tránh khả năng cộng hưởng xảy ra. Qua tính toán ta có kết quả như bảng 2.2.

Bảng 2.2. Quan hệ tần số tải trọng và mô đun lớn nhất của các trị riêng

Tần số riêng ω (rad/s)	Tần số tải trọng Ω (rad/s)	$ \mu_i _{\max}$	Nhận xét về tính ổn định của tấm
2,68	1	2,3708	Không ổn định
8,99	5	1,2905	Không ổn định
17,58	10	0,8611	Ổn định
56,05	20	0,7962	Ổn định
68,98	30	0,8915	Ổn định
95,76	40	0,9175	Ổn định
133,18	50	0,9682	Ổn định

2.6.2.2. Ảnh hưởng của chiều dày tấm:

Với biên độ tải trọng $p_0 = 700\text{N/m}$, tần số tải trọng $\Omega = 5\text{rad/s}$, Qua tính toán ta có kết quả như bảng 2.3.

Bảng 2.3. Quan hệ chiều dày tấm và mô đun lớn nhất của các trị riêng

Tần số riêng ω (rad/s)	Chiều dày h (mm)	$ \mu_i _{\max}$	Nhận xét về tính ổn định của tấm
1,84; 3,498; 8,792; 28,033; 34,501	2,5	2,1468	Không ổn định
2,68; 8,99; 17,58; 56,05; 68,98	5,0	1,2905	Không ổn định
13,49; 26,36; 84,05; 103,43; 143,59	7,5	0,9173	Ổn định
17,98; 35,14; 112,02; 137,82; 191,41	10,0	0,7216	Ổn định

2.9.2.3. Ảnh hưởng của thành phần vật liệu composite:

Xét một số trường hợp sau:

- TH1: Tấm composite một lớp có số liệu như sau:

E_c (N/cm^2)	E_n (N/cm^2)	ρ_c (kg/cm^3)	ρ_n (kg/cm^3)	Hệ số cốt	Góc cốt ($độ$)	Chiều dày t (cm)
39×10^6	7×10^6	0,00263	0,0027	0,4	0	0,2

- TH2: Tấm một lớp với vật liệu đồng nhất đẳng hướng tương ứng như vật liệu cốt có : $E=39 \times 10^6$ N/cm², $\rho=0,00263$ kg/cm³, $t=0,2$ cm

- TH3: Tấm một lớp với vật liệu đồng nhất đẳng hướng tương ứng như vật liệu nền có : $E=7 \times 10^6$ N/cm², $\rho=0,0027$ kg/cm³, $t=0,2$ cm.

Tính toán ổn định động với mô hình bài toán như trên, biên độ tải trọng $p_0 = 500$ N/m, tần số tải trọng $\Omega = 5$ rad/s, ta nhận được kết quả :

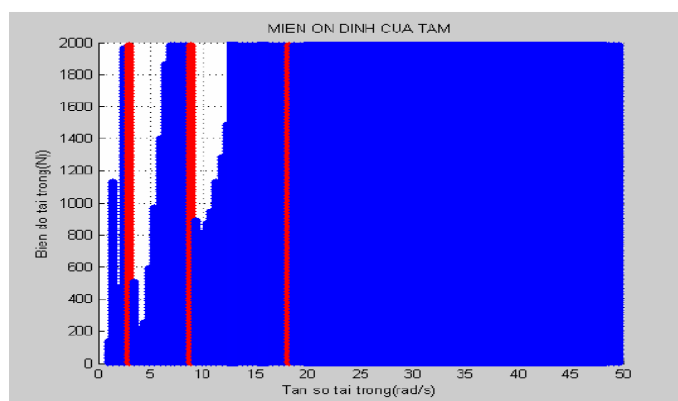
TH1: $|\mu_i|_{\max} = 0,901$; **TH2:** $|\mu_i|_{\max} = 0,615$; **TH3:** $|\mu_i|_{\max} = 1,315$

Qua kết quả tính toán cho thấy: thành phần vật liệu composite có ảnh hưởng rất rõ đến tính ổn định của tấm. Trong trường hợp này, sử dụng vật liệu composite có tỷ lệ cốt hợp lý sẽ đảm bảo điều kiện ổn định và cho hiệu quả kinh tế hơn. Điều này cho thấy rõ sự khác biệt và tính ưu việt của vật liệu composite so với vật liệu đồng nhất đẳng hướng. Như vậy bằng chương trình xây dựng được cho phép khảo sát lựa chọn được loại vật liệu composite với tỷ lệ vật liệu thành phần đáp ứng theo yêu cầu sử dụng.

2.7. Miền ổn định của tấm composite lớp

2.7.1. Miền ổn định của tấm với biên độ tải trọng và tần số tải trọng thay đổi:

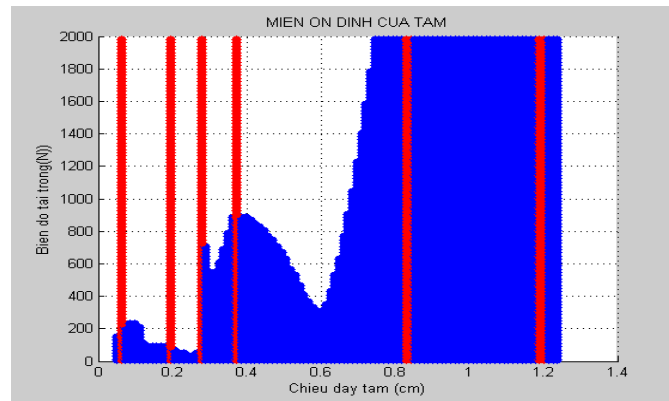
Biên độ tải trọng p_0 biến thiên từ 10N/m đến 2000N/m và tần số tải trọng Ω biến thiên từ 1 rad/s đến 50 rad/s. Ta có miền ổn định như hình 2.6.



