BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO **TRƯỜNG ĐẠI HỌC NHA TRANG**

PHẠM VĂN THU

NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH CỦA TẤM COMPOSITE BA PHA DÙNG TRONG CHẾ TẠO KẾT CẤU TÀU THỦY

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

KHÁNH HÒA -2020

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO **TRƯỜNG ĐẠI HỌC NHA TRANG**

PHẠM VĂN THU

NGHIÊN CỨU ỔN ĐỊNH CỦA TẤM COMPOSITE BA PHA DÙNG TRONG CHẾ TẠO KẾT CẤU TÀU THỦY

Ngành đào tạo: Kỹ thuật cơ khí động lực Mã số: 9520116

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: 1. GS.TSKH. NGUYỄN ĐÌNH ĐỨC 2. TS. NGUYỄN VĂN ĐẠT

KHÁNH HÒA -2020

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Nha Trang

Người hướng dẫn khoa học: 1. GS.TSKH. Nguyễn Đình Đức 2. TS. Nguyễn Văn Đạt

Phản biện 1: Phản biện 2: Phản biện 3:

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá Luận án cấp Trường họp tại Trường Đại học Nha Trang vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu Luận án tại: Thư viện Quốc gia và Thư viện Trường Đại học Nha Trang

TÓM TẮT NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Tên luận án: "Nghiên cứu ổn định của tấm composite ba pha dùng trong chế tạo kết cấu tàu thủy".

Ngành/chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực.

Mã số: 9520116

Nghiên cứu sinh: Phạm Văn Thu.

Khóa: 2013

Người hướng dẫn: 1. GS.TSKH Nguyễn Đình Đức.

2. TS. Nguyễn Văn Đạt.

Cơ sở đào tạo: Trường Đại học Nha Trang.

Nội dung:

1. Đã thiết lập được phương trình và tính ổn định tĩnh của tấm trực hướng composite polyme ba pha chịu tải nén theo một phương, nén đồng thời theo hai phương và tải cắt.Xác định được giá trị lực tới hạn của tấm trực hướng composite polyme ba pha trong trường hợp tất cả các cạnh của tấm là tựa đơn và ngàm. Đồng thời, đã đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố như: tải trọng, tham số và tỉ lệ thành phần vật liệu, kích thước hình học lên ổn định tĩnh của tấm composite polyme ba pha.

2. Đã thiết lập được phương trình và tính ổn định động của panel composite polyme ba pha chịu tải thủy động trong hai trường hợp tất cả các cạnh tựa đơn và ngàm. Đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố như: Cách bố trí lớp, kích thước hình học, tốc độ tàu, sự không hoàn hảo hình dáng ban đầu, thành phần vật liệu lên ổn định động của panel composite polyme ba pha. Đã khảo sát ảnh hưởng của kích thước hình học, tỉ lệ thành phần sợi hạt lên tần số dao động của panel composite ba pha. Xác định được giá trị lực tới hạn, tốc độ tới hạn của panel composite ba pha chịu tải thủy động.

3. Xây dựng được phương pháp tính ổn định của cánh nâng tàu cánh ngầm bằng phương pháp giải tích dựa trên tiêu chuẩn thiết kế kết cấu tàu cánh ngầm.Xác định được ứng suất uốn ổn định cho phép, mô men uốn cho phép của cánh. Từ đó xác định được kích thước hình dáng hình học của cánh thỏa mãn tiêu chuẩn thiết kế kết cấu tàu cánh ngầm.

4. Trong quá trình thực hiện luận án đã chế thử thành công vật liệu composite polyme ba pha (nền polyme, sợi, hạt) và tiến hành thực nghiệm xác định các mô đun đàn hồi của vật liệu. Kết quả cho thấy composite ba pha có những ưu điểm nổi trội hơn so với composite hai pha chỉ có nền và sợi. Từ đó, kết quả này được đề nghị sử dụng để nghiên cứu ổn định tĩnh và động của các kết cấu composite ba pha trên thực tế.

> TM Tập thể hướng dẫn Người hướng dẫn chính

GS.TSKH Nguyễn Đình Đức

Nghiên cứu sinh

und

Phạm Văn Thu

MỞ ĐẦU

1. Lý do thực hiện đề tài

Trong thực tế đóng tàu vật liệu composite, để chống thấm, tăng độ cứng bề mặt, chống hiện tượng xâm thực vỏ tàu và làm vật liệu khó cháy hơn, các cơ sở đóng tàu trong nước đã bổ sung vào nền polyme các hạt TiO_2 hoặc phụ gia chống cháy Firegard B. Như vậy tổ hợp vật liệu composite sẽ là ba pha: nền polyme (nhựa), sợi và các hạt. Tuy nhiên mới dừng lại ở dạng thử nghiệm chưa có công trình nghiên cứu nào về chúng.

Hiện nay, các cơ sở đóng tàu trong nước đang có nhu cầu nghiên cứu chế tạo tàu cánh ngầm bằng vật liệu composite. Cánh nâng là bộ phận có kết cấu từ các tấm chịu tải trọng lớn và phức tạp. Việc mất ổn định của chúng sẽ dẫn đến suy giảm lực nâng, và do đó làm mờ đi vai trò chủ yếu của cánh (mất ổn định của toàn bộ con tàu).

Vì vậy đề tài "Nghiên cứu ổn định của tấm composite ba pha dùng trong chế tạo kết cấu tàu thủy" của luận án là vấn đề cấp thiết có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.
2. Mục tiêu nghiên cứu

- Xác định ổn định tĩnh của tấm composite ba pha dưới tác động của tải cơ học.

- Xác định ổn định động của panel composite ba pha chịu tác dụng của tải thủy động.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Tấm và panel composite ba pha (nền polyme trên cơ sở sợi thủy tinh với hạt TiO₂) theo thứ tự là tấm vỏ của kết cấu tàu và lớp vỏ của cánh nâng tàu cánh ngầm. Phạm vi nghiên cứu là sự ổn định tĩnh (của tấm trực hướng ba pha trong ba trường hợp: nén đồng thời theo hai phương; nén theo một phương và tải cắt) và động.

4. Phương pháp nghiên cứu

- Luận án sử dụng lý thuyết tấm mỏng, phương pháp Bubnov-Galerkin và Runge-Kutta để thiết lập và giải các phương trình cơ bản với nghiệm giải tích. Các kết quả tính được so sánh với kết quả thu được của các tác giả khác và với phần mềm Ansys được sử dụng phổ biến hiện nay để kiểm tra độ chính xác của luận án.

- Chế tạo mẫu, làm thực nghiệm xác định các hệ số vật liệu composite ba pha tại phòng thí nghiệm Viện NCCT Tàu Thủy theo các quy định hiện hành của Đăng kiểm.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Các công thức được biểu diễn tường minh qua các tham số tính chất vật liệu và hình học của tấm, từ đó chúng ta có thể thay đổi các tham số này để lựa chọn tấm hợp lý, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp những cơ sở khoa học về ứng xử của vật liệu composite ba pha và các phương trình cơ bản nghiên cứu ổn định tấm ba pha là bài toán có ý nghĩa thực tiễn thường gặp trong công nghiệp đóng tàu.

6. Cấu trúc của luận án

Luận án gồm: mở đầu, bốn chương, kết luận kiến nghị, danh mục công trình nghiên cứu của tác giả liên quan đến nội dung luận án, tài liệu tham khảo, các phụ lục.

CHƯƠNG I: TỔNG QUAN VỀ LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU

Trình bày các kết quả nghiên cứu trong nước và trên thế giới về composite ba pha, ổn định tĩnh và động của tấm composite. Từ các công trình đã công bố, những yêu cầu từ thực tiễn và những hướng mở đã đề cập, NCS tập trung nghiên cứu:

- Xác định mô đun đàn hồi của composite ba pha phụ thuộc vào các tham số và tỷ lệ vật liệu thành phần.

- Nghiên cứu ổn định tĩnh của tấm (vách, boong tàu....) composite lớp trực hướng ba pha chịu tải nén đồng thời theo hai phương; chịu nén theo một phương và chịu tải cắt (gọi tắt là tải cơ học).

- Nghiên cứu ổn định động của panel composite ba pha lớp vỏ cánh nâng tàu cánh ngầm.

