

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**Nguyễn Văn Thành**

**ỔN ĐỊNH VÀ CÁC ĐÁP ỨNG PHI TUYẾN CỦA  
KẾT CẤU TẤM VÀ VỎ NANO FGM**

Chuyên ngành : **Cơ kỹ thuật**

Mã số : **9520101.01**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CƠ KỸ THUẬT**

**Hà Nội - 2021**



## MỞ ĐẦU

### **Tính cấp thiết của đề tài**

Vật liệu nano FGM, hay còn gọi là vật liệu composite được gia cường bởi các ống nano các bon (FG-CNRC) - một loại composite thể hệ mới với đặc tính chịu tải cơ và nhiệt rất tốt, khối lượng riêng nhẹ, siêu bền là lựa chọn phổ biến cho các kết cấu chịu tải phức tạp và làm việc trong môi trường nhiệt độ cao. Vì vậy các bài toán liên quan đến ứng xử của kết cấu làm bằng vật liệu nano FGM là những vấn đề cần được quan tâm nhằm mục đích đưa ra những dự đoán chính xác và đáng tin cậy vì mục đích thiết kế tối ưu và an toàn của các loại kết cấu này. Tuy nhiên, bài toán liên quan đến ứng xử của các kết cấu tấm và vỏ được làm bằng vật liệu nano FGM vẫn còn hạn chế.

Xuất phát từ các yêu cầu trên, nhận thấy việc nghiên cứu về kết cấu tấm và vỏ nano FGM vẫn còn mở, vẫn còn nhiều lĩnh vực cần chú trọng và nghiên cứu thêm, do đó việc phân tích “ổn định và các đáp ứng phi tuyến của tấm và vỏ nano FGM” là thực sự cần thiết.

### **Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

Luận án tập trung nghiên cứu ổn định phi tuyến tĩnh và động của tấm, vỏ trụ tròn và vỏ nón cụt nano FGM khi các loại kết cấu này chịu các tải cơ, nhiệt và cơ – nhiệt, hoặc được gia cố bằng gân gia cường.

### **Phương pháp nghiên cứu**

Nghiên cứu bằng phương pháp giải tích, bán giải tích các bài toán ổn định theo lý thuyết vỏ cổ điển, lý thuyết biến dạng trượt bậc cao, sử dụng lý thuyết san đều tác dụng gân của Lekhnitsky (cho bài

toán khi kết cấu có gân gia cường), dựa trên giả thiết độ võng tương đối lớn, vật liệu là đàn hồi và không xảy ra sự phá hủy kết cấu. Các kết quả tính toán theo cách tiếp cận trong luận án được so sánh với các kết quả được thu được của các tác giả khác bằng các phương pháp khác trong những trường hợp có thể để kiểm tra độ tin cậy của phương pháp tiếp cận hiện tại.

### **Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của nghiên cứu**

Bài toán có ý nghĩa quan trọng, thiết thực trong lĩnh vực cơ học kết cấu. Các kết quả nhận được dưới dạng giải tích (dạng hiển), cung cấp cơ sở khoa học cho các nhà thiết kế, chế tạo.

### **Cấu trúc của luận án**

Luận án bao gồm mở đầu, 4 chương, kết luận, danh mục các công trình khoa học của tác giả, tài liệu tham khảo và phụ lục.

# CHƯƠNG 1

## TỔNG QUAN

### 1.1. Vật liệu nano và nano FGM

Vật liệu nano FGM là một loại composite được gia cường bởi các ống nano các bon. Các kết cấu làm bằng loại vật liệu này có cơ tính cao và có thể làm việc trong những điều kiện khắc nghiệt.

### 1.2. Tình hình nghiên cứu về các kết cấu nano FGM

Trên thế giới đã có nhiều nhóm tác giả ở các nước khác nhau nghiên cứu về các kết cấu dầm, tấm, vỏ nano FGM. Tuy nhiên các nghiên cứu sử dụng lý thuyết biến dạng trượt bậc cao hoặc xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ đến cơ tính của vật liệu ... còn ít.

### 1.3. Tình hình nghiên cứu trong nước

Trong nước đã có nhiều nhóm gần đây bắt đầu nghiên cứu về vật liệu nano và kết cấu nano FGM. Tuy nhiên các kết quả nghiên cứu còn chưa nhiều

### 1.4. Phân loại ổn định và tiêu chuẩn ổn định

### 1.5. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

1. Phân tích ổn định phi tuyến của các tấm chữ nhật nano FGM có gân tựa bản lề trên bốn cạnh khi tấm chịu tác dụng của tải nén cơ học, tải nhiệt, và tải cơ - nhiệt kết hợp bằng lý thuyết biến dạng trượt bậc cao, trong đó giả thiết các tính chất vật liệu phụ thuộc vào nhiệt độ và kể đến ảnh hưởng của tính không hoàn hảo trong hình dáng ban đầu lên ứng xử của tấm.

2. Phân tích đáp ứng động phi tuyến của các tấm chữ nhật nano FGM tựa bản lề trên bốn cạnh chịu các tải cơ, nhiệt và cơ - nhiệt kết hợp bằng lý thuyết biến dạng trượt bậc cao trong đó có kể

đến cả tính không hoàn hảo hình dáng của tấm và sự phụ thuộc nhiệt độ của các tính chất vật liệu.

3. Nghiên cứu đáp ứng động và dao động phi tuyến của vỏ trụ tròn nano FGM khi chúng chịu các loại tải khác nhau như áp lực ngoài, tải nén dọc trục, nhiệt độ và sự kết hợp của các loại tải này trong đó có kể đến ảnh hưởng của tính không hoàn hảo trong hình dáng panel và điều kiện ràng buộc dịch chuyển trên biên lên ứng xử của panel.

4. Nghiên cứu ổn định phi tuyến của vỏ nón cụt nano FGM chịu các tải cơ như áp lực ngoài, nén dọc trục, tải nhiệt và tải cơ - nhiệt đồng thời bằng lý thuyết vỏ cổ điển khi chấp nhận tính thoả của vỏ trụ và bằng lý thuyết vỏ cải tiến khi bỏ qua giả thiết về tính thoả của vỏ trụ để có thể đánh giá ứng xử của các vỏ nón cụt.