Hình 2.6. Miền ổn định của tấm theo p_0 và Ω tần số tải trọng
(Màu xanh là miền ổn định, màu đỏ là miền cộng hưởng)

2.7.2. Miền ổn định của tấm với biên độ tải trọng và chiều dày tấm thay đổi:

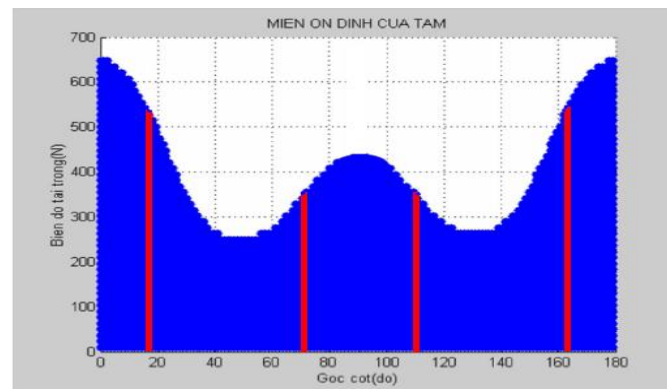
Biên độ tải trọng p_0 biến thiên từ 10N/m đến 2000N/m và chiều dày tấm h biến thiên từ 5mm đến 12,5mm. Qua tính toán ta có miền ổn định như hình 2.7.



Hình 2.7. Miền ổn định của tấm theo p_0 và chiều dày tấm
(Màu xanh là miền ổn định, màu đỏ là miền cộng hưởng)

2.7.3. Miền ổn định của tấm với biên độ tải trọng và góc đặt cốt thay đổi:

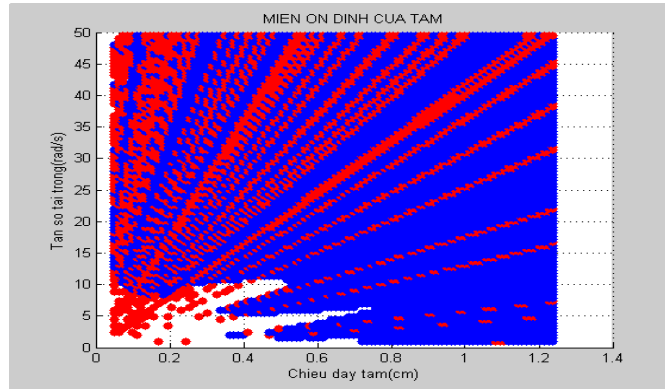
Quy luật góc đặt cốt θ / $-\theta$ / θ / $-\theta$ / θ , Biên độ tải trọng p_0 biến thiên từ 10N/m đến 650N/m và góc đặt cốt θ biến thiên từ 0° đến 180° . Qua tính toán ta có miền ổn định như hình 2.8.



Hình 2.8. Miền ổn định của tấm theo p_0 và góc đặt cốt
(Màu xanh là miền ổn định, màu đỏ là miền cộng hưởng)

2.7.4. Miền ổn định của tấm với tần số tải trọng và chiều dày tấm thay đổi

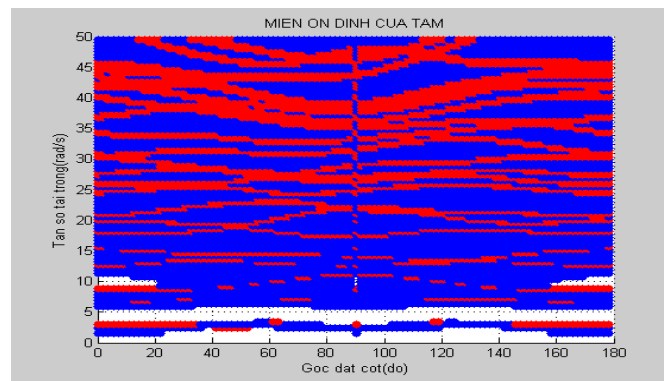
Tần số tải trọng Ω biến thiên từ 1 rad/s đến 50 rad/s và chiều dày tấm h biến thiên từ 5mm đến 12,5mm. Qua tính toán ta có miền ổn định như hình 2.9.



Hình 2.9. Miền ổn định của tấm theo Ω và chiều dày tấm
(Màu xanh là miền ổn định, màu đỏ là miền cộng hưởng)

2.7.5. Miền ổn định của tấm với tần số tải trọng và góc đặt cốt thay đổi

Quy luật góc đặt cốt $\theta/-\theta/\theta/-\theta/\theta$, Tần số tải trọng Ω biến thiên từ 1 rad/s đến 50 rad/s và góc đặt cốt θ biến thiên từ 0° đến 180° . Qua tính toán ta có miền ổn định như hình 2.10.