CHƯƠNG II: XÁC ĐỊNH MÔ ĐUN ĐÀN HỒI COMPOSITE BA PHA

Có hai phương pháp xác định các mô đun đàn hồi của vật liệu là: thực nghiệm và giải tích. Ưu điểm của thực nghiệm là xác định chính xác mô đun đàn hồi cho composite, tuy nhiên với composite ba pha là vật liệu nhiều thành phần nên thực nghiệm không phản ảnh được ảnh hưởng của các pha vật liệu thành phần lên tính chất cơ học của composite.

2.1. Xác định các hệ số đàn hồi cho composite ba pha

2.1.1. Mô hình vật liệu composite ba pha cốt sợi và hạt gia cường

Giả thiết mỗi lớp của tấm là composite ba pha cốt sợi đồng phương, khi đó mô hình composite polyme ba pha như hình 2.1. Vấn đề đặt ra đối với vật liệu composite ba pha là làm thế nào để tính được các hệ số đàn hồi vật liệu, đồng thời phải được thể hiện qua các tham số cơ học - vật lý và phân bố hình học của các vật liệu thành phần.



Hình 2.1. Mô hình composite polyme ba pha có sợi và hạt gia cường.

2.1.2. Mô hình tính toán xác định các hệ số đàn hồi của vật liệu composite ba pha

Composite ba pha đã được đề xuất nghiên cứu và giải quyết, vấn đề khoa học đặt ra theo các phương pháp trong [13,97], tức là được giải quyết từng bước theo mô hình hai pha trên quan điểm được mô tả bởi công thức:

$$1D_m = O_m + 1D \tag{2.1}$$

Bước thứ nhất: xem xét composite hai pha gồm: pha nền ban đầu và các hạt độn, composite như vậy được xem là đồng nhất, đẳng hướng và có 2 hệ số đàn hồi. Các hệ số đàn hồi của composite O_m lúc này được gọi là composite giả định.

Bước thứ hai: xác định các hệ số đàn hồi của composite giữa nền giả định và các sợi gia cường.

2.1.3. Xác định các hệ số đàn hồi của vật liệu

Giả thiết các thành phần của composite (nền, sợi, hạt) là đồng nhất, đẳng hướng, khi đó chúng ta ký hiệu E_m , G_m , v_m , ψ_m ; E_a , G_a , v_a , ψ_a ; E_c , G_c , v_c , ψ_c tương ứng

là các mô đun đàn hồi, hệ số poisson và tỉ lệ thành phần (theo thể tích) của nền, sợi và các hạt. Theo [120], nhận được các mô đun đàn hồi của composite giả định như sau:

$$\overline{G} = G_m \frac{1 - \psi_c (7 - 5\nu_m)H}{1 + \psi_c (8 - 10\nu_m)H} \qquad \overline{K} = K_m \frac{1 + 4\psi_c G_m L (3K_m)^{-1}}{1 - 4\psi_c G_m L (3K_m)^{-1}}$$
(2.2-2.3)

Với:
$$L = \frac{K_c - K_m}{K_c + \frac{4G_m}{3}}; H = \frac{G_m / G_c - 1}{8 - 10\nu_m + (7 - 5\nu_m)\frac{G_m}{G_c}}$$
 (2.4)

$$G_{i} = \frac{E_{i}}{2(1+\nu_{i})} \text{ với } i = m, a, c. \ \overline{E}, \overline{\nu} \text{ được tính từ } \overline{K}, \overline{G} \text{ như sau:}$$

$$\overline{E} = \frac{9\overline{K}\overline{G}}{3\overline{K}+\overline{G}} \qquad \overline{\nu} = \frac{3\overline{K}-2\overline{G}}{6\overline{K}-2\overline{G}} \qquad (2.5)$$

 $\overline{G}, \overline{K}$: Mô đun đàn hồi trượt và mô đun khối của nền giả định

Mô đun đàn hồi composite ba pha cốt sợi đồng phương được chúng tôi chọn xác định theo các công thức của G.S Vanin [119] với 6 hệ số độc lập như sau:

$$\begin{split} E_{11} &= \psi_{a}E_{a} + (1 - \psi_{a})\overline{E} + \frac{8\overline{G}\psi_{a}(1 - \psi_{a})(v_{a} - \overline{v})}{2 - \psi_{a} + \overline{\chi}\psi_{a} + (1 - \psi_{a})(\chi_{a} - 1)\frac{\overline{G}}{G_{a}}} \\ E_{22} &= \begin{cases} \frac{v_{21}^{2}}{E_{11}} + \frac{1}{8\overline{G}} \left[\frac{2(1 - \psi_{a})(\overline{\chi} - 1) + (\chi_{a} - 1)(\overline{\chi} - 1 + 2\psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{2 - \psi_{a} + \overline{\chi}\psi_{a} + (1 - \psi_{a})(\chi_{a} - 1)\frac{\overline{G}}{G_{a}}} + 2\frac{\overline{\chi}(1 - \psi_{a}) + (1 + \psi_{a}\overline{\chi})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{\overline{\chi} + \psi_{a} + (1 - \psi_{a})(\overline{\chi} - 1)} \right] \end{cases}^{-1} \\ G_{12} &= \overline{G}\frac{1 + \psi_{a} + (1 - \psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{1 - \psi_{a} + (1 + \psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}; \\ G_{12} &= \overline{G}\frac{1 + \psi_{a} + (1 - \psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{1 - \psi_{a} + (1 + \psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}; \\ G_{23} &= -\frac{E_{22}v_{21}^{2}}{E_{11}} + \frac{E_{22}}{8\overline{G}} \left[2\frac{(1 - \psi_{a})\overline{\chi} + (1 + \psi_{a}\overline{\chi})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{\overline{\chi} + \psi_{a} + (1 - \psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}} - \frac{2(1 - \psi_{a})(\overline{\chi} - 1) + (\chi_{a} - 1)(\overline{\chi} - 1 + 2\psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{2 - \psi_{a} + \overline{\chi}\psi_{a} + (1 - \psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}} \right] \\ v_{23} &= -\frac{E_{22}v_{21}^{2}}{E_{11}} + \frac{E_{22}}{8\overline{G}} \left[2\frac{(1 - \psi_{a})\overline{\chi} + (1 + \psi_{a}\overline{\chi})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{\overline{\chi} + \psi_{a} + (1 - \psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}} - \frac{2(1 - \psi_{a})(\overline{\chi} - 1) + (\chi_{a} - 1)(\overline{\chi} - 1 + 2\psi_{a})\frac{\overline{G}}{G_{a}}}{2 - \psi_{a} + \overline{\chi}\psi_{a} + (1 - \psi_{a})(\chi_{a} - 1)\frac{\overline{G}}{\overline{G}_{a}}} \right] \\ v_{21} &= \overline{v} - \frac{(\overline{\chi} + 1)(\overline{v} - v_{a})\psi_{a}}{2 - \psi_{a} + \overline{\chi}\psi_{a} + (1 - \psi_{a})(\chi_{a} - 1)\frac{\overline{G}}{\overline{G}_{a}}} \\ V \circ i \ \overline{\chi} = 3 - 4\overline{v} \ ; \ \chi_{a} = 3 - 4v_{a} \ ; v_{12} = \frac{E_{11}}{E_{22}}v_{21} \\ \mathbf{2.2. Tinh toán số và thực nghiệm} \end{split}$$

2.2.1. Tính toán số

Xem xét ảnh hưởng của sợi và hạt tới tính chất cơ lý của composite ba pha theo thuật toán nêu trên, xét vật liệu composite ba pha có các đặc trưng trong bảng 2.1: Bảng 2.1: Thông số vật liệu thành phần composite.

Nền polyester AKA (Việt Nam)	$E_{m} = 1.43$	v _m =0.345
Cốt sợi thuỷ tinh (Hàn Quốc)	$E_{a} = 22.0$	va=0.24
Hạt TiO ₂ (Australia)	$E_{c} = 5.58$	vc=0.20

Thay các giá trị trong bảng 2.1 vào các công thức $(2.2) \div (2.6)$ xác định được các hệ số đàn hồi của composite ba pha được biểu diễn như ở các hình $2.2 \div 2.4$.



