

TÍNH TOÁN KẾT CẤU TẤM COMPOSITE LỚP CÓ GÂN TĂNG CỨNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Ngô Như Khoa (ĐH Thái Nguyên)

1. Giới thiệu

Trong các nghiên cứu đã công bố về kết cấu tấm có gân tăng cứng bằng vật liệu composite lớp chịu uốn như đã chỉ ra trong [1], mới chỉ dừng lại ở việc tính toán cho các kết cấu có gân bố trí dọc theo các cạnh, hay việc chia lưới phải phụ thuộc vào sơ đồ bố trí của gân. Vì vậy, trong những nghiên cứu mới của chúng tôi gần đây đã tập trung vào xây dựng mô hình phần tử có thể áp dụng cho bài toán kết cấu tấm có gân tăng cứng ở dạng tổng quát (kết cấu có số lượng gân bất kỳ, hướng gân không nhất thiết phải song song với các cạnh bên của tấm). Xuất phát từ ý tưởng ma trận độ cứng của phần tử tấm-gân sẽ là tổng ma trận độ cứng của phần tử tấm phẳng và ma trận độ cứng của thành phần gân. Trong đó, ma trận độ cứng của thành phần gân được xây dựng trên cơ sở của việc biểu diễn trường biến dạng trong gân thông qua một trường chuyển vị trung gian lấy trên phần tử tấm, và trường chuyển vị này được xác định nhờ việc nội suy từ các thành phần chuyển vị nút của phần tử tấm. Trong [1], chúng tôi đã xây dựng được ma trận độ cứng của phần tử tấm – gân dạng tam giác bậc hai với ba nút tại đỉnh và ba nút trên biên. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiếp tục phát triển từ các kết quả đã đạt được đó, bằng việc xây dựng thuật toán PTHH và chương trình máy tính để khảo sát với một lớp các bài toán điển hình, thông qua các kết quả này để khẳng định được tính đúng đắn của mô hình phần tử đã xây dựng.

2. Hệ phương trình phần tử hữu hạn

Áp dụng lý thuyết tấm Mindlin, trường chuyển vị tại của tấm được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u^0(x, y) + z\theta_x(x, y) \\ v(x, y, z) &= v^0(x, y) + z\theta_y(x, y) \end{aligned} \quad (1a)$$

$$w(x, y, z) = w^0(x, y)$$

và trường chuyển vị của thành phần gân:

$$u(x, z) = u^0(x) + z\theta_x(x); \quad w(x) = w^0(x) \quad (1b)$$

Ma trận độ cứng phần tử

Từ trường chuyển vị (1), với việc rời rạc hoá kết cấu bằng PTHH, mỗi nút của phần tử sẽ tấm phải có 5 bậc tự do. Sử dụng phần tử tam giác 6 nút, khi đó ma trận độ cứng phần tử tấm - gân là [1]:

$$K_e = K_e^t + K_e^g \quad (2)$$

trong đó, nếu như phần tử gân chỉ thuộc 1 phần tử tấm thì ma trận độ cứng của phần tử lại thực hiện như biểu thức (2), nếu thuộc cả hai phần tử tấm thì coi như chỉ thuộc một phần tử, phần tử còn lại coi như không chứa gân. K_e^t và K_e^g được xác định theo:

$$\begin{aligned} K_e^t &= \int_{S_t} [B_1^T A \ B_1 + B_1^T B B_2 + B_2^T B B_1 + B_2^T D B_2 + B_3^T A' B_3] dS \\ K_e^g &= b_g \int_{l_g} [B^g]^T [T^g]^T [D^g] [T^g] [B^g] dx \end{aligned} \quad (3)$$

với: A, B, D và A' là các ma trận độ màng - uốn - xoắn quen thuộc [2]; D^s là ma trận độ đàn hồi của vật liệu gân quy đổi và B_i là các ma trận biến dạng-chuyển vị nút [1]:

$$[B_i] = [[L_i]N_1 [L_i]N_2 \dots [L_i]N_6]; \quad i = (1, 2, 3)$$

b_g là chiều rộng gân; B^s là ma trận biến dạng-chuyển vị nút của phần tử thuộc gân [1]:

Trong đó các B^s là ma trận liên hệ biến dạng chuyển vị được xác định như sau:

$$[B^s] = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x'} & 0 & \frac{\partial}{\partial y'} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y'} & \frac{\partial}{\partial x'} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y'} & \frac{\partial}{\partial x'} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x'} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y'} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y'} & \frac{\partial}{\partial x'} & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} [N] \quad (4)$$

và T^s ma trận chuyển đổi hệ trục biến dạng, với φ là góc hợp bởi gân và trục x :

$$\{T^s\} = \begin{bmatrix} \cos^2 \varphi & \sin^2 \varphi & \frac{1}{2} \sin 2\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos^2 \varphi & \sin^2 \varphi & \frac{1}{2} \sin 2\varphi & \frac{1}{2} \sin 2\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ma trận lực nút phần tử [2]

Ma trận lực nút phần tử của tải trọng phân bố đều được xác định bởi:

$$F = \iint_{S_e} [B_p]^T \{p(x, y)\} dS \quad (6)$$

trong đó: $[B_p]$ là ma trận chuyển đổi lực bề mặt, được xác định từ các ma trận định vị và các hàm dạng như sau:

$$[B_p] = [L_p] [N_1 \ N_2 \dots \dots \dots N_6] \quad (7)$$

Trong trường hợp tổng quát, nếu coi các tải trọng tác dụng lên mặt trung bình của tấm, bao gồm các tải trọng tác dụng trong mặt phẳng tấm và kể cả tải trọng tác dụng vuông góc với bề mặt, thì L_p là ma trận đơn vị có kích thước (5x5).

Tích phân số [2].

Áp dụng phương pháp tích phân số, ta có thể xác định được các biểu thức ma trận độ cứng phần tử tấm, của gân, ma trận độ cứng tổng thể và ma trận lực nút.

$$\begin{aligned}
 [k]_A &= \frac{|J|}{2} \sum_{i=1}^3 w_i B_1^T A B_1 \\
 [k]_B &= \frac{|J|}{2} \sum_{i=1}^3 w_i [B_1^T B B_2 + B_2^T B B_1] \\
 [k]_D &= \frac{|J|}{2} \sum_{i=1}^3 w_i B_2^T D B_2 \\
 [k]_{A'} &= \frac{|J|}{2} \sum_{i=1}^3 w_i B_3^T A' B_3
 \end{aligned} \tag{8}$$

và ma trận lực nút phần tử có thể được xác định nhờ:

$$\iint_{S_e} p(x, y) w(x, y) dS = a^T \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 w_i [B_p]^T \{p(x, y)\} |J| \tag{9}$$

Trong nghiên cứu này, các biểu thức tích phân (8) và (9) được tính với việc sử dụng tích phân Gauss 3 điểm.

3. Kết quả số

Từ các hệ thức mô tả ứng xử cơ học kết cấu tấm gân bằng phương pháp phần tử hữu hạn với phần tử tấm-gân dạng tam giác 6 nút mà đã trình bày trong phần trước. Chúng tôi đã xây dựng được chương trình máy tính bằng ngôn ngữ MATLAB, nhằm thực hiện giải số với một lớp các bài toán tấm Composite chữ nhật có và không có gân tăng cứng chịu uốn dưới tác dụng của tải trọng cơ học. Thông qua các kết quả số với một số các bài toán cụ thể nhằm: Đánh giá tốc độ hội tụ của thuật toán và chương trình; đánh giá độ tin cậy kết quả tính toán của thuật toán và chương trình qua các bài toán; và bước đầu ứng dụng chương trình để khảo sát ảnh hưởng của sự phân bố gân đối với khả năng chịu uốn của tấm và khảo sát ảnh hưởng của trật tự xếp lớp trong tấm có gân đến khả năng chịu uốn của tấm.

Trong khuôn khổ của bài báo này, chúng tôi chỉ dừng lại ở các kết cấu tấm gân chịu liên kết đơn trên bốn cạnh đều, tấm và gân đều có chung một cấu hình xếp lớp, các gân chỉ xét theo một phương, song song với nhau và phân bố đều trên bề mặt tấm.