Hình 2.10. Miền ổn định của tấm theo Ω và góc đặt cốt
(Màu xanh là miền ổn định, màu đỏ là miền cộng hưởng)

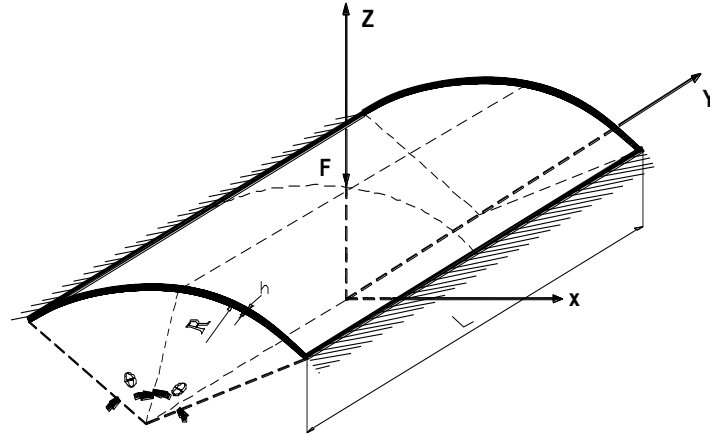
Nhận xét chung: Việc nghiên cứu, xây dựng miền ổn định và miền cộng hưởng của tấm composite lớp chịu tải trọng điều hòa tác dụng trong mặt phẳng tấm cho phép xem xét ứng xử ổn định của tấm. Kết quả là cơ sở lựa chọn các thông số thiết kế, tải trọng đối với kết cấu tấm nhằm tránh được hiện tượng cộng hưởng và hiện tượng mất ổn định của tấm composite lớp.

Chương 3

ỔN ĐỊNH CỦA VỎ TRỤ COMPOSITE LỚP CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG

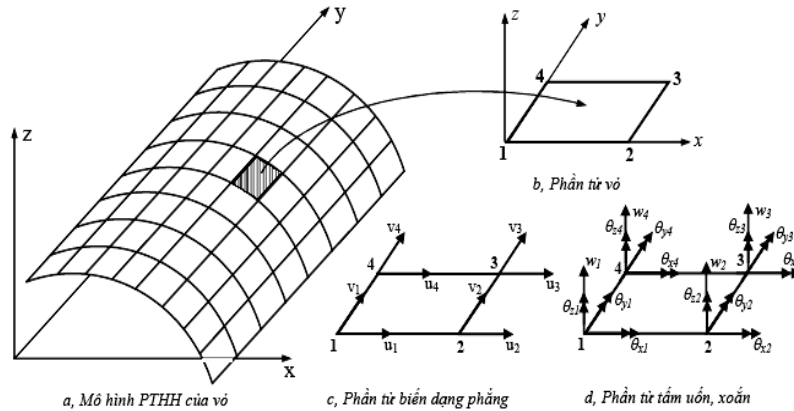
3.1. Mô hình bài toán, các giả thiết

Xét vỏ trụ composite lớp, chịu tải trọng động (Hình 3.1).



Hình 3.1. Mô hình tính ổn định động vỏ composite lớp.

Để giải bài toán, tác giả sử dụng phương pháp PTHH. Kết cấu được rời rạc hóa bởi các phần tử tứ giác phẳng 4 nút (Hình 3.2).



Hình 3.2. Mô hình hóa vỏ bằng hữu hạn phần tử chữ nhật phẳng

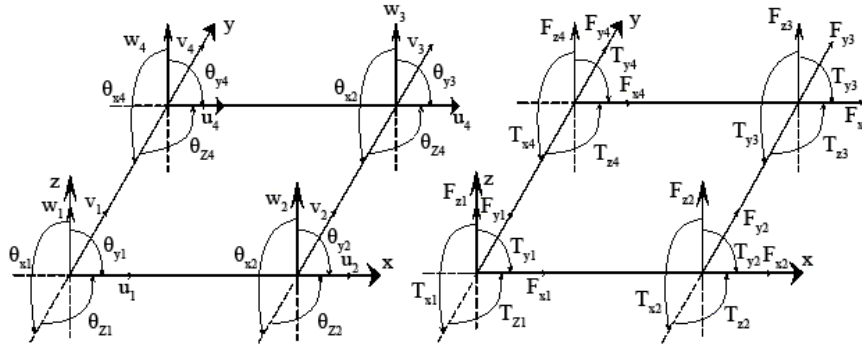
Bài toán được giải quyết trên cơ sở các giả thiết sau:

- Vỏ mỏng thỏa mãn giả thuyết Krichhoff - Love.
- Vật liệu đàn hồi tuyến tính.
- Các lớp vật liệu bám dính với nhau lý tưởng.
- Chỉ giải quyết bài toán ổn định của kết cấu, không đề cập đến bài toán bền và bỏ qua ảnh hưởng của tập trung ứng suất.

3.2. Thuật toán phần tử hữu hạn

3.2.1. Xác định các ma trận phần tử

Xét phần tử chữ nhật có kích thước axb , chiều dày h (Hình 3.3).



Hình 3.3. Phần tử tám phẳng 4 nút composite lớp

Khi xét đến yếu tố phi tuyến hình học, biến dạng tại một điểm trên mặt trung bình của tấm được xác định như sau:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \\ \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_0^p \\ \varepsilon_0^u \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \varepsilon_L^p \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.1)$$

Ta có ma trận độ cứng của phần tử được xác định như sau :

$$[K_e] = [K_0] + [K_L] + [K_\sigma] \quad (3.2)$$

trong đó:

$[K_0]$ là ma trận độ cứng tương ứng như bài toán chuyển vị nhỏ,

$[K_L]$ là ma trận tương ứng với chuyển vị lớn và phụ thuộc chuyển vị nút $\{\Delta\}$ của kết cấu, xác định như sau:

$$[K_L] = \int_S ([B_0]^T [\bar{D}] [B_L] + [B_L]^T [\bar{D}] [B_L] + [B_L]^T [\bar{D}] [B_0]) dS \quad (3.3)$$

trong đó $[\bar{D}]$ là ma trận được xác định từ các ma trận $[A],[B],[D]$, còn $[B_e],[B_L]$ là ma trận vi phân các hàm dạng.