2.2.2. Thực nghiệm

Mục tiêu làm thực nghiệm để kiểm chứng kết quả lý thuyết vừa tìm được. Vật liệu thành phần chế tạo mẫu như trong bảng 2.1. Quy cách chế tạo mẫu theo 4 tổ hợp: 1) 20% TiO₂+15% Sợi; 2) 20% TiO₂+20% Sợi; 3) 20% TiO₂+25% Sợi; 4) 20% TiO₂+30% Sợi. Mẫu kéo được gia công theo tiêu chuẩn BS EN ISO 527-4: 1997 với bxh=10x3÷4mm như hình 2.5.





Hình 2.4. Đồ thị quan hệ giữa v_{21} , v_{23} với ψ_a

Thiết bị thử HOUNSFEILD H50K-S của Anh, tải tối đa 50000N, độ chính xác của lực và độ dãn dài theo thứ tự là $\pm 0.5\%$ và $\pm 0.05\%$ được thể hiện ở hình 2.6.







Kết quả tính toán lý thuyết theo công thức (2.2)- (2.6) so sánh với thực nghiệm [18] được trình bày trên bảng 2.3.

Composito ha nha		Kết quả (MPa)	
Composite da pila		E ₁₁	E ₂₂
200/ 7:0 150/ 30000	Thực nghiệm	5064.9	2680.3
20%1102 + 15%00000 + 65% nhura AKA	Lý thuyết	4791.1	2553.2
	Sai số	5.71%	4.98%
200/ T:O 1 200/ W200	Thực nghiệm	5620.1	2951.7
20% 1102 + 20% 0000000000000000000000000000000	Lý thuyết	5785.9	2728.2
	Sai số	2.87%	8.19%
200/ T:0 1 250/ 33/900	Thực nghiệm	6570.2	3106.1
20%1102 + 25%000000 + 55% nhura AKA	Lý thuyết	6782.9	2905.4
	Sai số	3.14%	6.91%
200/ 7:0 . 200/ 10000	Thực nghiệm	6258.4	2663.4
20% 1102 + 30% W800	Lý thuyết	7782.2	3088.4
	Sai số	19.58%	13.76%

Bảng 2.3: Kết quả so sánh giữa lý thuyết và thực nghiệm khi có mặt 20% TiO₂.

Ngoài ra, còn có kết quả lý thuyết và thực nghiệm với vật liệu nhựa 9509 như sau: Bảng 2.4: Thông số vật liệu thành phần composite.

Nền polyester 9509 (Malaysia)	$E_{m} = 1.50$	v _m =0.34
Cốt sợi thuỷ tinh E (Trung Quốc)	$E_a = 25.0$	v _a =0.24
Hạt TiO ₂ (Australia)	$E_{\rm c}=5.58$	vc=0.20

Bảng 2.5: Kết quả so sánh giữa lý thuyết và thực nghiệm khi có mặt 5% TiO₂.

Composite he phe		Kết quả (MPa)	
Composite da plia		E ₁₁	E ₂₂
50/ T:O 1 250/ W/200 1	Thực nghiệm	7905.6	2497.2
5%1102 + 25%00000 + 70% nhuso 0500	Lý thuyết	7367.5	2629.0
7070 miųa 9309	Sai số	7.30%	5.01%
50/ T:O · 200/ WOOD ·	Thực nghiệm	9104.7	2695.4
5% 1102 + 30% W 800 + 65% nhựa 9509	Lý thuyết	8529.0	2805.7
	Sai số	6.75%	3.93%
	Thực nghiệm	11389.2	3353.0
5%1102 + 40%W800 + 55% nhus 0500	Lý thuyết	10858.1	3190.3
5570 miųa 9509	Sai số	4.89%	5.10%

Bảng 2.3 và 2.5 cho thấy: - Trong thực tế thi công vật liệu composite, tỉ lệ tốt giữa cốt và nền là vào khoảng 45%÷55%, kết hợp kết quả nghiên cứu cho thấy có sự phù hợp khá tốt giữa kết quả tính theo lý thuyết với thực nghiệm.

- Ảnh hưởng của sợi đến cơ tính của vật liệu tốt hơn so với hạt TiO₂.

Qua kết quả thu được cho phép chúng ta tự tin khi sử dụng công thức tính các hệ số đàn hồi của vật liệu và thuật toán đã được đề cập ở trên.

2.3. Kết luận chương 2

Xác định được các mô đun đàn hồi cho composite ba pha, phụ thuộc vào các tham số và tỷ lệ vật liệu thành phần. Ưu điểm của phương pháp này là có thể tính, dự báo trước các giá trị của mô đun đàn hồi, là cơ sở tính thiết kế tối ưu hóa vật liệu mới.

CHƯƠNG III: ỔN ĐỊNH TĨNH CỦA TẤM COMPOSITE BA PHA DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA TẢI CƠ HỌC

Trong thực tế đóng tàu vật liệu composite, khi bổ sung vào nền polyme các hạt phụ gia chống cháy, hoặc hạt TiO_2 để tăng độ cứng bề mặt và chống hiện tượng xâm thực vỏ tàu thì cơ tính của tấm sẽ thay đổi [18]. Như vậy, khi cơ tính của tấm thay đổi đáng kể sẽ ảnh hưởng đến khả năng chịu tải và ổn định của kết cấu.

Trong phần này sẽ trình bày lời giải về ổn định tĩnh của tấm composite ba pha dưới tác động của tải cơ học xét cho trường hợp cụ thể pha thứ ba là hạt TiO_2 và cũng chính là phương pháp tổng quát khi thay thế pha này bằng một chất độn khác.

3.1. Phân loại ổn định và tiêu chuẩn ổn định

3.1.1. Phân loại ổn định

- Mất ổn định loại I là trường hợp tải tới hạn đạt được tại điểm rẽ nhánh.

 Mất ổn định loại II là trường hợp tải tới hạn đạt được ở điểm cực trị của đường cong độ võng – tải trọng.

3.1.2. Các tiêu chuẩn ổn định

Để nghiên cứu ổn định tĩnh của hệ đàn hồi, các tiêu chuẩn có thể sử dụng: tiêu chuẩn chuyển động, tiêu chuẩn tĩnh, tiêu chuẩn năng lượng....Luận án sử dụng tiêu chuẩn tĩnh đối với bài toán nghiên cứu ổn định tĩnh.

3.2. Phương trình cơ bản ổn định tĩnh

Từ những tài liệu [20, 25, 26, 70, 71] và sổ tay thiết kế [49], và hướng ứng dụng rộng rãi trong thực tế, bên cạnh đó hầu hết vật liệu composite dùng trong đóng tàu ở Việt Nam hiện nay có cấu hình trực hướng, NCS lựa chọn tấm trực hướng để làm cơ sở xây dựng phương trình ổn định tĩnh cho tấm composite ba pha. Phương trình ổn định của tấm trực hướng là:

 $D_{11} \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w_0}{\partial y^4}$

$$= N_x \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} + q$$
(3.23)

3.2.1. Ôn định của tấm trực hướng ba pha chịu nén đông thời theo hai phương

Theo (3.23) phương trình chủ đạo ổn định của tấm trực hướng tựa bản lề trên bốn cạnh và chịu nén đều với lực $N_x = -N_0$ và $N_y = -\beta N_0$, không có tải trọng ngang là:

$$D_{11}\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66})\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22}\frac{\partial^4 w_0}{\partial y^4} = -N_0\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} - \beta N_0\frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2}$$
(3.24)

Diều kiện biên:- Khi x = 0 và x = a: $w_0 = 0$; $M_x = -D_{11} \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} - D_{12} \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} = 0$ - Khi y = 0 và y = b: $w_0 = 0$; $M_y = -D_{12} \frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} - D_{22} \frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} = 0$

Thế hàm $w_0(x, y) = A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$ vào (3.24) cho ta nghiệm N₀ phụ thuộc vào ψ_a , ψ_c , a/b và e, tương ứng là tỉ lệ thể tích của sợi, hạt và kích thước hình học của tấm:

$$N_{0} = N_{(\psi_{a},\psi_{c},a/b,e)} = \frac{\pi^{2} \left[(P_{1}+1)P_{2}m^{4} + 2\left(\nu_{21}P_{2} + \frac{e^{3}}{6}G_{12}\right)m^{2}n^{2}R^{2} + \left(\frac{E_{22}}{E_{11}} - P_{1}\right)P_{2}n^{4}R^{4} \right]}{a^{2}(m^{2} + \beta n^{2}R^{2})}$$
(3.27)