Đánh giá độ hội tụ của thuật toán và chương trình

Khảo sát kết cấu tấm chữ nhật, chiều rộng tấm $b = 800\text{mm}$, chiều dày $h = 4\text{mm}$ và tỷ số $a/h=0,01$; gân có kích thước bề rộng $b_g=4\text{mm}$ và chiều cao là $H=40\text{mm}$; tấm chịu liên kết đơn trên bốn cạnh; tấm và gân có 4 lớp ($45^\circ/-45^\circ/45^\circ/-45^\circ$); cùng cơ tính: $E_1/E_2=25$, $E_3=E_2$, $G_{12}=G_{13}=0,5E_2$, $G_{23}=0,2E_2$, $\nu_{12} = \nu_{13} = 0,25$ và $\nu_{23} = 0,49$.

Bảng 1. Độ võng quy đổi $\bar{w} = 100 \frac{wh^3 E_2}{qa^4}$ tại điểm giữa của tấm

Lưới phần tử	4x4	6x6	8x8	10x10	12x12
Tấm không có gân	1,0114	1,1770	1,2134	1,2249	1,2295
Tấm có 1 gân	0,0552	0,0526	0,0506	0,0499	0,0496
Tấm có 3 gân	0,0250	0,0253	0,0257	0,0256	0,0253

Nhận xét: Độ võng của tấm không có gân đối với cỡ lưới 10x10 sai lệch so với cỡ lưới 12x12 là 0,3755%. Tương tự đối với tấm có 1 gân là 0,6012% và 3 gân là 1,1719%. Điều đó chứng tỏ thuật toán và chương trình PTHH đã được xây dựng đảm bảo tính hội tụ và mật độ lưới cho kết quả hội tụ là 8x8.

Đánh giá độ tin cậy kết quả tính toán của thuật toán và chương trình

Bài toán 1: Xét kết cấu tấm vuông $a=508\text{mm}$, cầu hình $(0^0/90^0/0^0)$ và cơ tính như trên. Bảng 4.2 biểu diễn kết quả độ võng quy đổi tại điểm giữa tấm đối với các nhóm kết cấu tấm có độ dày khác nhau, thay đổi từ tấm mỏng ($h/a=0,01$) đến tấm có độ dày trung bình ($h/a=0,25$). Giá trị độ võng quy đổi như trong Bảng 2 được so sánh với các kết quả đã công bố khác.

Bảng 2. Độ võng quy đổi tại điểm giữa của tấm vuông, phẳng chịu uốn bởi tải trọng phân bố đều q

Nguồn	Cỡ lưới	Tỉ số độ dày (h/a)				
		0,25	0,1	0,05	0,02	0,01
Báo cáo	(4x4)	3,1149	1,1310	0,7782	0,6464	0,5653
A.H.Sheikh và	HSDT	2,9241	1,1113	0,7975	0,7048	0,6913
A.Chakrabarti[4]	FSDT	2,6764	1,0440	0,7788	0,7017	0,6905
Báo cáo	(6x6)	3,1146	1,1340	0,785	0,6784	0,6494
A.H.Sheikh và	HSDT	2,9163	1,0097	0,7861	0,6938	0,6804
A.Chakrabarti[4]	FSDT	2,6675	1,0321	0,7674	0,6907	0,6796
Báo cáo	(8x8)	3,1146	1,1345	0,7872	0,6834	0,6645
A.H.Sheikh và	HSDT	2,9234	1,0956	0,7819	0,6897	0,6763
A.Chakrabarti[4]	FSDT	2,6642	1,0278	0,7632	0,6866	0,6755
Báo cáo	(10x10)	3,1145	1,1346	0,7876	0,6847	0,6683
A.H.Sheikh và	HSDT	2,9111	1,0926	0,7787	0,6865	0,6732
A.Chakrabarti[4]	FSDT	2,6617	1,0246	0,7600	0,6835	0,6724
Báo cáo	(12x12)	3,1145	1,1347	0,7877	0,6852	0,6696
A.H.Sheikh và	HSDT	2,9103	1,0910	0,7763	0,6854	0,6720
A.Chakrabarti[4]	FSDT	2,6608	1,0235	0,7588	0,6823	0,6713
Reddy[5]	HSDT	2,9091	1,0900	0,7760	0,6838	0,6705
Ghosh và Dey[6]	FSDT	2,6596	1,0219	0,7573	0,6807	0,6697
	HSDT	2,9091	0,9650	0,7572	0,6838	0,6823

Chú ý: HSDT: High-order Deformation Theory- lý thuyết chuyển vị cắt bậc cao.