$[K_\sigma]$ gọi là ma trận ứng suất ban đầu hoặc ma trận độ cứng hình học và phụ thuộc chuyển vị nút $\{\Delta\}$ của kết cấu, xác định như sau:

$$[K_\sigma] = \begin{bmatrix} [0] & [0] \\ [0] & [K_\sigma^u] \end{bmatrix}; [K_\sigma^u] = \int_S [G]^T \begin{bmatrix} N_x & N_{xy} \\ N_{xy} & N_y \end{bmatrix} [G] dS \quad (3.4)$$

Như vậy ma trận độ cứng $[K_e]$ phụ thuộc chuyển vị nút của toàn bộ kết cấu, tức là phụ thuộc $\{\Delta\}$, khi đó có $[K_e(\{\Delta\})]$. Vì vậy sau khi tập hợp ma trận phần tử ta được các ma trận độ cứng tổng thể của kết cấu $[K]$ phụ thuộc $\{\Delta\}$.

3.2.2. Phương trình dao động của vỏ composite lớp.

Phương trình dao động của vỏ composite lớp như sau:

$$[M]\{\ddot{\Delta}\} + [C(\{\Delta\})]\{\dot{\Delta}\} + [K(\{\Delta\})]\{\Delta\} = \{F(t)\} \quad (3.5)$$

Do đây là phương trình vi phân phi tuyến mô tả dao động của kết cấu vỏ composite chịu tải trọng động, trong đó luôn luôn tồn tại vế phải, vì vậy tác giả sử dụng **tiêu chuẩn ổn định động Budiansky - Roth**: Dưới tác dụng của tải trọng động, đáp ứng chuyển vị của hệ theo thời gian với biên độ tăng dần, trong đó xuất hiện thời điểm chuyển vị tăng một cách đột ngột thì hệ mất ổn định. Các giá trị ứng với thời điểm lân cận thời điểm chuyển vị tăng đột ngột được gọi là các giá trị tới hạn.

Tương tự như đối với bài toán ổn định động của tấm, nghiệm của phương trình (3.5) được tìm nhờ phép biến đổi tuyến tính. Qua biến đổi tương tự như đối với tấm, phương trình (3.5) trở thành:

$$\{\ddot{\delta}\} + (\alpha[\Omega] + \beta[E])\{\dot{\delta}\} + ([\Omega] + [\bar{K}_{td}])\{\delta\} = \{\bar{F}(t)\} \quad (3.6)$$

3.3. Ổn định của vỏ trụ composite lớp chịu tải trọng tĩnh

Trường hợp tải trọng tĩnh, phương trình cân bằng cho toàn kết cấu trở thành trường hợp riêng của (3.5) có dạng:

$$[K(\{\Delta\})]\{\Delta\} = \{F\} \quad (3.7)$$

Trong phương trình (3.7) ma trận $[K]$ phụ thuộc vào chuyển vị chưa biết $\{\Delta\}$. Do vậy để giải quyết bài toán này phải sử dụng phương pháp lặp Newton – Raphson.

3.4. Ổn định của vỏ trụ composite lớp chịu tải trọng động

Trong trường hợp giải bài toán ổn định phi tuyến của vỏ chịu tải trọng động, giải pháp hợp lý được lựa chọn để phân tích ổn định là kết hợp phương pháp tích phân trực tiếp Newmark hệ phương trình (3.6) với phương pháp lặp Newton-Raphson.

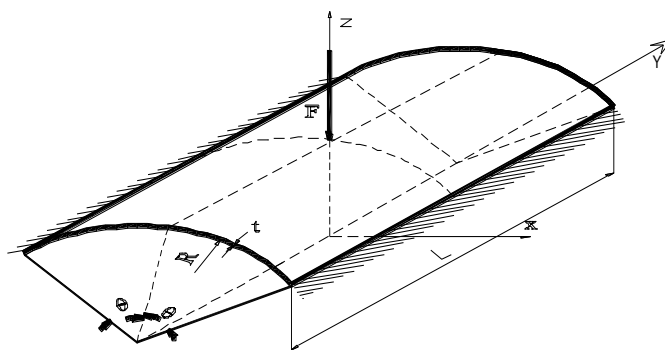
3.5. Các bước tính ổn định động vỏ composite lớp

Chương trình do tác giả xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB với tên **CPS_Shell_Dynamics**. Để kiểm tra độ tin cậy của chương trình đã lập, tác giả thực hiện theo hai cách: So sánh với công trình của Romil Tanov (2002) đã công bố: Sai số tính toán: 3,41%. So sánh với kết quả thí nghiệm được trình bày trong chương 4 của luận án.

3.6. Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng ổn định của vỏ trụ thoải composite lớp chịu tải trọng động

3.6.1. Bài toán xuất phát

Xét vỏ trụ thoải composite lớp có như trên hình 3.4.



Hình 3.4. Mô hình tính vỏ thoải composite lớp chịu tải trọng động

Vỏ composite 5 lớp, chiều dày mỗi lớp $h_t = 2\text{mm}$, các thông số vật liệu của các lớp như bảng 3.1.