Trong đó: $P_1 = (R_Q - 1)\alpha = \left(\frac{E_{22}}{E_{11}} - 1\right)\alpha$ và $P_2 = \frac{e^3}{12} \frac{E_{11}}{1 - \nu_{12}^2 R_Q} = \frac{e^3}{12} \frac{E_{11}}{1 - \nu_{12}^2 \frac{E_{22}}{E_{11}}}$

Phương trình (3.27) là phương trình với các biến: ψ_a , ψ_c , a/b và e được dùng để nghiên cứu ổn định của tấm trực hướng ba pha chịu nén đồng thời theo hai phương. Lực tới hạn tương ứng với các giá trị m và n làm cho N₀ nhỏ nhất. Với m = n = 1 biểu thức (3.27) trở thành:

$$N_{th}(1,1) = \frac{\pi^2 \left[(P_1 + 1)P_2 + 2\left(\nu_{21}P_2 + \frac{e^3}{6}G_{12}\right)R^2 + \left(\frac{E_{22}}{E_{11}} - P_1\right)P_2R^4 \right]}{a^2(1 + \beta R^2)}$$
(3.28)

3.2.2. Ôn định của tấm trực hướng ba pha chịu nén theo một phương

Xét tấm chữ nhật tựa bản lề trên bốn cạnh (điều kiện biên như mục 3.2.1) và chịu nén theo phương x, khi đó $\beta=0$ và (3.27) trở thành:

$$N_{0} = N_{(\psi_{a},\psi_{c},a/b,e)} = \frac{\pi^{2} \left[(P_{1}+1)P_{2}m^{4} + 2\left(\nu_{21}P_{2} + \frac{e^{3}}{6}G_{12}\right)m^{2}n^{2}R^{2} + \left(\frac{E_{22}}{E_{11}} - P_{1}\right)P_{2}n^{4}R^{4} \right]}{m^{2}a^{2}}$$
(3.29)

Phương trình (3.29) là phương trình với các biến: ψ_a , ψ_c , a/b và e được dùng để nghiên cứu ổn định của tấm trực hướng ba pha chịu nén theo một phương.

Giá trị bé nhất của N₀ ứng với n = 1 xảy ra tại $R = [m(m+1)]^{1/2} \left(\frac{P_1+1}{\frac{E_{22}}{E_{11}} - P_1}\right)^{1/4}$ là:

$$=\frac{\pi^{2}\left[(P_{1}+1)P_{2}m^{4}+2\left(\nu_{21}P_{2}+\frac{e^{3}}{6}G_{12}\right)m^{2}R^{2}+\left(\frac{E_{22}}{E_{11}}-P_{1}\right)P_{2}R^{4}\right]}{m^{2}a^{2}}$$
(3.30)

3.2.3. Ôn định của tấm trực hướng ba pha chịu cắt

Xét tấm composite trực hướng, kích thước = a x b, ngàm bốn cạnh, chịu tải cắt N_{xy} .

Diều kiện biên:- Khi x = 0 và x = a:
$$w_0 = 0$$
; $\frac{\partial w_0}{\partial x} = 0$
- Khi y = 0 và y = b: $w_0 = 0$; $\frac{\partial w_0}{\partial y} = 0$

Kết hợp [119, 120], [27] và [56, 114] ta thu được S_{th} tải ổn định tới hạn của tấm composite polyme ba pha phụ thuộc vào ψ_a , ψ_c , a/b và e như sau:

 $S_{th} = N_{\left(\psi_a, \psi_c, \frac{a}{b}, e\right)} = \frac{k_s \pi^2 \sqrt[4]{\left(P_1 + 1\right)P_2\left[\left(\frac{E_{22}}{E_{11}} - P_1\right)P_2\right]^3}}{b^2}$ (3.33)

Trong đó: Thông số ổn định k_s được xác định từ [68]

$$\theta_{(\psi_a,\psi_c,e)} = \frac{\sqrt{(P_1+1)P_2(\frac{E_{22}}{E_{11}} - P_1)P_2}}{\nu_{21}P_2 + \frac{e^3}{6}G_{12}}; \qquad B_{(\psi_a,\psi_c,\frac{a}{b},e)} = \frac{b}{a} \sqrt[4]{\frac{(P_1+1)P_2}{(\frac{E_{22}}{E_{11}} - P_1)P_2}}$$

Phương trình (3.33) dùng để nghiên cứu ổn định của tấm trực hướng ba pha chịu cắt. **3.3. Khảo sát ổn định của tấm composite ba pha dưới tác động của tải cơ học**

có kích sát tấm composite ba pha xếp Khảo thước axb. lớp $7(90/0) \equiv [90/0/90/0/90/0/90]$ và $7(0/90) \equiv [0/90/0/90/0/90/0]$, tấm được cấu tao từ: Nền AKA $E_{m} = 1.43 \text{ GPa}$; $v_m = 0.345$ • Cốt sợi thuỷ tinh $E_a = 22.0 \text{ GPa}$; $v_a = 0.24$: (3.34)Hat TiO₂ $E_{c} = 5.58 \text{ GPa}$; $v_c = 0.20$

3.3.1. Ôn định của tấm trực hướng ba pha chịu nén đồng thời theo hai phương

Thay các giá trị (3.34) vào công thức (3.28) có kết quả minh hoạ ở các hình sau:

3.3.1.1. Ảnh hưởng tỉ lệ sợi, hạt lên lực tới hạn của tấm chịu nén hai phương:

- Khi tỉ lệ sợi và hạt tăng khả năng chịu nén theo hai phương của tấm tăng. Tấm trực hướng có tỉ lệ 25% sợi + 20% hạt có khả năng ổn định tốt hơn 12% so với tấm trực hướng có tỉ lệ 20% sợi + 25% hạt.



Trình tự xếp lớp ảnh hưởng đến ổn định của tấm, giữa hai tấm giá trị chênh lệch từ 5÷8% (tấm 7(90/0) chịu lực tốt hơn tấm 7(0/90)).

3.3.1.2. Ảnh hưởng của hệ số R=a/b, e lên lực tới hạn của tấm chịu nén hai phương - Tấm trực hướng có tỉ lệ hình học tăng 2 lần và thay thế 5% sợi bằng 5% hạt (khi đó tỷ lệ sợi là 20%), khả năng chịu lực tới hạn giảm 44%. Cho thấy 20% sợi chưa phải là tỷ lệ hợp lý (phải lớn hơn 20%) của tấm composite trong việc chịu lực.

- Tấm trực hướng có tỉ lệ 40% sợi + 20% hạt, khi chiều dày thay đổi từ 2.5 \div 5.5mm và nếu thay thế 5% sợi bằng 5% hạt thì ổn định của tấm sẽ giảm 11 \div 12%.



3.3.2. Ôn định của tấm trực hướng ba pha chịu nén theo một phương

Thay các giá trị (3.34) vào công thức (3.30) có kết quả minh hoạ ở các hình sau:

3.3.2.1.Ånh hưởng tỉ lệ sợi, hạt lên lực tới hạn của tấm chịu nén một phương.

- Khi tỉ lệ sợi và hạt tăng khả năng chịu nén theo một phương của tấm tăng, ảnh hưởng của sợi lên ổn định của tấm tốt hơn hạt.

- Tấm trực hướng có tỉ lệ 25% sợi + 20% hạt có khả năng ổn định tốt hơn 13% so với tấm trực hướng có tỉ lệ 20% sợi + 25% hạt chịu nén theo một phương.





- Tấm trực hướng có tỉ lệ hình học tăng 2.5 lần (R=2.5), khả năng ổn định giảm 10% khi chịu nén theo một phương.

- Khi chiều dày thay đổi từ 2.5÷5.5mm, nếu thay thế 5% sợi bằng 5% hạt (khi đó tỷ lệ sợi là 20%) thì ổn định của tấm sẽ giảm 8 ÷ 12%.