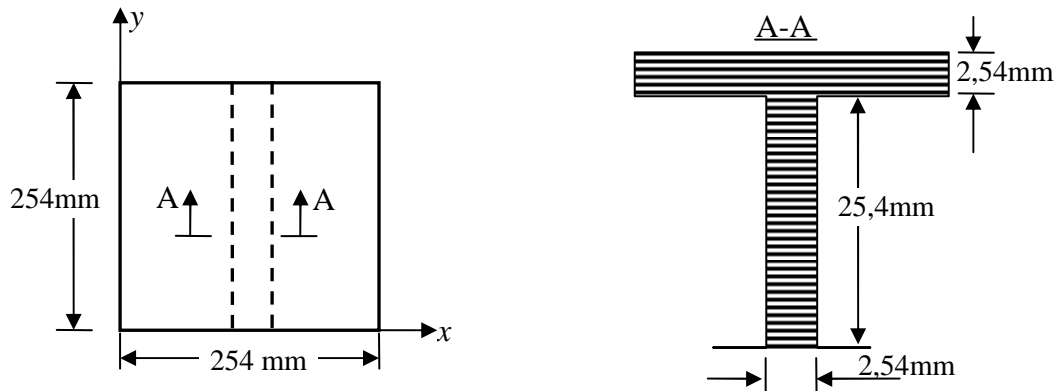
FSDT: First-order Deformation Theory- lý thuyết chuyển vị cắt bậc nhất.

Nhận xét:

- Với cỡ lưới (12x12), tỉ số độ dày $h/a=0,01$ thì sai lệch là 0,3571% so với lý thuyết bậc cao là 0,2532% so với lý thuyết bậc thấp A.H. Sheikh và A.Chakrabarti [4], tương tự 0,1342%, 0,0149% với Reddy [5] và 1,8614% với lý thuyết bậc cao của Ghosh-Dey [6]. Với tỉ số độ dày $h/a=0,05$ thì sai lệch là 1,4685% so với lý thuyết bậc cao là 3,8086% so với lý thuyết bậc thấp A.H. Sheikh và A.Chakrabarti [4], tương tự 1,5077%, 4,0143% với Reddy [5] và 4,0280% với lý thuyết bậc cao của Ghosh-Dey [6].

- Tương tự với độ dày $h/a=0,1$ đến 0,25 thì kết quả thu được khi so sánh với các tác giả khác vẫn chấp nhận được, nhưng sai lệch đã lớn hơn so với tấm có độ dày $h/a=0,01$ đến 0,05 như trong Bảng 2: Với độ dày $h/a=0,25$ thì sai lệch là 7,0165% so với lý thuyết bậc cao của A.H. Sheikh và A.Chakrabarti [4], tương tự 7,0606% với Reddy [5] và 7,0606% với lý thuyết bậc cao của Ghosh-Dey [6], với độ dày $h/a=0,1$ thì sai lệch là 4,0055% so với lý thuyết bậc cao của A.H. Sheikh và A.Chakrabarti [4], tương tự 4,1009% với Reddy [5].

Bài toán 2. Xét kết cấu tấm vuông có gân tăng cứng như Hình 1, liên kết đơn trên bốn cạnh; chịu uốn bởi tải trọng $q = 13,8 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$, cấu hình xếp lớp ($90^\circ/0^\circ/90^\circ$). Các lớp vật liệu có cùng cơ tính: $E_1 = 1,324 \cdot 10^5 \text{ (N/mm}^2)$; $E_2 = E_3 = 1,07 \cdot 10^4 \text{ (N/mm}^2)$; $G_{12} = G_{13} = 0,56 \cdot 10^4 \text{ (N/mm}^2)$; $G_{23} = 1,34 \cdot 10^4 \text{ (N/mm}^2)$; $\nu_{12} = \nu_{13} = 0,24$ và $\nu_{23} = 0,49$.