## CHƯƠNG 2

### ỔN ĐỊNH VÀ ĐÁP ỨNG ĐỘNG CỦA CÁC TẤM CHỮ NHẬT NANO FGM

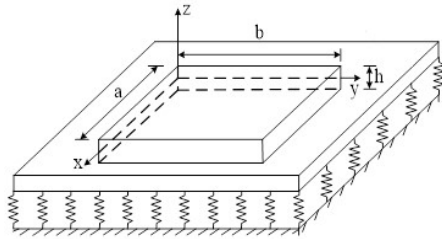
#### 2.1. Đặt vấn đề

Chương này trình bày các nghiên cứu về ổn định phi tuyến của các tấm chữ nhật Nano FGM tựa bản lề trên bốn cạnh chịu các điều kiện tải trọng khác nhau bao gồm tải nén cơ học, tải nhiệt và tải cơ - nhiệt tác dụng đồng thời. Các bài toán này được đặt theo ứng suất và các phương trình cơ bản bao gồm phương trình cân bằng và phương trình tương thích biến dạng được dẫn bằng lý thuyết tấm cổ điển và lý thuyết tấm biến dạng trượt bậc nhất có kể đến ảnh hưởng của tính phi tuyến hình học và sự không hoàn hảo trong hình dáng tấm.

#### 2.2. Đáp ứng động phi tuyến của tấm chữ nhật Nano FGM đặt trên nền đàn hồi trong môi trường nhiệt độ

##### 2.2.1. Mô hình tấm chữ nhật Nano FGM trên nền đàn hồi

Xét tấm chữ nhật với chiều dài  $a$ , chiều rộng  $b$  và chiều dày  $h$  được làm từ vật liệu nano FGM. Tấm được đặt trong hệ tọa độ Đề Các  $xyz$  có gốc ở góc của tấm, mặt phẳng  $xy$  trùng với mặt giữa của tấm và  $z$  là tọa độ chiều dày tấm ( $-h/2 \leq z \leq h/2$ ).



**Hình 2.1.** Mô hình tấm Nano FGM đặt trên nền đàn hồi trong hệ tọa độ Oxyz.

### 2.2.2. Các phương trình cơ bản

Các thành phần biến dạng của tấm ở một điểm cách mặt giữa một khoảng  $z$  dựa trên lý thuyết biến dạng trượt bậc 3 cho tấm nano FGM:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{pmatrix} + z \begin{pmatrix} k_x^1 \\ k_y^1 \\ k_{xy}^1 \end{pmatrix} + z^3 \begin{pmatrix} k_x^3 \\ k_y^3 \\ k_{xy}^3 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{xz}^0 \\ \gamma_{yz}^0 \end{pmatrix} + z^2 \begin{pmatrix} k_{xz}^2 \\ k_{yz}^2 \end{pmatrix}, \quad (2.2)$$

Áp dụng định luật Hook cho tấm Nano FGM với tính chất phụ thuộc vào nhiệt độ:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 & 0 & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} - \alpha_{11}\Delta T \\ \varepsilon_{yy} - \alpha_{22}\Delta T \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yz} \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

Phương trình chuyển động của tấm FG-CNTRC có kể đến sự không hoàn hảo về hình dạng ban đầu có dạng:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} = I_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + J_1 \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial t^2} - c_1 I_3 \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial t^2},$$

$$\frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = I_0 \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + J_1 \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial t^2} - c_1 I_3 \frac{\partial^3 w}{\partial y \partial t^2},$$



$$\begin{aligned}
& \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} - c_2 \left( \frac{\partial R_x}{\partial x} + \frac{\partial R_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w^*}{\partial x^2} \right) - 2 \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 w^*}{\partial x \partial y} \right) \\
& + \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w^*}{\partial y^2} \right) + c_1 \left( \frac{\partial^2 P_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 P_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 P_y}{\partial y^2} \right) - k_1 w + k_2 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + q \\
& = I_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + 2\varepsilon I_0 \frac{\partial w}{\partial t} - c_1^2 I_6 \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^2 \partial t^2} \right) + \\
& c_1 \left[ \left( J_4 - \frac{J_1 I_3}{I_0} \right) \frac{\partial^3 \phi_x}{\partial x \partial t^2} + \left( J_4 - \frac{J_1 I_3}{I_0} \right) \frac{\partial^3 \phi_y}{\partial y \partial t^2} + \frac{c_1 I_3^2}{I_0} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^2} \right) \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - c_1 \left( \frac{\partial P_x}{\partial x} + \frac{\partial P_{xy}}{\partial y} \right) - Q_x + c_2 R_x = J_1 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + K_2 \frac{\partial^2 \phi_x}{\partial t^2} \\
& + \left( \frac{c_1 I_3 J_1}{I_0} - c_1 J_4 \right) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial t^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial M_y}{\partial y} - c_1 \left( \frac{\partial P_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial P_y}{\partial y} \right) - Q_y + c_2 R_y = J_1 \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + K_2 \frac{\partial^2 \phi_y}{\partial t^2} \\
& + \left( \frac{c_1 I_3 J_1}{I_0} - c_1 J_4 \right) \frac{\partial^3 w}{\partial y \partial t^2}
\end{aligned}$$

### 2.2.3 Phương pháp giải

Xét tấm FG-CNTRC có 4 cạnh tựa bản lề và không thể dịch chuyển trong mặt phẳng của tấm. Trường hợp này, các cạnh tựa cố định nên ta có điều kiện biên như sau:

$$w = u = \phi_y = M_x = P_x = 0, N_x = N_{x0} \text{ tại } x = 0, a$$

$$w = v = \phi_x = M_y = P_y = 0, N_y = N_{y0} \text{ tại } y = 0, b$$

Để giải phương trình (2.17), sau khi xem xét điều kiện biên, các nghiệm xấp xỉ  $w, \phi_x, \phi_y$  và  $f$  được chọn như sau Shen [12]:

$$\begin{bmatrix} w(x, y, t) \\ \phi_x(x, y, t) \\ \phi_y(x, y, t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W(t) \sin \alpha x \sin \beta y \\ \Phi_x(t) \cos \alpha x \sin \beta y \\ \Phi_y(t) \sin \alpha x \cos \beta y \end{bmatrix}$$

$$f = A_1(t) \cos 2\alpha x + A_2(t) \cos 2\beta y + A_3(t) \sin \alpha x \sin \beta y + \frac{1}{2} N_{x0} y^2 + \frac{1}{2} N_{y0} x^2$$