Như vậy, tỉ lệ hình học có vai trò quan trọng trong việc chịu lực và đảm bảo tính ổn định của tấm khi chịu nén theo một phương.



3.3.3. Ôn định của tấm trực hướng ba pha chịu cắt

Thay các giá trị (3.34) vào công thức (3.33) có kết quả minh hoạ ở các hình sau: 3.3.3.1. Ảnh hưởng của tỉ lệ sợi, hạt lên lực tới hạn của tấm chịu tải cắt.

- Tấm trực hướng có tỉ lệ 25% sợi + 20% hạt có khả năng ổn định tốt hơn 12.6% so với tấm trực hướng có tỉ lệ 20% sợi + 25% hạt khi chịu tải cắt. Như vậy, tỉ lệ sợi có vai trò quan trọng trong việc chịu lực và đảm bảo tính ổn định của tấm khi chịu cắt.

- Khả năng chịu cắt của tấm có thành phần ($\psi_a=0.4$, $\psi_c=0.2$) gấp (1.48÷1.51) lần khả năng chịu cắt của tấm có thành phần ($\psi_a=0.2$, $\psi_c=0.4$).



3.3.3.2. Ảnh hưởng hệ số R=a/b, e lên lực tới hạn của tấm chịu tải cắt.

- Khi hệ số R tăng thì lực tới hạn của tấm chịu tải cắt giảm, mới đầu giảm nhanh sau đó giảm chậm dần. R tăng từ 1.25÷2.5 lần thì S_{th} giảm 0.77 lần.

- Tấm trực hướng có tỉ lệ hình học tăng 2 lần và thay thế 5% sợi bằng 5% hạt (khi đó tỷ lệ sợi là 20%) khả năng ổn định giảm 37%.



3.3.4. So sánh kết quả với một số nghiên cứu khác

Trong hai trường hợp: nén đồng thời theo hai phương và một phương, thu được kết quả giống với nghiên cứu của Leissa [68].

3.4. Kết luận chương 3

- Đã thiết lập được các phương trình (3.28), (3.30) và (3.33) dùng để phân tích ổn định của tấm trực hướng ba pha chịu tải cơ học.

- Đã khảo sát ổn định của tấm trực hướng ba pha chịu tải cơ học. Xác định được ảnh hưởng của tham số vật liệu và tỉ lệ thành phần sợi, hạt, kích thước hình học tấm (hệ số R và chiều dày e), và cấu hình lên ổn định của tấm.

CHƯƠNG IV: ỔN ĐỊNH ĐỘNG CỦA PANEL COMPOSITE BA PHA

Mô hình tính cánh được biểu diễn ở hình 4.1.b. Như vậy, có thể thấy khó khăn nhất là giải quyết được bài toán ổn định của cánh khi liên kết cứng trên hai trụ giữa.





Hình 4.1.a. Tàu cánh ngầm (Hydrofoil boat)

Hình 4.1.b. Bố trí cánh nâng gắn vào vỏ tàu cánh ngầm.

Trước tiên, để giải quyết vấn đề cần xác định các giới hạn cho phép để cánh ngầm đảm bảo ổn định. Sau đây là một số tiêu chuẩn ổn định được xem xét đánh giá: 4.1. Tiêu chuẩn ổn định 4.1.1. Tiêu chuẩn 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 biên độ tăng đột ngột thì hệ mất ổn định. Các giá trị ứng với thời điểm lân cận thời điểm biên độ tăng đột ngột được gọi là các giá trị tới hạn.

4.1.2. Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu tàu cánh ngầm (Hydrofoil ship) [81]

4.1.2.1. Phương pháp xác định ứng suất ổn định và mô men uốn cho phép

Theo [81] xác định được ứng suất ổn định uốn và mô men uốn cho phép của cánh và thanh giằng (trụ chống) tàu cánh ngầm.

4.1.2.2. Xác định kích thước cánh ngầm từ tiêu chuẩn ổn định.

• Đối với trường hợp cánh bằng vật liệu nhôm.

Giả sử cánh ngầm được chế tạo từ nhôm 5456 có: $\sigma_{ch}=19$ (Ksi) và E=10300 (Ksi). Chọn cánh NACA 16-018 có c=4(ft), chiều dày vỏ t=½(inch) và bề rộng panel không tựa b=305.3(mm). Khi đó b/t=24, theo [81] xác định được hình dạng và kích thước cánh thỏa mãn ứng suất ổn định uốn và mô men uốn cho phép như hình 4.5.

Từ thông số động lực học của cánh [140], và theo [48,81,143] xác định được lực nâng tác dụng lên cánh:

$$L = \frac{1}{2}\rho C_L S V^2 \tag{4.4}$$

Mô men uốn cực đại xuất hiện ở các mút dầm cố định:

$$M_{max} = \frac{w'l^2}{12}$$

Thay các giả trị vào (4.5) có: $M_{max} = 155144 < M_{cp} = 206026.5$ (N.m) (Thỏa mãn) (**) Độ võng cực đại của cánh tại vị trí giữa hai ngàm:

$$f_{max} = \frac{w'l^4}{384EJ_y} \tag{4.6}$$

Thay các giá trị vào (4.6) và kết hợp (*) có: $f_{max}=0.0013 < f_{cp} = \frac{M_{cp}l^2}{32EJ_{y,cp}} =$

 $0.0019 (m)^{(1)}$ (Thỏa mãn) (***).

Ứng suất uốn cực đại sinh ra ở lớp da trên cánh:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{J_y} z \tag{4.7}$$

Trong đó: z = h/2=0.11 (m): tại vị trí lớp da trên cánh;

Thay các giá trị vào (4.7) ta có: $\sigma_{max} = 79.45 < \sigma_{cr} = 118.04$ (MPa) (Thỏa mãn) (****).

Nhận xét: Kết hợp (**), (***) và (****) cánh có tiết diện như hình 4.5 thỏa mãn ổn định tĩnh với khoảng cách 2 ngàm lớn nhất là 2 (m).



(4.5)

hướng [139]



Đối với trường hợp cánh bằng vật liệu composite.

Đưa cánh nhôm đã xét ở trên về composite theo mô hình tương đương như sau:

- Kích thước và hình dáng (bên ngoài) thủy động học là giống nhau;

- Các giá trị như: Mô men uốn cực đại, độ võng cực đại của cánh, ứng suất uốn cực đại sinh ra ở lớp da trên cánh đều nằm trong giới hạn cho phép đã đề cập ở trên.

Hai mô hình này tương đương khi giá trị độ cứng của mô hình cánh vật liệu nhôm

bằng độ cứng của mô hình cánh composite, nghĩa là: $E_{Al}J_{Al} = E_CJ_C$. Mặt khác, để đảm bảo bền theo mọi phương, ở đây sẽ lấy giá trị độ bền và độ cứng theo phương 45^0 để tính [18]. Hoặc sắp xếp các lớp sợi theo thứ tự như hình (4.9), vật liệu tựa



đẳng hướng. Hiệu chỉnh dần kích thước cánh và các gân gia cường, lựa chọn được cánh có tiết diện ngang với mô men quán tính phù hợp với giá trị mong muốn. Từ những luận giải trên cánh composite có kích thước như hình 4.10 tương đương với cánh nhôm.

4.1.2.3. Xác định độ võng cho phép từ tiêu chuẩn ổn định

Tương tự 4.1.2.2, thống kê số liệu tính độ võng cho phép của cánh NACA 16-018 bằng vật liệu nhôm 5456 với $c = 1 \div 7$ (*ft*). Mặt khác: Thế (4.7) vào (4.6) ta có:

$$f_{cp} = \frac{l^2}{32E} \frac{\sigma_{cr}}{z} \tag{4.8}$$

Bằng phương pháp bình phương tối thiểu xây dựng được các đường cong và hàm hồi quy của mối liên hệ hàm số giữa f_{cp} và các biến c, σ_{cr} .