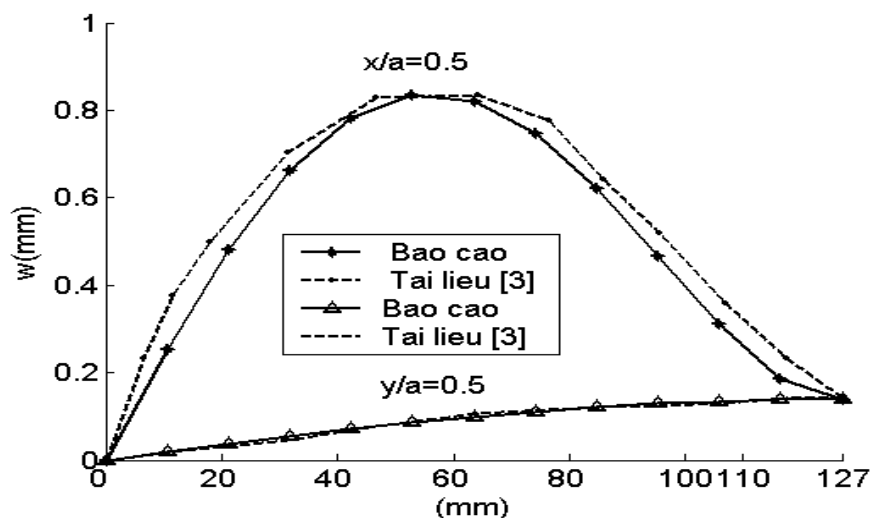


Hình 1. Kích thước hình học của tấm- gân nhiều lớp

Sự biến thiên của độ võng dọc theo đường trung tâm của tấm gân như Hình 2, trong đó có sự so sánh với các kết quả đã công bố khác.

Nhận xét: Kết quả của chương trình thu được về chuyển vị nút của tấm nằm trên hai đường thẳng trung tâm $x/a = 0,5$ và $y = 0,5$ cỡ lưới 12×12 so sánh với [3] được mô tả như hình trên cho thấy sự sai khác giữa các đường cong là không đáng kể, như tại độ võng trung tâm tấm là khoảng 2,7749%.

Kết luận: Qua các so sánh về độ võng tại một số điểm nút như giữa các kết quả tính toán với một số kết quả đã công bố đối với kết cấu tấm phẳng và tấm có gân tăng cứng, cho thấy mô hình phần tử tấm-gân, thuật toán PTHH và chương trình đã được xây dựng cho độ tin cậy cao, và có thể áp dụng cho các bài toán độc lập.

