

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**TRẦN VĂN SỸ**

**TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG SỐ TẤM COMPOSITE  
LỖ LỢN SÓNG CHỊU UỐN BẰNG PHƯƠNG PHÁP  
ĐỒNG NHẤT HÓA**

**LUẬN VĂN THẠC SỸ KỸ THUẬT**

*Thái Nguyên, tháng 9 năm 2016*

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**TRẦN VĂN SỸ**

**TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG SỐ TẮM COMPOSITE  
LỖ LỤN SÓNG CHỊU UỖN BẰNG PHƯƠNG PHÁP  
ĐỒNG NHẤT HÓA**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí**

**Mã số:**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**KHOA CHUYÊN MÔN**

**CB HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**

**TS. DƯƠNG PHẠM TƯỜNG MINH**

**PHÒNG ĐÀO TẠO**

*Thái nguyên, tháng 9 năm 2016*

## LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là: Trần Văn Sỹ

Học viên lớp cao học khóa K16 - Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí -  
Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.

Hiện đang công tác tại Nhà máy Z131/Tổng cục CNQP/BQP.

Tôi xin cam đoan những kết quả có được trong luận văn là do bản thân tôi thực hiện dưới sự hướng dẫn của thầy giáo TS. Dương Phạm Tường Minh. Ngoài thông tin trích dẫn từ các tài liệu tham khảo đã được liệt kê, các kết quả và số liệu thực nghiệm là do tôi thực hiện và chưa được công bố trong bất cứ công trình nào khác.

*Thái Nguyên, tháng 9 năm 2016*

**Người thực hiện**

**Trần Văn Sỹ**

## LỜI CẢM ƠN

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới giáo viên hướng dẫn khoa học, thầy giáo **TS. Dương Phạm Tường Minh** đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo và tạo mọi điều kiện giúp đỡ tôi hoàn thành công trình nghiên cứu này.

Tôi xin cảm ơn Ban giám hiệu, phòng Đào tạo, các thầy cô giáo trường Đại học Kỹ thuật công nghiệp Thái Nguyên đã tận tình chỉ bảo và giúp đỡ tôi trong quá trình học tập.

Tôi xin chân thành cảm ơn sự động viên khích lệ của gia đình, bạn bè, đồng nghiệp trong suốt thời gian tôi học tập và làm luận văn.

*Thái Nguyên, tháng 10 năm 2016*

**Người thực hiện**

**Trần Văn Sỹ**

## TÓM TẮT

Vật liệu composite là vật liệu tổ hợp từ hai hay nhiều vật liệu khác nhau. Vật liệu tạo thành có đặc tính trội hơn đặc tính của từng vật liệu thành phần. Ngày nay tấm composite lõi lượn sóng được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp (như bao bì, xây dựng, đóng tàu, chế tạo ô tô...) nhờ các ưu điểm nổi bật như nhẹ, rẻ, và chịu được các môi trường khắc nghiệt. Do đó, cần thiết phải mô hình hóa và dự đoán các ứng xử cơ học của loại vật liệu này. Một tấm composite lõi lượn sóng có thể được coi như là một cấu trúc 3D và được mô hình hóa (lớp vỏ và lõi lượn sóng) bởi các phần tử vỏ (shell), nhưng việc mô hình hóa và mô phỏng số các tấm composite trục hướng kiểu này rất khó khăn và tốn kém. Do đó, cần thiết phải sử dụng một mô hình đồng nhất hóa để mô phỏng các cấu trúc của nó.

Trong luận văn này, một mô hình đồng nhất hóa giải tích cho tấm composite lõi lượn sóng chịu uốn có kể đến ảnh hưởng của cắt ngang được đề xuất. Theo mô hình này, một tấm composite lõi lượn sóng 3D được thay thế bởi một tấm đồng nhất 2D tương đương. Thay vì sử dụng luật ứng xử cục bộ (quan hệ giữa ứng suất và biến dạng) tại mỗi điểm, phép đồng nhất hóa cung cấp các độ cứng tổng thể (quan hệ giữa biến dạng tổng thể và hợp lực) cho một tấm 2D đồng nhất tương đương. Việc so sánh các kết quả mô phỏng số sử dụng phần tử hữu hạn cho mô hình Abaqus 3D, mô hình đồng nhất hóa 2D và kết quả thí nghiệm của tấm lượn sóng chịu uốn chỉ ra rằng mô hình đồng nhất hóa đề xuất rất chính xác và cực kỳ hiệu quả.

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	1
LỜI CẢM ƠN .....	2
TÓM TẮT .....	3
MỤC LỤC.....	4
BẢNG CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT .....	6
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU .....	7
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ.....	8
MỞ ĐẦU.....	9
0.1. Tính cấp thiết của đề tài. ....	9
0.2. Mục tiêu và đối tượng nghiên cứu của đề tài. ....	11
0.3. Kết quả đạt được: .....	11
0.4. Cấu trúc của luận văn:.....	11
<b>CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU CƠ HỌC VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU COMPOSITE PHỨC TẠP.....</b>	<b>12</b>
1.1. Vật liệu composite. ....	13
1.2. Tấm composite. ....	19
1.3. Tấm composite lõi lượn sóng.....	23
1.4. Carton lõi lượn sóng.....	23
<b>CHƯƠNG 2 MÔ HÌNH ĐỒNG NHẤT HÓA CHO TẤM CARTON LỖI LƯỢN SÓNG.....</b>	<b>27</b>
2.1. Giới thiệu.....	27
2.2. Nhắc lại lý thuyết tấm của Mindlin.....	27
2.3. Lý thuyết tấm nhiều lớp .....	30
2.4. Phương pháp phần tử hữu hạn trong tính toán tấm Composite nhiều lớp chịu uốn.....	32
2.6. Áp dụng lý thuyết tấm nhiều lớp vào carton lõi lượn sóng.....	34
2.4.1. Độ cứng kéo và uốn liên quan đến $N_x$ , $M_x$ , $N_y$ , $M_y$ .....	36