STT	THÔNG SỐ CÁNH	HÀM HÔI QUY			
		Phương trình	Độ tin cậy		
01	Cánh có $c = 2(ft)$	$y = 3.208236226.10^{-5}x$	$R^2 = 0.999$		
02	Cánh có $c = 3(ft)$	$y = 2.138850140.10^{-5}x$	$R^2 = 0.999$		
03	Cánh có $c = 4(ft)$	$y = 1.600151054.10^{-5}x$	$R^2 = 0.999$		
04	Cánh có $c = 5(ft)$	$y = 1.283388059 \cdot 10^{-5}x$	$R^2 = 0.999$		
05	Cánh có $c = 6(ft)$	$y = 1.069412075 \cdot 10^{-5} x$	$R^2 = 0.999$		
06	Cánh có $c = 7(ft)$	$y = 9.166389217 \cdot 10^{-6} x$	$R^2 = 0.999$		

Bảng 4.6: Phương trình hồi quy độ võng cho phép của cánh.

Từ các số liệu thu thập xây dựng được các đường cong hồi quy thể hiện ở hình 4.12:

Nhận xét: - Kết quả cho thấy dễ xác định được giá trị độ võng cho phép thông qua hàm hồi quy.

- Các giá trị thu được ở hình 4.12 là tiêu chuẩn đánh giá ổn định của cánh ngầm.

- Độ võng tỉ lệ thuận với bình phương khoảng cách hai gối (giá trị trên hình 4.12 được xây dựng với khoảng cách hai gối l = 2(m)).

Hình 4.12. Đường cong hồi quy độ võng cho phép của cánh

4.2. Phương trình ổn định động của panel composite ba pha chịu tác dụng của tải thủy động.

Xét panel composite ba pha là lớp vỏ của cánh nâng có kích thước và chịu tác dụng của tải thủy động: lực nâng q_1 và lực cản q_2 như hình 4.13. Ở đây lý thuyết vỏ cổ điển được sử dụng để thiết lập

Hình 4.13. Hình dạng và hệ tọa độ của panel composite ba pha trên nền đàn hồi.

phương trình chủ đạo và xác định đáp ứng phi tuyến của panel composite.

Phương trình chuyển động phi tuyến của panel composite dựa trên lý thuyết tấm cổ điển ([27], [91], [105]), kết hợp giả thiết Volmir (Volmir 1972) $u \ll w, v \ll w, \rho_1 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \rightarrow 0, \rho_1 \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \rightarrow 0$ ta có.

$$N_{x,x} + N_{xy,y} = 0, (4.22a)$$

$$N_{xy,x} + N_{y,y} = 0, (4.22b)$$

$$M_{x,xx} + 2M_{xy,xy} + M_{y,yy} + N_x w_{,xx} + 2N_{xy} w_{,xy} + N_y w_{,yy} + q_1 + q_2 - k_1 w + k_2 \nabla^2 w + \frac{N_y}{R} = \rho_1 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$
(4.22c)

Trong đó: ρ_1 = ρ h với ρ =1550 (kg/m³) là khối lượng riêng của panel composite và q₁, q₂ được xác định theo công thức (4.4) với các hệ số C_L=0.86 và C_x=0.03 [48,81,143]. Cho panel composite không hoàn hảo, phương trình (4.25) được đưa về dạng:

$$P_{1}f_{,xxxx} + P_{2}f_{,yyyy} + P_{3}w_{,xxyy} + P_{4}w_{,xxxy} + P_{5}w_{,xyyy} + P_{6}w_{,xxxx} + P_{7}w_{,yyyy} + P_{8}w_{,xxyy} + P_{9}w_{,xxxy} + P_{10}w_{,xyyy} + f_{,yy}\left(w_{,xx} + w_{,xx}^{*}\right) - 2f_{,xy}\left(w_{,xy} + w_{,xy}^{*}\right) + f_{,xx}\left(w_{,yy} + w_{,yy}^{*}\right) + q_{1} + q_{2} - k_{1}w + k_{2}\nabla^{2}w + \frac{N_{y}}{R} = \rho_{1}\frac{\partial^{2}w}{\partial t^{2}}$$

$$(4.28)$$

Trong đó: $w^*(x, y)$ hàm đại diện cho tính không hoàn hảo hình dáng ban đầu của panel.

4.2.1. Trường hợp panel tựa tự do

Xét panel tựa tự do, chịu lực nâng q₁, lực cản q₂ và chịu lực nén dọc trục P_x và P_y . Vì vậy điều kiện biên là:

$$w = N_{xy} = M_x = 0, N_x = -P_x h \text{ tại } x = 0, a$$

$$w = N_{xy} = M_y = 0, N_y = -P_y h \text{ tại } y = 0, b$$
(4.33)

Nghiệm gần đúng của w và f thỏa mãn điều kiện biên (4.33) có dạng [91]:

$$(w, w^*) = (W, \mu h) \sin \lambda_m x \sin \delta_n y$$
(4.34a)

$$f = A_1 \cos 2\lambda_m x + A_2 \cos 2\delta_n y + A_3 \sin \lambda_m x \sin \delta_n y + A_4 \cos \lambda_m x \cos \delta_n y - \frac{1}{2} P_x h y^2 - \frac{1}{2} P_y h x^2$$
(4.34b)

$$\lambda_m = m\pi / a, \delta_n = n\pi / b, W$$
: biên độ của độ võng và μ : là thông số không hoàn hảo.

Thế phương trình (4.34a, 4.34b) vào phương trình (4.28) và ứng dụng phương pháp Galerkin cho kết quả phương trình:

$$\frac{ab}{4} \begin{bmatrix}
P_1 \frac{(F_2 F_4 - F_1 F_3)}{F_2^2 - F_1^2} \lambda_m^4 + P_2 \frac{(F_2 F_4 - F_1 F_3)}{F_2^2 - F_1^2} \delta_n^4 + P_3 \frac{(F_2 F_4 - F_1 F_3)}{F_2^2 - F_1^2} \lambda_m^2 \delta_n^2 \\
-P_4 \frac{(F_2 F_3 - F_1 F_4)}{F_2^2 - F_1^2} - P_5 \frac{(F_2 F_3 - F_1 F_4)}{F_2^2 - F_1^2} + P_6 \lambda_m^4 + P_7 \delta_n^4 + P_8 \lambda_m^2 \delta_n^2 \\
- \frac{(F_2 F_4 - F_1 F_3)}{F_2^2 - F_1^2} \frac{\lambda_m^2}{R} - k_1 - k_2 (\lambda_m^2 + \delta_n^2)
\end{bmatrix} W$$

$$- \left[\frac{2}{3} \lambda_m \delta_n \left(P_1 \frac{1}{A_{22}^*} + P_2 \frac{1}{A_{11}^*}\right) - \frac{1}{6RA_{22}^*} \frac{\delta_n}{\lambda_m}\right] W(W + 2\mu h) \\
- \frac{ab}{64} \left(\frac{1}{A_{22}^*} \delta_n^4 + \frac{1}{A_{11}^*} \lambda_m^4\right) W(W + \mu h)(W + 2\mu h)$$

$$+ \frac{8}{3} \frac{(F_2 F_4 - F_1 F_3)}{F_2^2 - F_1^2} \lambda_m \delta_n W(W + \mu h) + \frac{abh}{4} \left(P_x \lambda_m^2 + P_y \delta_n^2\right) (W + \mu h)$$

$$+ \frac{4(q_1 + q_2)}{\lambda_m \delta_n} - \frac{Ah}{\lambda_m \delta_n} \frac{P_y}{R} = \frac{ab\rho_1}{4} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}$$
(4.36)

Trong đó: m,n là số lẻ. (4.36) là phương trình chủ đạo cơ bản đáp ứng động phi tuyến của panel composite ba pha tựa tự do dưới tác dụng của tải thủy động.