Phương trình (2.28) là phương trình cơ bản thể hiện các đáp ứng động học phi tuyến của tấm FG-CNTRC chịu áp lực ngoài phân bố đều trong môi trường nhiệt độ:

$$\begin{aligned} & a_1^1 W + a_1^2 (W + \mu h) + a_1^3 W (W + \mu h) + a_1^4 W (W + 2\mu h) + a_1^5 W (W + \mu h) (W + 2\mu h) \\ & + a_1^6 \Phi_x + a_1^7 \Phi_y + a_1^8 \Phi_x (W + \mu h) + a_1^9 \Phi_y (W + \mu h) + a_1^{10} \Delta T (W + \mu h) + a_1^{11} q \\ & = a_1^{12} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + a_1^{13} \frac{\partial W}{\partial t} - a_1^{14} \frac{\partial^2 \Phi_x}{\partial t^2} - a_1^{15} \frac{\partial^2 \Phi_y}{\partial t^2} \end{aligned}$$

(2.28)

$$a_2^1 W (W + 2\mu h) + a_2^2 \Phi_x + a_2^3 \Phi_y + a_2^4 W + a_2^5 (W + \mu h) = a_2^6 \frac{\partial^2 \Phi_x}{\partial t^2} + a_2^7 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}$$

$$a_3^1 W (W + 2\mu h) + a_3^2 \Phi_x + a_3^3 \Phi_y + a_3^4 W + a_3^5 (W + \mu h) = a_3^6 \frac{\partial^2 \Phi_y}{\partial t^2} + a_3^7 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}$$

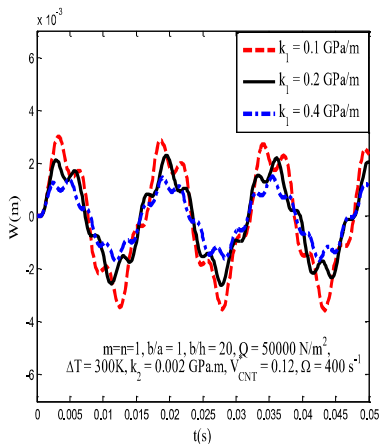
## 2.2.4. Kết quả tính toán số và thảo luận

### 2.2.4.1. Ảnh hưởng lên tần số tự nhiên

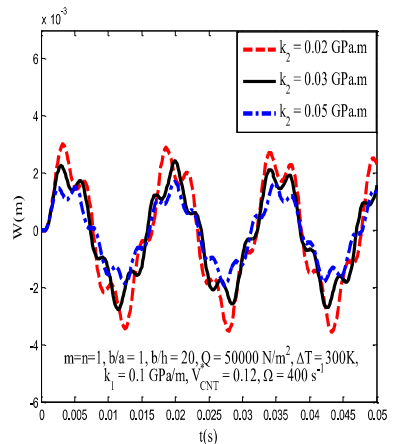
Qua tính toán thấy được, giá trị của tần số tự nhiên tăng khi tăng tỉ lệ thể tích  $V_{CNT}^*$  và giảm khi tăng nhiệt độ. Bảng 2.2 cũng cho thấy rằng tần số dao động tự nhiên của tấm FG-X cao hơn tần số dao động tự nhiên của FG-V cao hơn tần số dao động tự nhiên của kiểu FG-O. Tăng giá trị tham số hình học  $b/h$  và giảm tỉ lệ thể tích của CNT khiến tần số tự nhiên giảm, trong khi đó tăng giá trị độ cứng nền đàn hồi  $k_1, k_2$  thì giá trị tần số dao động tự nhiên tăng.

### 2.2.4.2. Phân tích dao động phi tuyến của tấm nano FGM

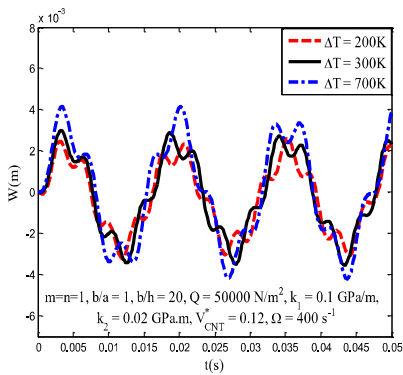
### 2.2.4.2. Phân tích dao động phi tuyến của tấm nano FGM



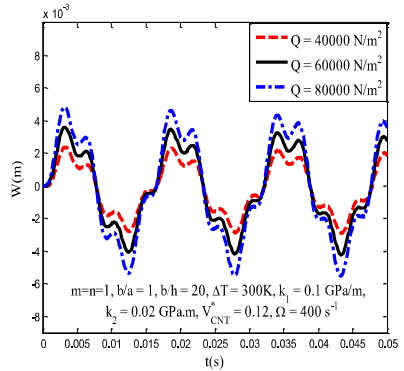
**Hình 2.2.** Ảnh hưởng của độ cứng nền đàn hồi theo mô hình Winkler



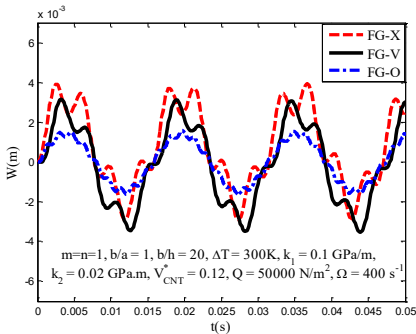
**Hình 2.2.** Ảnh hưởng của độ cứng nền đàn hồi theo mô hình Pasternak



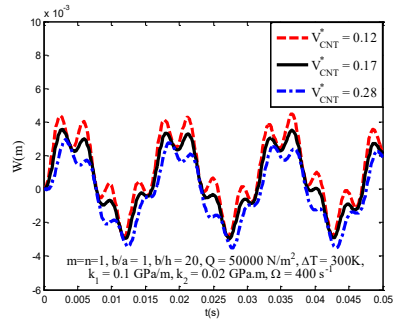
**Hình 2.4.** Ảnh hưởng của nhiệt độ  $\Delta T$  lên đáp ứng động học phi tuyến của tấm FG-CNTRC