Bảng 3.1. Đặc trưng cơ lý và góc cốt của các lớp

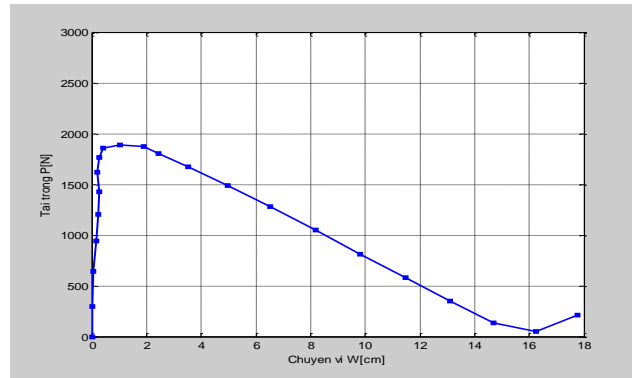
Lớp	$E_1 [N/m^2]$	$E_2 [N/m^2]$	$\rho [kg/m^3]$	Góc cốt (độ)
1	$144,8 \times 10^9$	$9,67 \times 10^9$	2000	0

2	$75,8 \times 10^9$	$5,5 \times 10^9$	2500	90
3	$75,8 \times 10^9$	$5,5 \times 10^9$	2500	45
4	$75,8 \times 10^9$	$5,5 \times 10^9$	2500	90
5	$144,8 \times 10^9$	$9,67 \times 10^9$	2000	0

Thông số hình học vỏ: Bán kính cong $R = 4\text{m}$, chiều dài $L = 5\text{m}$, góc mở: $2\theta = 60^\circ$. Điều kiện biên: Ngàm dọc 2 cạnh dài, hai cạnh còn lại tự do. Bài toán dao động riêng: Kết quả xác định được 5 tần số riêng đầu tiên (rad/s): $\omega_1 = 6,562$, $\omega_2 = 16,960$, $\omega_3 = 26,125$, $\omega_4 = 39,021$, $\omega_5 = 52,764$.

Bài toán dao động cưỡng bức, luận án giải quyết đối với các bài toán sau:

Bài toán 1: Vỏ chịu tải trọng tĩnh P tác dụng vào vị trí chính giữa mặt vỏ. Kết quả xây dựng được đồ thị hình 3.5.

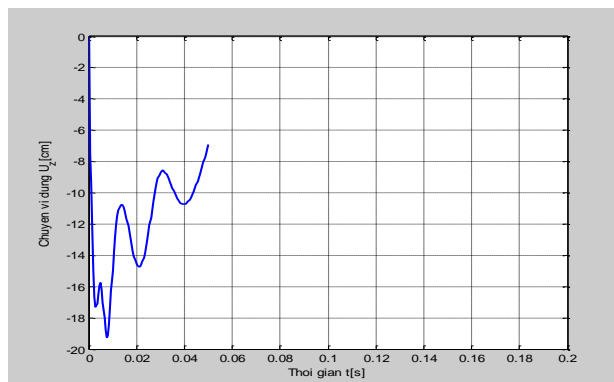


Hình 3.5. Quan hệ $P - W$ tại điểm giữa vỏ

Từ đồ thị hình 3.5, theo tiêu chuẩn ổn định đối với vỏ chịu tải trọng tĩnh ta có lực tới hạn $P_{th} = 1873,7\text{N}$.

Bài toán 2: Vỏ chịu áp lực sóng xung kích phân bố đều, có quy luật $p = p_{\max} \left(1 - \frac{t}{\theta}\right)$,

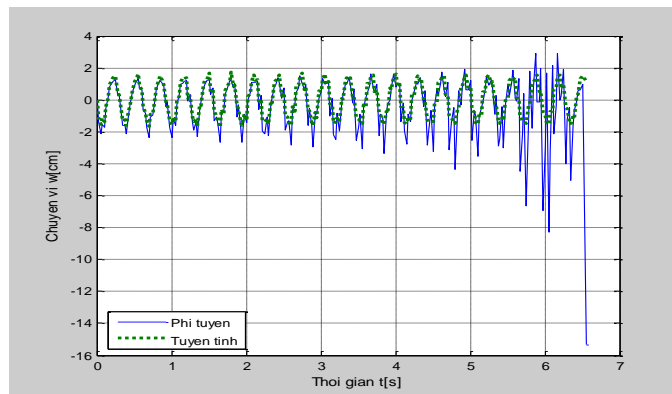
với $\theta = 0,05\text{s}$. Kết quả xác định đồ thị hình 3.6 và giá trị $p_{\max}^{th} = 30\text{N/cm}^2$.



Hình 3.6. Đáp ứng W và t của điểm chính giữa vỏ

Lớp bài toán 3: Vỏ chịu tải trọng tập trung dạng điều hòa $F = P_0 \sin pt$, với $P_0 = 10000\text{N}$, $p = 20 \text{ rad/s}$ tác dụng theo phương pháp tuyến tại điểm giữa mặt cong của vỏ.

Tiến hành giải bài toán với 2 trường hợp: bài toán tuyến tính và bài toán phi tuyến (bài toán ổn định động). Kết quả đáp ứng chuyển vị đứng W - thời gian t tại điểm giữa của vỏ thể hiện như trên hình 3.7.

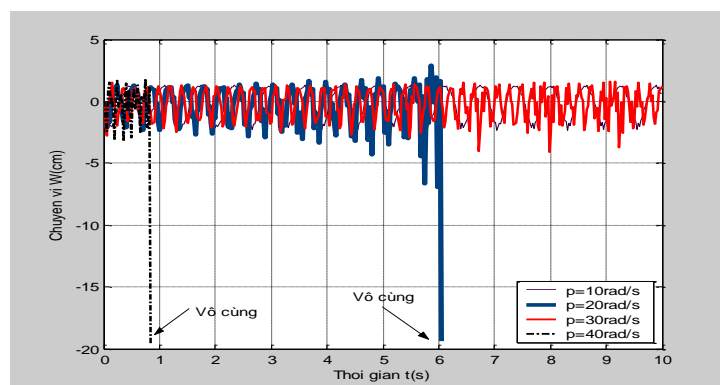


Hình 3.7. Quan hệ chuyển vị đứng W – thời gian t của điểm giữa mặt vỏ

3.6.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến ổn định động của vỏ

3.6.2.1. Ảnh hưởng của tần số tải trọng

Tính toán ổn định của vỏ với 4 tần số tải trọng tương ứng: 10 rad/s, 20 rad/s và 30 rad/s, 40 rad/s. Kết quả xây dựng được đồ thị hình 3.8.