Từ (4.36), tần số dao động của panel hoàn hảo (μ =0) được xác định gần đúng như:

$$\omega_{mn} = \sqrt{-\frac{(b_1 + b_2)}{\rho_1}}$$
(4.37)

4.2.2. Trường hợp panel ngàm bốn cạnh

Xét panel ngàm bốn cạnh, chịu lực nâng q₁, lực cản q₂ và chịu lực nén dọc trục P_x và P_y . Vì vậy điều kiện biên là:

$$w = \partial w / \partial x = N_{xy} = 0, N_x = -P_x h \text{ tai } x = 0, a$$
(4.38)

 $w = \partial w / \partial y = N_{xy} = 0$, $N_y = -P_y h$ tại y = 0, b Nghiệm gần đúng của w và f thỏa mãn điều kiện biên (4.38) có dạng:

$$(w, w^{*}) = (W, \mu h)(1 - \cos 2\lambda_{m}x)(1 - \cos 2\delta_{n}y)$$
(4.39a)

$$f = Q_{1} \cos 2\lambda_{m}x + Q_{2} \cos 2\delta_{n}y + Q_{3} \cos 4\delta_{n}y + Q_{4} \cos 2\lambda_{m}x \cos 2\delta_{n}y$$
(4.39b)

$$+ Q_{5} \cos 2\lambda_{m}x \cos 4\delta_{n}y + Q_{6} \cos 4\lambda_{m}x \cos 2\delta_{n}y$$
(4.39b)

$$+ Q_{7} \cos 4\lambda_{m}x + Q_{8} \sin 2\lambda_{m}x \sin 2\delta_{n}y - \frac{1}{2}P_{x}hy^{2} - \frac{1}{2}P_{y}hx^{2}$$
(4.39b)

 $\lambda_m = m\pi / a$, $\delta_n = n\pi / b$, W : biên độ của độ võng và μ : là thông số không hoàn hảo.

Thế phương trình (4.39a, 4.39b) vào phương trình (4.28) và ứng dụng phương pháp Galerkin cho kết quả phương trình (Phụ lục E):

$$\rightarrow -ab \left[8\lambda_m^4 \frac{B_{21}^*}{A_{22}^*} P_1 + 4\lambda_m^4 \frac{(F_1F_6 + F_2F_4)}{F_1 - F_2} P_1 + 8\delta_n^4 \frac{B_{12}^*}{A_{11}^*} P_2 + 4\delta_n^4 \frac{(F_1F_6 + F_2F_4)}{F_1 - F_2} P_2 - 4\lambda_m^2 \delta_n^2 P_3 - 12\lambda_m^4 P_6 - 12\delta_n^4 P_7 - 4\lambda_m^2 \delta_n^2 P_8 + 2.25k_1 + 3k_2\lambda_m^2 + 3k_2\lambda_m^2 + 3k_2\delta_n^2 \right] W - 4ab\lambda_m^2 \delta_n^2 \left[\frac{(\lambda_m^4 P_1 + \delta_n^4 P_2)}{F_1 - F_2} F_1 + \left(\frac{P_1}{A_{22}^*} + \frac{P_2}{A_{11}^*} \right) \right] W(W + 2\mu h) + 8\lambda_m^2 \delta_n^2 \left[\frac{B_{12}^*}{A_{11}^*} + \frac{B_{21}^*}{A_{22}^*} + \frac{(F_1F_6 + F_2F_4)}{F_1 - F_2} \right] W(W + \mu h) - \frac{ab}{4} \left[17 \frac{\lambda_m^4}{A_{11}^*} + \frac{16\lambda_m^4 \delta_n^4}{A_{11}^*} + \frac{16\lambda_m^4 \delta_n^4}{32\lambda_m^4 A_{22}^* + 8\lambda_m^2 \delta_n^2 E_1 + 32\delta_n^4 A_{11}^*} + 17 \frac{\delta_n^4}{A_{22}^*} + \frac{16\lambda_m^4 \delta_n^4}{32\lambda_m^4 A_{22}^* + 8\lambda_m^2 \delta_n^2 E_1 + 2\delta_n^4 A_{11}^*} - \frac{32\lambda_m^4 \delta_n^4 F_1}{ab(F_1 - F_2)} \right] W(W + 2\mu h) (W + \mu h) + 3abh (\lambda_m^2 P_x + \delta_n^2 P_y)(W + \mu h) + \left(q_1 + q_2 - \frac{P_y h}{R} \right) ab = ab\rho_1 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}$$

Trong đó: m,n là số lẻ. (4.41) là phương trình chủ đạo cơ bản đáp ứng động phi tuyến của panel composite ba pha ngàm 4 cạnh dưới tác dụng của tải thủy động.

Từ (4.41), tần số dao động của panel hoàn hảo (μ =0) được xác định gần đúng như:

$$\omega_{mn} = \sqrt{-\frac{(b_1 + b_2)}{\rho_1}}$$
(4.42)

4.3. Kiếm tra độ tin cậy của chương trình tính.

Bộ chương trình tính của luận án được xây dựng trong môi trường Matlab có tên Buckling of Panel. Tác giả đã sử dụng bộ chương trình này để tính và so sánh với phần mềm Ansys và [27]. Thông số đầu vào: Panel có axbxt=1mx0.31mx0.02m (hình 4.10); Thứ tự xếp lớp: $[0/90/0/90/90/090/0]_5$ và $[90/0/45/-45/-45/45/0/90]_5$; $E_{11}=31.009$ (GPa), $E_{22}=E_{33}=6.016$ (GPa), $v_{12}=v_{13}=0.3$, $v_{23}=0.43$, $G_{12}=G_{13}=1.985$ (GPa), $G_{23}=1.966$ (GPa), tải $P_0 = 387860$ (*Pa*)

4.3.1. Trường hợp tấm trực hướng - [0/90/0/90/90/0/90/0]5

Bảng 4.8: Kết quả so sánh kiểm tra độ tin cậy chương trình tính với tấm trực hướng.

Turàna han	Giá trị độ võng	Chênh lệch (%)		
Trường nộp	Buckling of Panel	Bertholot [27]	Ansys	giữa (2) và (4)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
4 cạnh tựa tự do	0.001222	0.001199	0.001244	1.77
Ngàm 4 cạnh	0.0002476	0.000272	0.000256	3.28

Chênh lệch giữa (2) và (4) là 1.77–3.28%, Buckling of Panel đủ độ tin cậy để tính.

		I I L]
Turkon a hom	Giá trị độ võng cực	Chênh lệch (%)	
Trường nộp	Buckling of Panel	Ansys	giữa (2) và (3)
(1)	(2)	(3)	(4)
4 cạnh tựa tự do	0.001395	0.001372	1.65
Ngàm 4 canh	0.0003114	0.000319	2.38

Bảng 4.9: Kết quả so sánh kiểm tra với tấm xếp lớp [90/0/45/-45/-45/45/0/90]₅.

4.3.2. Trường hợp tấm xếp lớp [90/0/45/-45/-45/45/0/90]5

Chênh lệch giữa (2) và (3) là 1.65 ÷ 2.38%, Buckling of Panel đủ độ tin cậy để tính.

4.4. Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến ổn định của panel composite ba pha chịu tải thủy động

Cánh ngầm là kết cấu chịu tải lớn phức tạp, để đảm bảo an toàn trong phần này sẽ khảo sát cho trường hợp panel tựa tự do.

Tàu cánh ngầm hoạt động trong sóng ở điều kiện cánh chịu tải (foilborne), tải trọng thủy động tác động lên cánh được biểu diễn dưới dạng [48]:

$$P = P_0 \sin(\omega t - kx) \left(N/m^2\right) \tag{4.43}$$

Khảo sát panel composite ba pha có kích thước a x b x t = 1.0m x 0.31m x 0.02m là lớp vỏ của cánh nâng có hình dạng và kích thước như hình 4.10 và mục 4.1.2.2, chịu tải trọng thủy động P (xác định từ công thức 4.43), panel được làm từ các vật liệu thành phần: Nhựa Epoxy có: $E_m = 3.50 \text{ GP}_a$, $v_m = 0.33$; Sợi Cimax có: $E_a = 58.85 \text{ GP}_a$, $v_a = 0.240$; Hạt gia cường TiO₂ có: $E_c = 5.58 \text{ GP}_a$, $v_c = 0.20$ (4.44)

tàu và thanh giằng.

4.4.1. Ånh hưởng của cách bố trí lớp.

Hình 4.23 cho thấy đáp ứng động của panel composite ba pha trong 03 trường hợp xếp lớp và phương sợi khác nhau ảnh hưởng đáng kể đến ổn định của tấm. Cách bố trí lớp

Hình 4.23. Đáp ứng động của panel composite ba pha với trình tự xếp lớp khác nhau.

 $[90/0/45/-45/-45/45/0/90]_5$ cho dao động của panel lớn hơn so với các cách bố trí lớp khác.