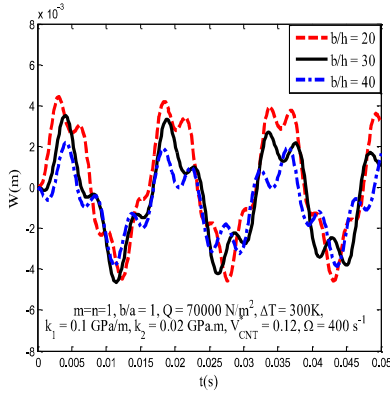
**Hình 2.5.** Ảnh hưởng của tải trọng lên đáp ứng động học phi tuyến của tấm FG-CNTRC



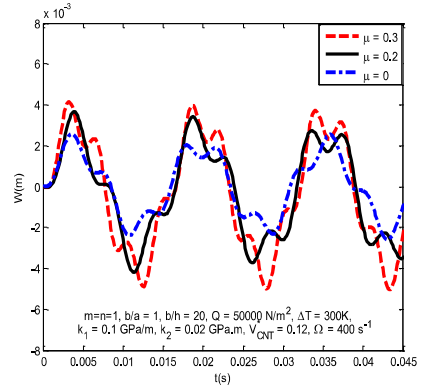
**Hình 2.6.** Ảnh hưởng của các kiểu phân bố thể tích lên đáp ứng động học phi tuyến của tấm FG-CNTRC



**Hình 2.7.** Ảnh hưởng của tỉ lệ thể tích lên đáp ứng động học phi tuyến của tấm FG-CNTRC



**Hình 2.9.** Ảnh hưởng của tham số hình học



**Hình 2.10.** Ảnh hưởng của sự không hoàn hảo về hình dáng

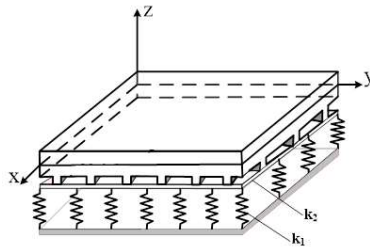
### 2.2.4.3 Một số nhận xét

- Tăng giá trị độ cứng của nền đàn hồi thì khả năng chịu tải của tấm FG-CNTRC tăng và ngược lại.
- Tăng tỉ lệ các tham số hình học  $b/a$ ,  $b/h$  thì khả năng chịu tải của tấm FG-CNTRC tăng và ngược lại.
- Tăng tỉ lệ thể tích CNT thì khả năng chịu tải của tấm FG-CNTRC tăng và ngược lại.
- Tăng giá trị của tham số không hoàn hảo thì khả năng chịu tải của tấm FG-CNTRC giảm và ngược lại. Tấm chịu tải tốt nhất khi ở trạng thái hoàn hảo.
- Tăng giá trị của áp lực ngoài lên bên mặt của tấm FG-CNTRC thì khả năng chịu tải của tấm giảm và ngược lại.

- Nhiệt độ càng cao, khả năng chịu tải của tấm FG-CNTRC càng giảm và ngược lại.
- Trong 3 kiểu phân bố thể tích thì kiểu FG-X có khả năng chịu tải lớn nhất và FG-O có khả năng chịu tải kém nhất.

### 2.3. Ổn định phi tuyến tĩnh của tấm nano FGM có gân đặt trên nền đàn hồi trong môi trường nhiệt độ.

#### 2.3.1. Mô hình tấm nano FGM có gân trên nền đàn hồi



#### 2.3.2. Các phương trình cơ bản

#### 2.3.3. Phương pháp giải

Điều kiện biên: Xét tấm FG-CNTRC có 4 cạnh tựa bản lề và không thể dịch chuyển trong mặt phẳng của tấm.

##### 3.3.3.1. Phân tích ổn định cơ học

$$F_x = g_1 \frac{\bar{W}}{(\bar{W} + \mu)} + g_2 \bar{W} + g_3 \frac{\bar{W}(\bar{W} + 2\mu)}{(\bar{W} + \mu)} + g_4 \bar{W}(\bar{W} + 2\mu) \quad (2.49)$$

##### 2.3.3.2. Phân tích ổn định nhiệt

$$\Delta T = e_1 \frac{\bar{W}}{(\bar{W} + \mu)} + e_2 \bar{W} + e_3 \frac{\bar{W}(\bar{W} + 2\mu)}{(\bar{W} + \mu)} + e_4 \bar{W}(\bar{W} + 2\mu) + e_5 \bar{W}^2 + e_6 \bar{W}\mu, \quad (2.54)$$

##### 2.3.3.3. Phân tích ổn định cơ nhiệt

$$F_x = j_1 \frac{\bar{W}}{(\bar{W} + \mu)} + j_2 \bar{W} + j_3 \frac{\bar{W}(\bar{W} + 2\mu)}{(\bar{W} + \mu)} + j_4 \bar{W}(\bar{W} + 2\mu) \quad (2.55)$$

$$+ j_5 \bar{W}^2 + j_6 \bar{W}\mu + j_7 \Delta T$$

### 2.3.4. Kết quả tính toán số và thảo luận

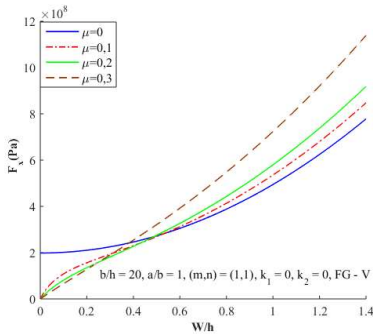
#### 2.3.4.1. So sánh kết quả với nghiên cứu đã công bố

Để kiểm tra độ chính xác của nghiên cứu, ta so sánh tải trọng tới hạn  $P_{cr}(kN)$  trong trường hợp tấm FG-CNTRC không gâp trong môi trường nhiệt độ với Shen [98].

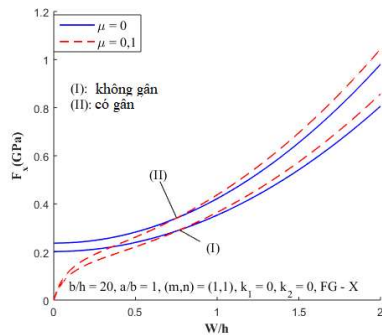
Qua so sánh ta thấy sai khác về tải trọng tới hạn  $P_{cr}(kN)$  của tấm không gâp trong môi trường nhiệt độ với Shen [98] là nhỏ, do đó kết quả của nghiên cứu là đáng tin cậy.