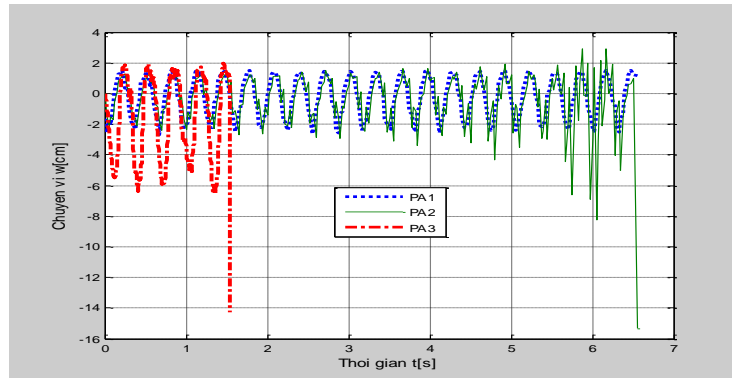


Hình 3.8. Quan hệ W và t ứng các tần số của tải trọng

3.6.2.2. Ảnh hưởng của góc đặt cốt:

Tính cho 3 trường hợp góc đặt cốt khác nhau tạo thành 3 phương án (các lớp chỉ thay đổi góc cốt, còn vị trí lớp và các số liệu khác giữ nguyên):

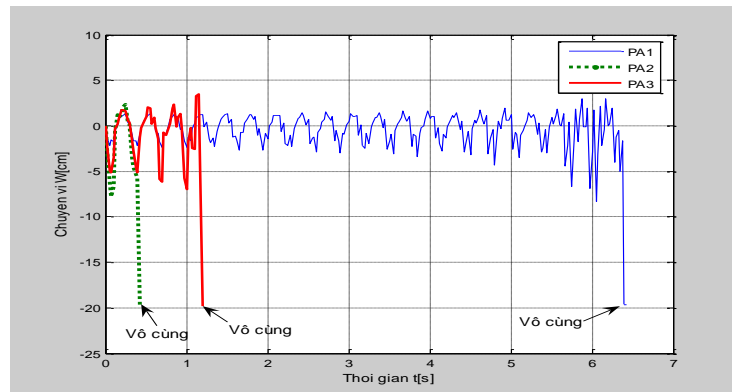
PA1: $0^0/0^0/0^0/0^0/0^0$; PA2: $90^0/0^0/45^0/0^0/90^0$; PA3: $90^0/90^0/90^0/90^0/90^0$. Kết quả xây dựng được đồ thị hình 3.9.



Hình 3.9. Quan hệ W – t với các phương án đặt góc cốt khác nhau

3.6.2.3. Ảnh hưởng của xếp lớp:

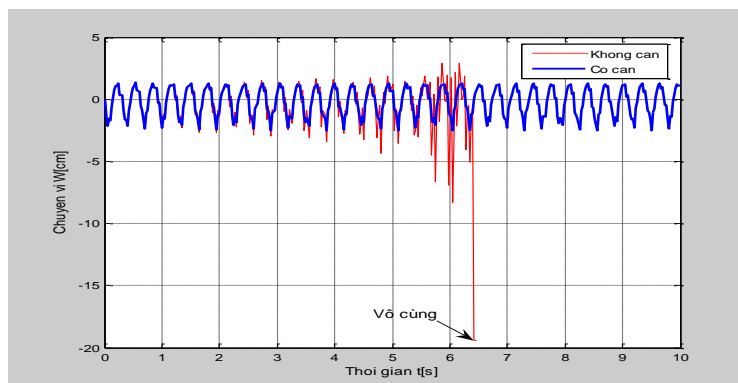
Tính toán ổn định của vỏ với số liệu bài toán xuất phát ứng với lớp bài toán 3, trong đó thay trật tự xếp các lớp theo ba phương án xếp lớp như sau: PA1: A/B/C/B/A; PA2: B/A/C/A/B; PA3: C/A/B/A/C. Kết quả xây dựng được đồ thị hình 3.10.



Hình 3.10. Quan hệ W - t ứng với 3 phương án xếp lớp khác nhau

3.6.2.4. Ảnh hưởng của căn kết cấu:

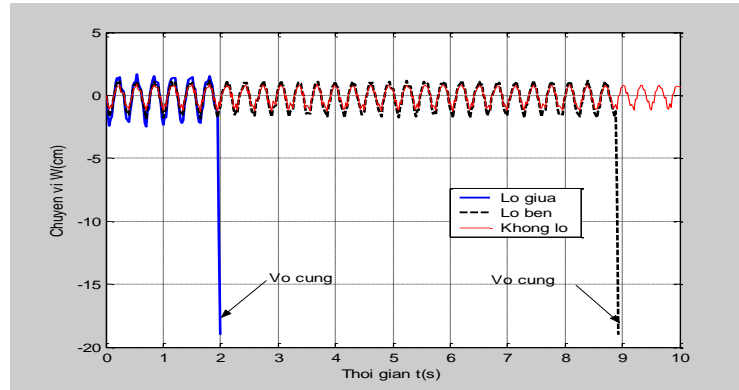
Tiến hành tính toán bài toán cho hai trường hợp: không xét đến căn và có xét đến căn. Kết quả xây dựng được đồ thị hình 3.11.