Tấm lớp $[90/0/45/-45/-45/45/0/90]_5$ (mục 4.1.2.2) là vật liệu tựa đẳng hướng đảm bảo bền theo mọi phương, kết hợp với kết quả khảo sát cho thấy panel ổn định, lựa chọn cách bố trí lớp này để xét đáp ứng động cho các trường hợp tiếp theo.

4.4.2. Ånh hưởng của kích thước hình học panel.

Hình 4.24. Ảnh hưởng của b lên đáp ứng động phi tuyến panel composite ba pha.

Hình 4.25. Ảnh hưởng của h lên đáp ứng động phi tuyến panel composite ba pha.

Hình 4.24 và 4.25 minh họa ảnh hưởng của chiều rộng b; chiều dày h lên đáp ứng động phi tuyến của panel composite ba pha. Biến dạng của panel gia tăng khi tăng chiều rộng b và khi giảm chiều dày của panel.

Nhìn vào hình 4.24 cho thấy khoảng cách giữa các gân chịu lực của cánh phải ≤310mm khi đó kết cấu cánh ổn định.
4.4.3. Ånh hưởng của tốc độ tàu

Hình 4.26 cho thấy ảnh hưởng của tốc độ tàu lên đáp ứng động phi tuyến của panel composite ba pha. Biến dạng của panel gia tăng khi vận tốc tăng.

4.4.4. Ảnh hưởng của sự không hoàn hảo ban đầu

Hình 4.26. Đáp ứng động phi tuyên của panel composite ba pha với vận tốc khác nhau.

Hình 4.27 cho thấy ảnh hưởng của sự không hoàn hảo ban đầu μ lên đáp ứng động của panel composite ba pha. Khi μ tăng từ $0 \div 0.1$, biến dạng của panel tăng và khi μ tăng từ $0.1 \div 0.3$ biến dạng của panel giảm. Ảnh hưởng của thông số μ lên biến dạng của panel là nhỏ có thể bỏ qua.

4.4.5. Ảnh hưởng của tỉ lệ vật liệu composite ba pha.

Hình 4.28, 4.29 và 4.30 trình bày ảnh hưởng của sợi và hạt lên đáp ứng động của panel composite ba pha. Thấy rõ sự gia tăng mật độ của sợi sẽ giảm biên độ dao

động của panel và mật độ của hạt càng nhiều sẽ giảm khả năng chịu uốn của panel. Ảnh hưởng của sợi tốt hơn hạt

4.4.6. Ảnh hưởng kích thước hình học, tỉ lệ thành phần sợi, hạt lên tần số dao động của panel composite ba pha.

W(m)

Hình 4.30. Ảnh hưởng tỉ lệ sợi ψ_a lên đáp

ứng đông của panel composite ba pha.

Bảng 4.18: Ảnh hưởng các yếu tố lên tần số dao động của panel composite ba pha.

ψ_a	ψ_c	$\omega_{mn} (rad/s)$					
		a = 1.0 m, b = 0.31 m		a = 1.0 m, b = 0.36 m			
		h=0.015m	h=0.018m	h=0.020m	h=0.015m	h=0.018m	h=0.020m
0.55	0	2.3375e3	2.8033e3	3.1139e3	1.7769e3	2.1283e3	2.3628e3
0.50	0.05	2.2570e3	2.7066e3	3.0065e3	1.7156e3	2.0549e3	2.2813e3
0.45	0.10	2.1744e3	2.6077e3	2.8966e3	1.6529e3	1.9797e3	2.1978e3
0.40	0.10	2.0842e3	2.4994e3	2.7763e3	1.5842e3	1.8974e3	2.1065e3

Bảng 4.18 cho thấy với cánh có b=0.31m sẽ có tần số dao động của panel lớn gấp 1.32 lần so với cánh có b=0.36m (nghĩa là suy giảm độ cứng của cánh 1.32 lần).

4.4.7. Ånh hưởng của khoảng cách hai cánh.

2.5 t(s)

Hình 4.29. Ảnh hưởng của tỉ lệ hạt ψ_c lên

đáp ứng động panel composite ba pha.

V(m)

Hình 4.31 cho thấy: Biến dạng cánh phụ thuộc vào khoảng cách hai cánh và vùng hoạt động của tàu do hiện tượng cộng hưởng va đập của sóng gây ra:

+ Cánh biến dạng lớn nhất khi vị trí cánh là $x = \lambda/4 + n\lambda/2$ (n: là số tự nhiên).

+ Biến dạng của cánh là bé nhất khi vị trí cánh là $x = n\lambda/2$ (n: nguyên, dương).

4.6. Kết luận chương 4

- Xây dựng được hàm và đường cong hồi quy độ võng cho phép của cánh.

- Thiết lập được (4.36) và (4.41) là các phương trình ổn định của panel composite ba pha dưới tác dụng của tải thủy động trong hai trường hợp tựa đơn và ngàm.

- Thiết lập được (4.37) và (4.42) là các biểu thức xác định tần số dao động của panel composite ba pha trong hai trường hợp tựa đơn và ngàm.

KẾT LUẬN

- Thiết lập được phương trình và tính ổn định tĩnh của tấm trực hướng composite polyme ba pha chịu tải nén theo một phương, nén đồng thời theo hai phương và tải cắt.

- Thiết lập được phương trình và tính ổn định động của panel composite ba pha chịu tải thủy động trong hai trường hợp tất cả các cạnh tựa đơn và ngàm.

- Xây dựng được phương pháp tính ổn định của cánh nâng tàu cánh ngầm bằng phương pháp giải tích dựa trên tiêu chuẩn thiết kế kết cấu tàu cánh ngầm.

- Đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố lên ổn định tĩnh, động của tấm composite ba pha. Do vậy có thể thay đổi các tham số này để lựa chọn phương án thiết kế hợp lý và chủ động điều khiển ứng xử của kết cấu.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. **Pham Van Thu**, Tran Quoc Quan, Homayoun Hadavinia, Nguyen Dinh Duc (2014). Nonlinear dynamic analysis and vibration of imperfect three phase polymer nanocomposite panel resting on elastic foundation under hydrodynamic loads. Proceeding of The Third International Conference on Engineering Mechanics and Automation (ICEMA 2014), Hanoi, October- 2014, ISBN: 978-604-913-367-1, pp. 499-508.

2. **Pham Van Thu**, Nguyen Dinh Duc (2016). Nonlinear dynamic response and vibration of an imperfect three-phase laminated nanocomposite cylindrical panel resting on elastic foundations in thermal environments. J. Science and Engineering of Composite Materials, DOI: 10.1515/secm-2015-0467 (De Gruyter, SCIE, IF=0.593).

3. **Pham Van Thu**, Nguyen Dinh Duc (2016). Nonlinear stability analysis of imperfect three-phase sandwich laminated polymer nanocomposite panels resting on elastic foundations in thermal environments. Journal of Science, Mathematics-Physics, Vietnam National University, Hanoi, Vol.32, N1, pp 20-36.

4. **Phạm Văn Thu**, Trịnh Văn Bình, Huỳnh Tấn Đạt, Nguyễn Văn Đạt, Nguyễn Đình Đức (2016). Nghiên cứu xác định ứng suất tính toán cho tấm composite lớp trực hướng dùng trong đóng tàu. Hội nghị Khoa học toàn quốc Vật liệu và Kết cấu composite, Cơ học, Công nghệ và ứng dụng, Đại học Nha Trang, 28-29/7/2016, trang 675-682.

5. **Nguyen Dinh Duc**, Pham Van Thu (2014). Nonlinear stability analysis of imperfect three-phase polymer composite plates in thermal environments. J. Composite Structures, Vol.109, pp.130-138. (Elsevier, SCIE, IF=3.12).

6. **Nguyen Dinh Duc**, Homayoun Hadavinia, Pham Van Thu, Tran Quoc Quan (2015). Vibration and nonlinear dynamic response of imperfect three-phase polymer nanocomposite panel resting on elastic foundations under hydrodynamic loads. J. Composite Structures, Vol.131, pp.229-237 (Elsevier, SCIE, IF=3.12).

7. **Pham Van Thu**, (2018). The buckling of orthotropic three-phase composite plates used in composite shipbuilding. Journal of Science, Mathematics- Physics, Vietnam National University, Hanoi, Vol.34, N4, pp 92-109.