#### 2.3.4.2. Lực tới hạn của tấm dưới tác dụng của tải cơ học

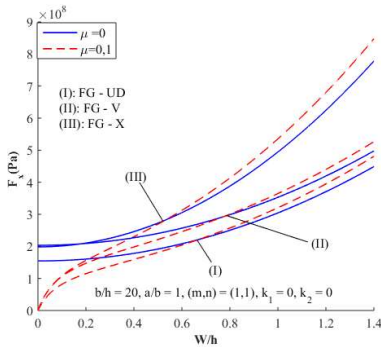
#### 2.3.4.3. Ảnh hưởng của thông số hình học và vật liệu



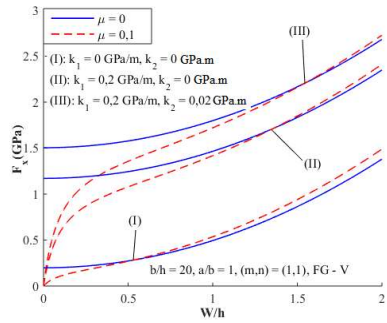
**Hình 2.12.** Ảnh hưởng độ hoàn hảo



**Hình 2.13.** Ảnh hưởng của gâp gia cường



**Hình 2.14.** Ảnh hưởng của dạng nao FGM



**Hình 2.15.** Ảnh hưởng của nền đàn hồi

## 2.4 Kết luận chương 2

**Trong chương này, luận án đã giải quyết một số vấn đề sau**

1. Thiết lập được phương trình chủ đạo để xác định đường cong thời gian – độ võng, tần số dao động tự do tuyến tính và tần số dao động cơ bản cho bài toán động lực học của tấm nano FGM trên nền đàn hồi trong môi trường nhiệt độ.

2. Thiết lập được phương trình chủ đạo cho bài toán phân tích phi tuyến tính của tấm nano FGM có gân trên nền đàn hồi, phương trình tải trọng độ võng, phương trình nhiệt độ, độ võng trong đó các thuộc tính của vật liệu thay đổi phụ thuộc vào nhiệt độ.

3. Khảo sát ảnh hưởng của các tham số đầu vào, tính không hoàn hảo của tấm và kiểu phân bố các ống nano các bon đến sự ổn định tĩnh phi tuyến của tấm nano FGM có gân và động lực học của tấm nano FGM.

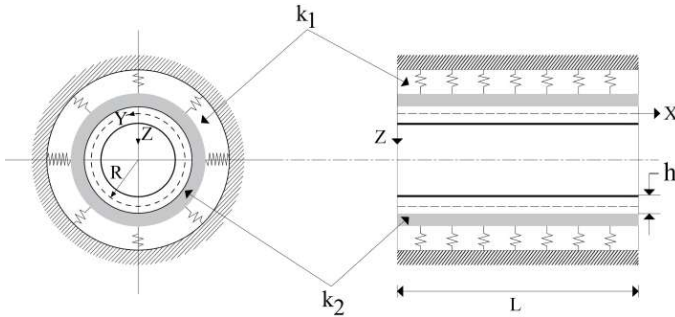


### CHƯƠNG 3

## ĐÁP ỨNG ĐỘNG VÀ DAO ĐỘNG PHI TUYẾN CỦA VỎ TRỤ TRÒN NANO FGM ĐƯỢC BAO QUANH BỞI NỀN ĐÀN HỒI TRONG MÔI TRƯỜNG NHIỆT ĐỘ

### 3.1 Đặt vấn đề

### 3.2. Mô hình vỏ trụ tròn nano FGM được bao quanh bởi nền đàn hồi



### 3.3. Các phương trình cơ bản

### 3.4. Phương pháp giải

Ống trụ chịu tác dụng của điều kiện biên là:

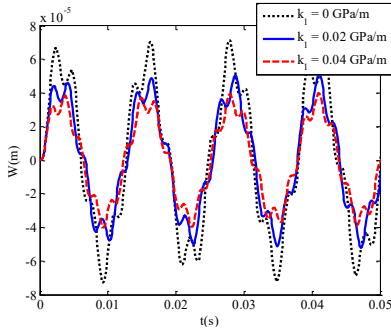
$$w = M_x = 0, N_x = N_{x0}, N_{x0} = -P_x h \text{ tại } x = 0, L \quad (3.20)$$

### 3.5. Kết quả tính toán số và thảo luận

#### 3.5.1. Nghiên cứu so sánh

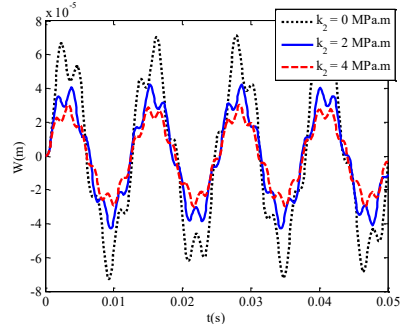
#### 3.5.2. Tần số tự nhiên

#### 3.5.3. Đáp ứng động học phi tuyến



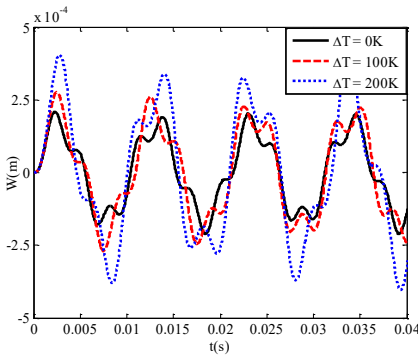
**Hình 3.2.** Ảnh hưởng của nền đàn hồi Winkler lên đáp ứng động học của vỏ trụ tròn nano FGM

$$V_{CN}^* = 0.12, h = 0.01 \text{ m}, (m, n) = (1, 1), \\ L/R = 2, R/h = 45, q = 2000 \sin(500t)$$