Hình 3.11. Quan hệ W và t khi không và có xét đến cản

3.6.2.5. Ảnh hưởng của lỗ khoét:

Để nghiên cứu ảnh hưởng của lỗ khoét, tiến hành giải bài toán với các số liệu như lớp bài toán 3. Trong đó biên độ tải trọng $P_0 = 6000\text{N}$, với ba trường hợp. Kết quả xây dựng được đồ thị hình 3.12.



Hình 3.12. Quan hệ W và t (ba trường hợp khác nhau)

Nhận xét chung: Qua nghiên cứu cho thấy rõ các yếu tố như : yếu tố phi tuyến hình học, góc đặt cốt, cách xếp lớp, biên độ và tần số tải trọng đều có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng ổn định động của vỏ composite lớp. Vì vậy, để tăng khả năng ổn định cho kết cấu vỏ thoải composite lớp, tùy theo mục đích, yêu cầu sử dụng mà ta có thể tính toán, điều chỉnh các thông số hình học, vật liệu của vỏ và các tham số tải trọng để lựa chọn được các phương án hợp lý.

Chương 4

THÍ NGHIỆM ỔN ĐỊNH CỦA TẤM, VỎ TRỤ COMPOSITE LỚP CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG

4.1. Mục đích thí nghiệm

- Xem xét hiện tượng mất ổn định động của tấm và vỏ composite lớp.
- Xác định chuyển vị, lực tới hạn nhằm kiểm tra tính đúng đắn của thuật toán và chương trình.

4.2. Cơ sở thí nghiệm

Các thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm Công trình tại Viện Cơ học, Phòng thí nghiệm Cơ học vật rắn tại HVKTQS với các trang thiết bị hiện đại, tin cậy và có độ chính xác cao.

4.3. Nội dung thí nghiệm

4.3.1. Thí nghiệm xác định cơ tính vật liệu composite

Thí nghiệm đối với mẫu làm bằng vật liệu composite, ta có các số liệu về cơ tính như trong bảng 4.1.

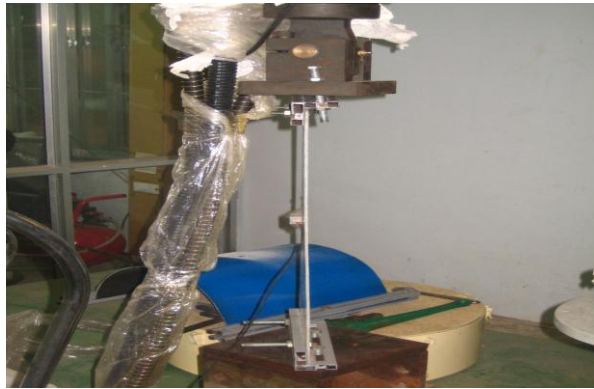
Bảng 4.1. Số liệu cơ tính của mẫu composite lớp

Mô hình thí nghiệm	E_x [N/cm ²]	E_y [N/cm ²]	ρ [kg/m ³]
Tấm	18,997. 10 ⁶	12,319. 10 ⁶	2322,82
Vỏ	14,649. 10 ⁶	10,602. 10 ⁶	2215,92

4.3.2. Thí nghiệm ổn định động tấm và vỏ composite

a. Thí nghiệm ổn định động mô hình tấm composite.

Mô hình thí nghiệm ổn định động tấm composite lớp (Hình 4.1): tấm bao gồm 5 lớp, được thiết kế và chế tạo tại học viện KTQS, có kích thước BxL là 30cmx60cm, dày h=0,4cm.

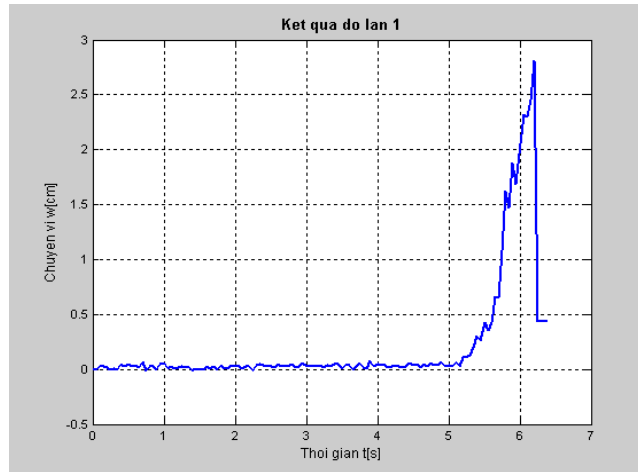


Hình 4.1. Thí nghiệm ổn định động tấm composite lớp

Tải trọng tác dụng lên kết cấu là tải điều hòa chu kỳ T:

$$P(t) = P_0 \sin pt, \quad \text{với } p = 20 \text{ rad/s.} \quad (4.1)$$

Kết quả thí nghiệm xây dựng được đồ thị trên hình 4.2.



Hình 4.2. Quan hệ chuyển vị ngang w và thời gian t tại điểm đo

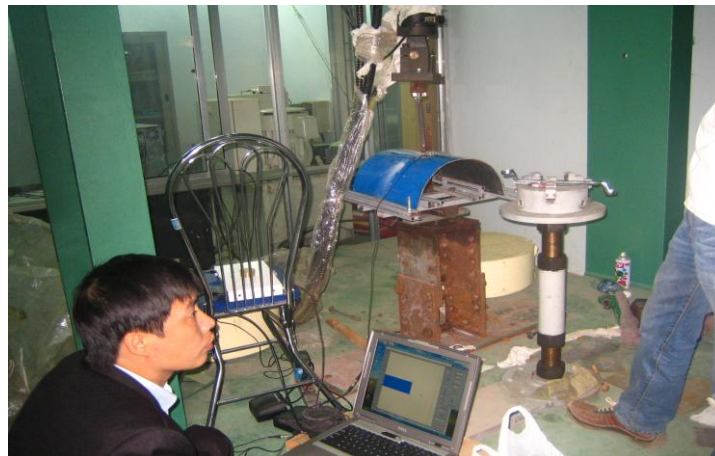
Trên cơ sở đó xác định được lực tới hạn theo thực nghiệm và tính theo lý thuyết được cho trong bảng 4.2.