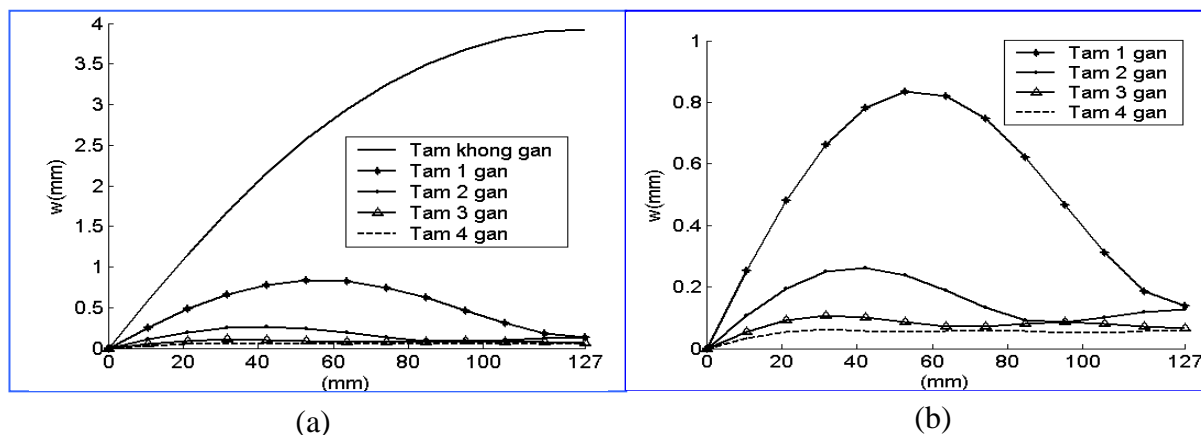


Hình 2. Sự biến thiên của độ võng dọc theo đường trung tâm của tấm gân.

Áp dụng thuật toán và chương trình cho một số bài toán cụ thể

Bài toán 3. Khảo sát ảnh hưởng của sự phân bố gân đối với khả năng chịu uốn.

Xét kết cấu tấm chịu lực phân bố đều, có cấu hình và cơ tính như trong Bài toán 2, nhưng trong trường hợp này tấm có nhiều gân song song với nhau, hợp với trục x một góc 90^0 , khoảng cách giữa các gân là cách đều nhau và được phân bố đều trên chiều rộng tấm. Kết quả của chương trình với mật độ lưới 12×12 được tính cho độ võng tại các điểm dọc theo đường thẳng trung tâm $y/a=0,5$ được biểu diễn trên các Hình 3a có so sánh với tấm phẳng và Hình 3b làm rõ hơn sự chênh lệch về độ võng của các tấm có sự phân bố gân khác nhau.



Hình 3. Sự biến thiên của độ võng dọc theo đường trung tâm

Nhận xét: Từ đồ thị trên các Hình 3a và Hình 3b, cho thấy hiệu quả chống uốn của tấm có gân tăng cứng so với tấm phẳng, đồng thời cho thấy ảnh hưởng rất đáng kể của sự phân bố gân đối với khả năng chịu uốn của tấm. Do đó, việc thiết kế số lượng và sơ đồ bố trí gân cùng với hình dáng mặt cắt và kích thước hình học của các gân sẽ có ý nghĩa đặc biệt quan trọng đối với khả năng chịu lực của tấm. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với thực tế.

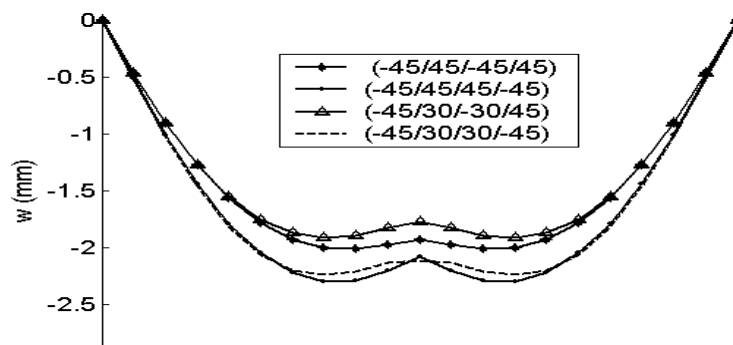
Bài toán 4. Khảo sát ảnh hưởng của trật tự xếp lớp đến khả năng chịu uốn.

Xét kết cấu tấm có 1 gân tăng cứng nằm chính giữa tấm có hướng song song với trục x, chịu liên kết đơn trên cả 4 cạnh. Các kích thước của tấm là $a = 254$ mm, $b = 508$ mm, $h = 12,7$ mm; độ cao của gân là $H=25,4$ mm, độ rộng của gân $b_g=6,35$ mm, chịu tải trọng phân bố đều trên toàn bộ bề mặt tấm $q=0,6895$ N/mm². Cơ tính của gân và lớp là như nhau (4 lớp), có giá trị: $E_1=144,8$ GPa, $E_2=E_3=9,65$ GPa, $\nu_{12} = \nu_{13} = \nu_{23} = 0,3$; $G_{12}=G_{13}=4,14$ GPa, $G_{23}=3,45$ GPa.