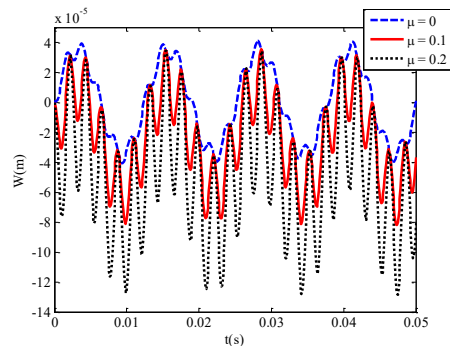


**Hình 3.3.** Ảnh hưởng của nền đàn hồi Pasternak lên đáp ứng động học của vỏ trụ tròn nano FGM

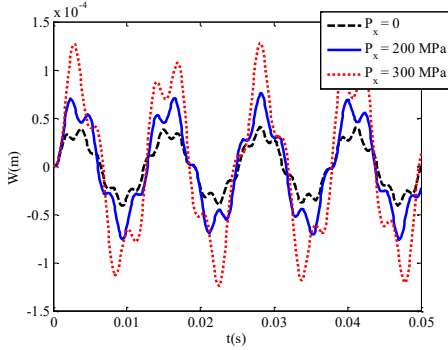
$$V_{CN}^* = 0.12, h = 0.01 \text{ m}, (m, n) = (1, 1), \\ L/R = 2, R/h = 45, q = 2000 \sin(500t)$$



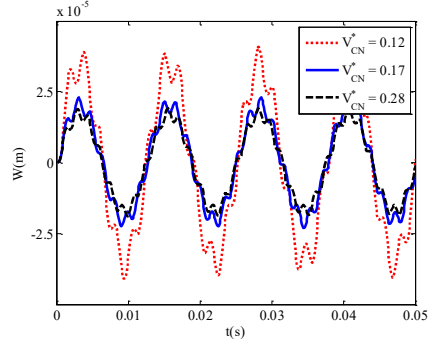
**Hình 3.4.** Ảnh hưởng của nhiệt độ đến đáp ứng động học của vỏ trụ tròn



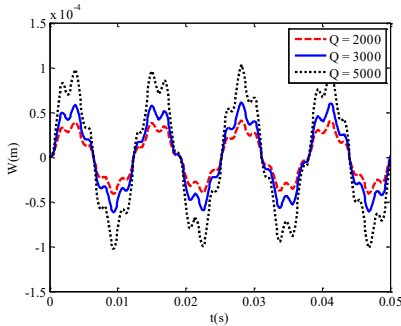
**Hình 3.5.** Ảnh hưởng của sự không hoàn hảo đến vỏ trụ tròn



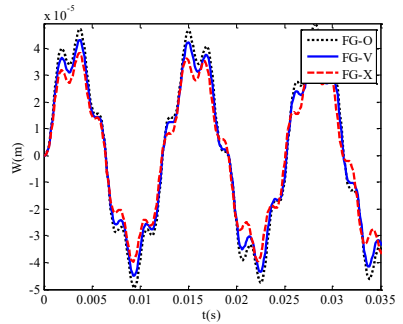
**Hình 3.8.** Ảnh hưởng của lực dọc trục  $P_x$



**Hình 3.9.** Ảnh hưởng của tỉ lệ phân bố thể tích ống nano cac bon



**Hình 3.10.** Ảnh hưởng của biên độ lực kích thích



**Hình 3.11.** Ảnh hưởng của dạng phân bố ống CNT

### 3.6. Kết luận chương 3

**Trong chương 3, luận án đã giải quyết một số vấn đề sau**

1. Thiết lập được phương trình chủ đạo cho bài toán phân tích động lực học phi tuyến dùng để khảo sát vỏ trụ tròn nano FGM

không hoàn hảo được bao quanh bởi nền đàn hồi, với 3 loại tải trọng: cơ, nhiệt và cơ – nhiệt kết hợp.

2. Thiết lập được phương trình chủ đạo để xác định tần số tự nhiên, và khảo sát ảnh hưởng của các tham số đầu vào, lượng phân bố thể tích ống nano các bon, kiểu phân bố thể tích ống nano các bon, độ không hoàn hảo đến tần số dao động tự nhiên của vỏ trụ tròn nano FGM.

3. Sử dụng phương pháp Runge – Kutta bậc 4, lập trình khảo sát ảnh hưởng của các tham số đầu vào, độ không hoàn hảo, nhiệt độ đến đáp ứng đáp ứng động của vỏ trụ tròn nano FGM; và đến đường cong thời gian – độ võng.

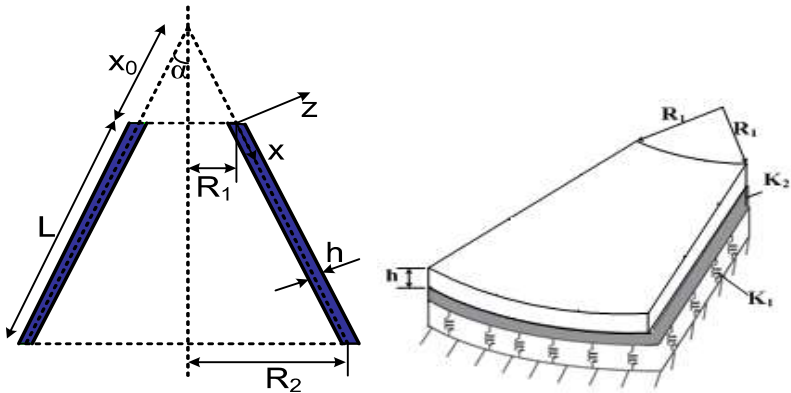
## CHƯƠNG 4

### ỔN ĐỊNH CƠ VÀ NHIỆT CỦA VỎ NÓN CỤT NANO FGM BAO QUANH BỞI NỀN ĐÀN HỒI

#### 4.1. Đặt vấn đề

Chương này nghiên cứu sự mất ổn định nhiệt và cơ học tuyến tính của vỏ hình nón cụt nano FGM và được bao quanh bởi nền đàn hồi trong môi trường nhiệt. Các phương trình cân bằng và ổn định tuyến tính cho vỏ được suy ra dựa trên lý thuyết vỏ cổ điển. Sử dụng phương pháp Galerkin, biểu thức dạng đóng để xác định tải trọng vòng cơ và nhiệt. Các đặc tính của vật liệu được giả định là phụ thuộc vào nhiệt độ dẫn đến phương trình xác định tải nhiệt vòng với cả hai phía phụ thuộc vào nhiệt độ, do đó, các thuật toán lặp được đề xuất để giải quyết vấn đề này

#### 4.2. Mô hình vỏ nón cụt nano FGM trên nền đàn hồi



Hình 4.1. Mô hình vỏ nón cụt FG CNTRC được bao quanh bởi nền đàn hồi

### 4.3. Các phương trình cơ bản

Hệ phương trình (4.15a, b, c) được sử dụng để phân tích trạng thái và tìm tải trọng cơ học tối hạn của vỏ hình nón cụt FG CNTRC.