2.4.3. Độ cứng cắt ngang trên mặt CD liên quan đến $T_y$ . .....	39
2.4.4. Độ cứng cắt ngang trên mặt MD liên quan đến $T_x$ .....	42
<b>CHƯƠNG 3 HỢP THỨC HOÁ BẰNG SỐ VÀ THỰC NGHIỆM</b>	
<b>MÔ HÌNH ĐỒNG NHẤT HOÁ .....</b>	<b>44</b>
3.1. Độ cứng kéo theo phương x liên quan đến $N_x$ trên mặt MD. ....	45
3.2. Độ cứng kéo theo phương y liên quan đến $N_y$ trên mặt CD. ....	47
3.3. Độ cứng uốn quanh trục y liên quan đến $M_x$ trên mặt MD.....	48
3.4. Độ cứng uốn quanh trục x liên quan đến $M_y$ trên mặt CD.....	49
3.5. Độ cứng cắt trong mặt phẳng xy liên quan đến $N_{xy}$ trên mặt MD. ....	51
3.6. Độ cứng cắt trong mặt phẳng xy liên quan đến $N_{yx}$ trên mặt CD. ....	52
3.7. Hợp thức hóa bằng số và thực nghiệm cho mô hình đồng nhất hóa. ....	53
<b>KẾT LUẬN .....</b>	<b>56</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>57</b>

## BẢNG CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiều	Tên các đại lượng
$u_q, v_q, w_q$	Các chuyển vị của một điểm $q(x, y, z)$
$u, v, w$	Các chuyển vị của điểm $p(x, y, 0)$
$\beta_x$	Góc xoay của pháp tuyến $z$ về $x$ hoặc góc xoay quanh trục $y$
$\beta_y$	Góc xoay của pháp tuyến $z$ về $y$ hoặc góc xoay quanh trục $-x$
$\{\kappa\}$	Véc tơ độ cong
$\theta_x, \theta_y$	Các góc xoay của mặt trung bình quanh trục $y$ và trục $x$ tương
$N_x, N_y,$	Lực màng
$M_x, M_y,$	Mô men uốn, xoắn
$T_x, T_y$	Lực cắt ngang



**DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU**

Bảng 1. Các thuộc tính vật liệu của các lớp thành phần của carton lượn sóng .....	45
Bảng 2. Độ cứng của tấm 2D tương đương.....	45
Bảng 3. So sánh giữa Abaqus-3D và Mô hình H-2D cho kéo MD .....	47
Bảng 4. So sánh giữa Abaqus-3D và Mô hình H-2D cho kéo CD .....	48
Bảng 5. So sánh giữa Abaqus-3D và Mô hình H-2D cho uốn MD.....	49
Bảng 6. So sánh giữa Abaqus-3D và Mô hình H-2D cho uốn CD.....	50
Bảng 7. So sánh giữa Abaqus-3D và Mô hình H-2D cho cắt MD .....	52
Bảng 8. So sánh giữa Abaqus-3D và Mô hình H-2D cho cắt trong mặt phẳng MD.....	53

## DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ

Hình 1: Mô hình đồng nhất hóa tấm composite lõi lượn sóng .....	10
Hình 2. Tỷ lệ composite trong máy bay tàu lượn .....	16
Hình 3. Ứng dụng trong chế tạo động cơ tên lửa xuyên lục địa .....	17
Hình 4. Ứng dụng trong chế tạo máy bay .....	17
Hình 5. Ứng dụng trong công nghiệp ô tô .....	17
Hình 6. Ứng dụng trong công nghiệp tàu thủy .....	18
Hình 7. Ứng dụng trong dụng cụ thể thao.....	18
Hình 8. Ứng dụng trong công nghiệp bao bì .....	18
Hình 9. Ứng dụng trong kết cấu xây dựng.....	19
Hình 10: Các loại vật liệu composite .....	20
Hình 11: Lớp vật liệu composite .....	20
Hình 12: Mô hình cấu trúc của composite nhiều lớp .....	21
Hình 13: Hệ trục chính vật liệu và hệ trục quy chiếu chung .....	22
Hình 14. Carton lượn sóng lõi đơn (trên) và lõi kép (dưới).....	24
Hình 15. Lực màng, mô men uốn-xoắn và lực cắt ngang.....	28
Hình 16. Cấu tạo tấm nhiều lớp. ....	30
Hình 17. Hình dáng hình học của carton lõi lượn sóng .....	35
Hình 18. Mô hình tương đương cho cắt lõi lượn sóng trong mặt phẳng xy. ....	38
Hình 19. Mô hình tương đương cho cắt ngang $T_y$ .....	40
Hình 20. Cắt dọc carton lõi lượn sóng .....	42
Hình 21. Biến dạng của tấm carton (a) và biến dạng của lõi khi chịu $H_D$ , $V_D$ và $M_D$ (b). ....	43
Hình 22. Hình dáng hình học mặt CD của carton lượn sóng.....	44
Hình 23. Mô phỏng Abaqus 3D và Mô hình H-2D cho kéo MD .....	46
Hình 24. Mô phỏng Abaqus 3D và Mô hình H-2D cho kéo CD.....	47