Để khảo sát ảnh hưởng của trật tự xếp lớp trong tấm có gân tăng cứng đến khả năng chịu uốn, ta khảo sát kết cấu tấm trên có các cấu hình như dưới đây, với các giả thiết cấu hình của tấm và gân là như nhau và cỡ lưới đều là 10×10 .

Trường hợp 1: Xét tấm có số lớp như nhau, trật tự xếp lớp khác nhau: (i). Kết cấu tấm có cấu hình phản đối xứng ($45^0/-45^0/45^0/-45^0$); (ii). Kết cấu tấm có cấu hình đối xứng ($-45^0/45^0/45^0/-45^0$); (iii). Kết cấu tấm có cấu hình phản đối xứng ($-45^0/30^0/-30^0/45^0$) và (iv). Kết cấu tấm có cấu hình đối xứng ($-45^0/30^0/30^0/-45^0$).

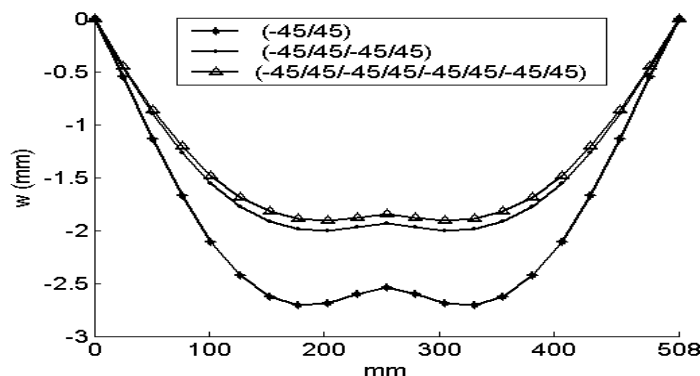
Kết quả độ võng tại các điểm dọc theo đường trung tâm ($x = a/2$) được biểu diễn bằng đồ thị trên Hình 4 như sau:



Hình 4. Sự biến thiên của độ võng dọc theo đường thẳng trung tâm $x/a=0,5$

Nhận xét: Đồ thị trên hình 4 cho thấy sự ảnh hưởng của trật tự xếp lớp trong tấm đến khả năng chịu uốn là đáng kể. Ví dụ như kết cấu tấm có một gân cấu hình $(-45^0/30^0/-30^0/45^0)$ so với $(-45^0/30^0)_s$ thì chênh nhau của độ võng trung tâm của tấm là 19,0994%. Còn kết cấu tấm cấu hình $(45^0/-45^0/45^0/-45^0)$ so với $(45^0/-45^0)_s$ chênh nhau 7,0164%,... Vì vậy, việc lựa chọn cấu hình hợp lý cho kết cấu tấm có gân sẽ làm tăng khả năng chịu uốn một cách đáng kể

Trường hợp 2: Xét tấm có số lớp khác nhau (các tấm đều cùng chiều dày): (i). Kết cấu tấm có cấu hình $(45^0/-45^0)$; (ii). Kết cấu tấm có cấu hình $(45^0/-45^0)_2$ và (iii). Kết cấu tấm có cấu hình $(45^0/-45^0)_4$. Kết quả độ võng tại các điểm dọc theo đường trung tâm ($x = a/2$) được biểu diễn bằng đồ thị (Hình 5) như sau:




Hình 5. Sự biến thiên của độ võng dọc theo đường thẳng trung tâm $x/a=0,5$

Nhận xét: Đồ thị trên hình 5 cho thấy sự kết cấu tấm có số lượng lớp khác nhau cho khả năng chịu uốn là sai lệch nhau rất lớn. Ví dụ như kết cấu tấm có 1 gân cấu hình $(-45^0/45^0)$ so với $(-45^0/45^0)_2$ thì chênh nhau của độ võng trung tâm của tấm là 31,2%. Còn kết cấu tấm cấu hình $(45^0/-45^0)$ so với $(45^0/-45^0)_4$ chênh nhau 37,2%. Như vậy, số lượng lớp cũng là một yếu tố có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu uốn của kết cấu tấm – gân. Vì vậy, việc lựa chọn số lớp hợp lý cho kết cấu tấm có gân sẽ làm tăng khả năng chịu uốn.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, dựa trên mô hình phần tử tấm–gân tổng quát đã được nghiên cứu và thiết lập trong các nghiên cứu trước đó [1], chúng tôi đã xây dựng thành công thuật toán PTHH và chương trình máy tính bằng ngôn ngữ MATLAB. Nhờ đó đã tiến hành tính toán số với một số lớp các bài toán kết cấu tấm composite chịu uốn dạng tấm phẳng và tấm có gân tăng