$$C_{11}(u_1) + C_{12}(v_1) + C_{13}(w_1) = 0, \quad (4.15a)$$

$$C_{21}(u_1) + C_{22}(v_1) + C_{23}(w_1) = 0, \quad (4.15b)$$

$$C_{31}(u_1) + C_{32}(v_1) + C_{33}(w_1) + PT_{35}(w_1) = 0, \quad (4.15c)$$

### 4.4. Phương pháp giải

Để khảo sát tính ổn định của vỏ hình nón cụt FG-CNTRC, giả sử rằng vỏ được liên kết ở hai đầu. Khi đó biểu thức của điều kiện biên có dạng:

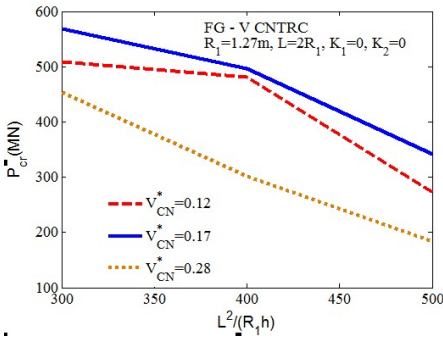
$$v_1 = w_1 = 0, M_{x1} = 0 \text{ tại } x = x_0, x_0 + L \quad (4.16)$$

## 4.5 Kết quả tính toán số và thảo luận

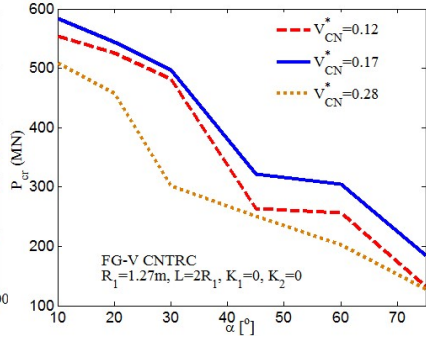
### 4.5.1. Nghiên cứu và so sánh

So sánh kết quả của luận án với kết quả của tham chiếu Ref [14] đối với vỏ hình nón FG CNTRC (FG- $\Lambda$ ) sử dụng lý thuyết vỏ biến dạng cắt bậc nhất. Các kết quả được so sánh cho thấy sự phù hợp tốt và xác minh tính chính xác của phương pháp được sử dụng trong luận án.

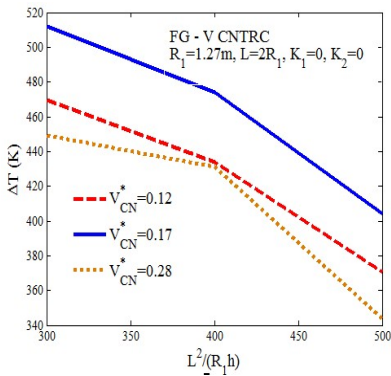
## 4.5.2. Ảnh hưởng của thông số hình học và vật liệu



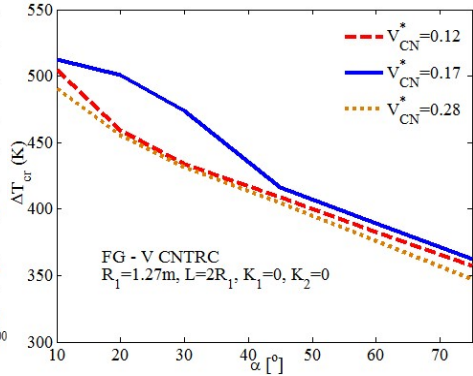
**Hình 4.2.** Ảnh hưởng của chiều dài vò và phân thể tích của sợi



**Hình 4.3.** Ảnh hưởng của góc bán đỉnh và phân thể tích của sợi



**Hình 4.4.** Ảnh hưởng của chiều dài vò và phân thể tích của sợi



**Hình 4.5.** Ảnh hưởng của góc bán đỉnh và phân thể tích của sợi

## 4.6. Kết luận chương 4

### Trong chương 4, luận án đã giải quyết một số vấn đề sau

1. Thiết lập được phương trình chủ đạo cho bài toán phân tích ổn định phi tuyến dùng để khảo sát vỏ nón cụt nano FGM không hoàn hảo được bao quanh bởi nền đàn hồi dưới tác dụng của tải cơ và tải nhiệt.

2. Tính toán và xác định được các tải trọng cơ học tới hạn, và tải nhiệt tới hạn khi vòng của vỏ nón cụt nano FGM được bao quanh bởi nền đàn hồi.

3. Sử dụng phương pháp Runge – Kutta bậc 4, lập trình khảo sát ảnh hưởng của các tham số đầu vào, độ không hoàn hảo, nhiệt độ đến ổn định của vỏ nón cụt nano FGM; và đến đường cong thời gian – độ võng của vỏ nón cụt nano FGM.

## KẾT LUẬN

### Luận án này đã có một số đóng góp mới, nổi bật sau đây:

1. Đã góp phần xây dựng công thức tổng quát để tính các thành phần lực và mô men của kết cấu tấm nano FGM có gân gia cường khi sử dụng lý thuyết tấm biến dạng trượt bậc ba, kết cấu vỏ trụ tròn và vỏ nón cụt khi áp dụng lý thuyết biến dạng trượt bậc nhất.

2. Dựa trên lý thuyết biến dạng trượt bậc nhất và bậc ba của Reddy cùng với tính phi tuyến hình học của Von Karman kết hợp với kỹ thuật san đều tác dụng gân của Lekhnitskii và công thức gân mới tổng quát, luận án đã thiết lập được các phương trình cơ bản của bài toán phân tích phi tuyến tĩnh và động lực học của tấm nano FGM có và không có gân gia cường tựa trên nền đàn hồi trong đó có kể đến tính không hoàn hảo về hình dáng ban đầu của tấm, tính chất vật liệu



phụ thuộc vào nhiệt độ. Bằng cách tiếp cận giải tích, phương pháp hàm ứng suất và sử dụng phương pháp Galerkin luận án đã xây dựng được các phương trình chủ đạo đi nghiên cứu ổn định tĩnh và động lực học của tấm nano FGM chịu tải cơ, nhiệt và cơ – nhiệt kết hợp. Cụ thể, xây dựng được các biểu thức hiển xác định tải tới hạn và đường cong độ võng – tải trọng sau tới hạn (phân tích phi tuyến tĩnh) và biểu thức xác định tần số dao động tự do tuyến tính, tần số dao động cơ bản và quan hệ thời gian – độ võng (phân tích động lực học), trong bài toán phân tích động lực học sử dụng thêm phương pháp Runge-Kutta bậc bốn để giải hệ phương trình vi phân.