Bảng 4.2. Lực tới hạn theo thực nghiệm và tính theo lý thuyết

Thí nghiệm $P_m(N)$	Tính toán lý thuyết $P_{lt}(N)$	Sai khác(%)
5235	4030	23,02

b. Thí nghiệm ổn định động của vỏ composite lớp

Mô hình thí nghiệm ổn định động vỏ composite lớp (Hình 4.3): Vỏ gồm 5 lớp, được thiết kế và chế tạo tại Học viện Kỹ thuật quân sự, có kích thước $L=60cm$, $B=40cm$, $R=40cm$, $h=0,3cm$.

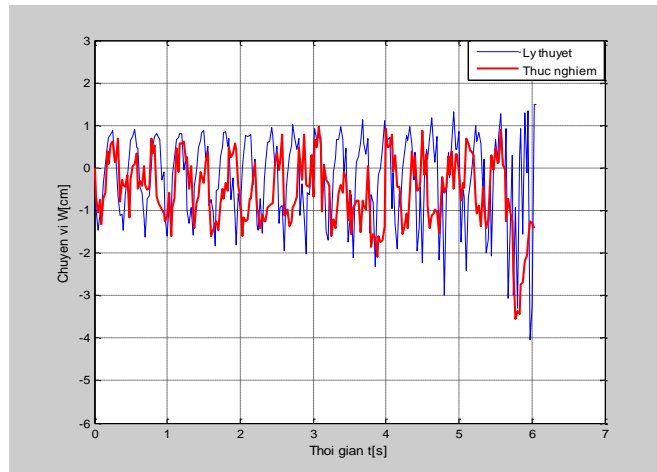


Hình 4.3. Thí nghiệm ổn định động của vỏ composite lớp

Tải trọng tác dụng lên kết cấu là tải điều hòa chu kỳ T :

$$P(t) = P_0 \sin pt, \quad \text{với } p=20 \text{ rad/s} \quad (4.2)$$

Kết quả thí nghiệm xây dựng được đồ thị chuyển vị tại điểm đo theo thời gian như trên hình 4.4.



Hình 4.4. Quan hệ chuyển vị - thời gian tại điểm giữa vỏ

Trên cơ sở đó xác định được lực tới hạn theo thực nghiệm và tính theo lý thuyết được trình bày trong bảng 4.3.

Bảng 4.3. Lực tới hạn theo thực nghiệm và tính theo lý thuyết

Biên độ lực tới hạn [N]		Sai khác(%)
<i>Thí nghiệm</i>	<i>Lý thuyết (luận án)</i>	
12670	10420	17,76

KẾT LUẬN

1. Những kết quả mới của luận án

- Xây dựng mô hình, thuật toán và chương trình tính ổn định của tấm composite lớp chịu tải trọng điều hòa tác dụng trong mặt phẳng trung bình. Bằng tính toán đã xây dựng các miền ổn định, miền cộng hưởng với các thông số khác nhau của tấm composite lớp như : tần số riêng, tần số tải trọng, biên độ tải trọng, kích thước tấm, tỷ lệ cốt, góc đặt cốt cho thấy ảnh hưởng của các thông số này tới ổn định của tấm chữ nhật composite lớp, tạo ra sự khác biệt với hiện tượng cộng hưởng thông thường. Nội dung được thể hiện trong các công trình [2], [3], [6].

- Xây dựng bài toán ổn định của vỏ trụ composite lớp có tính đến yếu tố phi tuyến hình học dưới tác dụng của tải trọng động. Ứng dụng phương

pháp phần tử hữu hạn để xây dựng các ma trận phần tử, thiết lập thuật toán và chương trình giải bài toán ổn định tĩnh, ổn định động của vỏ trụ thoải composite lớp với các dạng tải trọng khác nhau. Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố hình học và vật liệu của vỏ composite lớp, ảnh hưởng của biên độ tải trọng, tần số tải trọng, hệ số cản và lỗ khoét đến khả năng ổn định của vỏ trụ composite lớp. Qua đó đã đưa ra các đồ thị và nhận xét có tính chất tham khảo cho việc thiết kế và sử dụng kết cấu. Nội dung được thể hiện trong các công trình [1], [4], [5], [7].

- Đã xây dựng 03 chương trình bằng ngôn ngữ Matlab để giải các bài toán: Ổn định của tấm composite lớp chịu tải trọng biến đổi điều hòa tác dụng trong mặt phẳng trung bình; Ổn định tĩnh và động của vỏ trụ composite lớp Nội dung được thể hiện trong các công trình [1], [3], [5].

- Xây dựng qui trình thí nghiệm, có được bộ số liệu thí nghiệm để so sánh với kết quả tính toán lý thuyết. Qua đó đã chứng tỏ độ tin cậy của thuật toán và chương trình đã lập.

2. Kiến nghị

- Tiếp tục nghiên cứu xác định các tham số tới hạn, miền ổn định ứng với các thông số kết cấu, tải trọng, hệ số cản cho phép người thiết kế lựa chọn phương án tối ưu kết cấu.

- Phát triển thuật toán để nghiên cứu tính toán ổn định động của kết cấu tấm và vỏ composite lớp có gia cường chịu tải trọng phức tạp như lực khí động, tải trọng xung, tải trọng ngẫu nhiên, tải trọng nhiệt, động đất.