3. Khảo sát và đưa ra kết quả dưới dạng số một cách chi tiết các ảnh hưởng khác nhau của sự không hoàn hảo hình dáng ban đầu, các tham số vật liệu và hình học, tỉ lệ phân bố thể tích và dạng phân bố ống nano các bon, sự phụ thuộc vào nhiệt độ của các tính chất vật liệu, và sự kết hợp các tải cơ - nhiệt lên sự ổn định và đáp ứng động phi tuyến của các kết cấu tấm nano FGM có gân và không có gân, vỏ trụ tròn và vỏ nón cụt nano FGM. Từ đó rút ra một số kết luận có ý nghĩa khoa học giúp ích cho các nhà thiết kế trong việc lựa chọn kết cấu tấm và vỏ phù hợp với thực tế.

4. Các kết quả phân tích lý thuyết của luận án sẽ là thông tin rất cần thiết cho việc thiết kế các kết cấu quan trọng như thân, vỏ các lò phản ứng, tên lửa... Với các kết quả nhận được dưới dạng giải tích, nghiên cứu sẽ cung cấp cơ sở khoa học cho các nhà thiết kế, chế tạo kết cấu nano FGM và đồng thời có thể lựa chọn chính xác sự phân bố vật liệu thành phần trong nano FGM cũng như các tham số của kết cấu để vừa phát huy được khả năng chịu tải, khả năng kháng nhiệt ưu việt của vật liệu nano các bon trong môi trường nhiệt độ

cao, lại vừa hạn chế được khả năng rạn nứt hoặc phá hủy của kết cấu có thể xảy ra khi chịu tải lớn.

Nội dung chủ yếu của luận án được công bố trong 8 công trình khoa học (7 công trình trên tạp chí ISI, 1 công trình trên tạp chí khoa học uy tín trong nước) như danh mục đã công bố của tác giả luận án.

### **Hướng phát triển của luận án**

1. Nghiên cứu ổn định tĩnh và dao động phi tuyến của tấm nano FGM có bề dày thay đổi sử dụng lý thuyết tấm biến dạng trượt bậc cao.

2. Nghiên cứu ổn định phi tuyến của các kết cấu tấm nano FGM có lớp vật liệu áp điện chịu các tải cơ - nhiệt - điện bằng các phương pháp tiếp cận phù hợp.

3. Nghiên cứu ổn định phi tuyến của các kết cấu có hình dáng phức tạp như vỏ nón, nón cụt, panel nón, .... khi các kết cấu này làm từ vật liệu nano FGM và chịu tải trọng đặc biệt (ví dụ tải trọng nổ).

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA

### TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Nguyen Dinh Duc, Pham Hong Cong, Ngo Duc Tuan, Phuong Tran, Nguyen Van Thanh (2017), “Thermal and mechanical stability of functionally graded carbon nanotubes (FG CNT)-reinforced composite truncated conical shells surrounded by the elastic foundations” *Thin-Walled Structures*, Vol 115, Pages 300-310, (Elsevier, SCIE, Q1, IF=4.442).
2. Nguyen Van Thanh, Nguyen Dinh Khoa, Ngo Duc Tuan, Phuong Tran, Nguyen Dinh Duc (2017), “Nonlinear dynamic response and vibration of functionally graded carbon nanotube-reinforced composite (FG-CNTRC) shear deformable plates with temperature-dependent material properties and surrounded on elastic foundations”, *Journal of Thermal Stresses*, Vol40, Pages 1254-1274, (Taylor & Francis, SCI, Q1, IF=3.28).
3. Nguyen D Duc, Ngo Duc Tuan, Phuong Tran, Tran Q Quan, Nguyen Van Thanh (2018), “Nonlinear dynamic response and vibration of imperfect eccentrically stiffened sandwich third-order shear deformable FGM cylindrical panels in thermal environments”, *Journal of Sandwich Structures & Materials*, Volume 21 Issue 8, Pages 2816-2845, (SAGE, SCIE, Q1, IF=5.616).
4. Nguyen Van Thanh, Vu Dinh Quang, Nguyen Dinh Khoa, Kim Seung-Eock, Nguyen Dinh Duc (2019), “Nonlinear dynamic response and vibration of FG CNTRC shear deformable circular cylindrical shell with temperature-dependent material properties and surrounded on elastic

foundations”, *Journal of Sandwich Structures & Materials*, Vol 21, Pages 2456-2483, (SAGE, SCIE, Q1, IF=5.616).

5. Do Quang Chan, Nguyen Van Thanh, Nguyen Dinh Khoa, Nguyen Dinh Duc (2020), “Nonlinear dynamic analysis of piezoelectric functionally graded porous truncated conical panel in thermal environments”. *Thin-Walled Structures*, Vol154, Article 106837, (Elsevier, SCIE, Q1, IF=4.442).

6. Ngo Dinh Dat, Nguyen Van Thanh, Vu Minh Anh, Nguyen Dinh Duc (2020), “Vibration and nonlinear dynamic analysis of sandwich FG-CNTRC plate with porous core layer”. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, doi.org/10.1080/15376494.2020.1822476, (Taylor & Francis, SCI, Q1, IF=3.28).

7. Nguyen Van Quyen, Nguyen Van Thanh, Tran Quoc Quan, Nguyen Dinh Duc (2021), “Nonlinear forced vibration of sandwich cylindrical panel with negative Poisson’s ratio auxetic honeycombs core and CNTRC face sheets”. *Thin-Walled Structures*, Vol 162, Article 107571, (Elsevier, SCIE, Q1, IF=4.442).

8. Nguyen Van Thanh (2021), “Nonlinear Static Stability of Stiffened Nanocomposite Plates subjected various types of loads”. *VNU Journal of Science: Mathematics & Physics*, accepted.

Danh mục này gồm 08 công trình