cứng. Thông qua việc so sánh các kết quả này với các nghiên cứu đã công bố khác đã khẳng định được tính đúng đắn của mô hình phần tử, của thuật toán PTHH và chương trình đã được xây dựng. Điều đó cho phép nhóm nghiên cứu tiếp tục sử dụng và phát triển mô hình phần tử tấm-gân tổng quát này cho các bài toán độc lập khác. Một phần nội dung khác cũng đã được trình bày trong bài báo này là nghiên cứu ảnh hưởng của sơ đồ phân bố gân tăng cứng, cấu hình xếp lớp của tấm và số lượng lớp đối với khả năng chịu uốn của tấm composite lớp có gân tăng cứng. Qua đó đã chỉ ra được những yếu tố có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu uốn của các kết cấu dạng này mà các yếu tố này cần phải tính đến trong quá trình thiết kế 

Tóm tắt: Dựa trên mô hình phần tử tấm-gân dạng tam giác bậc hai, bài báo tập trung nghiên cứu, xây dựng thuật toán PTHH và chương trình MATLAB phục vụ cho tính toán và phân tích cơ học các kết cấu tấm composite lớp có gân tăng cứng bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH). Các kết quả số được thực hiện cho một lớp các bài toán kết cấu dạng tấm chữ nhật có gân tăng cứng với phương song song với một biên đã được so sánh với các kết quả đã công bố khác để khẳng định độ tin cậy của mô hình phần tử, của thuật toán và chương trình đã xây dựng. Bên cạnh đó, một số kết quả số khảo sát về ảnh hưởng của sự bố trí gân tăng cứng cũng như trật tự xếp lớp đối với khả năng chịu uốn của các kết cấu tấm chữ nhật có gân tăng cứng cũng được trình bày trong nội dung bài báo. Ở đây, lý thuyết tấm được sử dụng là lý thuyết chuyển vị bậc nhất của Mindlin.

Summary

Calculating laminate composite stiffened-plate using finite element method

Based on the model of stiffened-plate element, this paper is concentrated on study to build the finite element algorithm and a program in MATLAB language, which is applying to calculate and analyse in laminated composite stiffened-plate mechanical by using finite element method (FEM). The results of some rectangular stiffened-plate problems with the direction of blades are same as one of edges of plate, will be compared with other results was made public to show the trust of model and finite element algorithm as well as of the program. In addition, there are some results was made to analyse effects of blades layout on the plate as well as the order of layers in bending ability of stiffened-plate. In there, the Mindlin plate theory was applied.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Ngô Như Khoa - Đỗ Tiến Dũng (2007), “Xây dựng ma trận độ cứng phần tử tấm - gân ứng dụng trong tính toán kết cấu tấm composite lớp có gân tăng cứng bằng phương pháp phần tử hữu hạn”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Đại học Thái Nguyên, số 2 năm 2007.
- [2]. Đỗ Tiến Dũng (2007). *Tính toán số kết cấu tấm có gân tăng cứng bằng vật liệu composite bằng phương pháp Phần tử hữu hạn*, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật. Trường ĐHKT Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên.
- [3]. M. Kolli - K. Chandrashekhara, *Finite element analysis of stiffened laminated plates under transverse loading*, University of Missouri-Rolla, Rolla, Missouri 65409, USA.
- [4]. A.H Sheikh^{a,*}, A. Chakrabarti^b (2002). *A new plate bending element based on higher-order shear deformation theory for the analysis of composite plates*. Engineering College, Jalpaiguri-735102, West Bengal, India.
- [5]. J.N. Reddy., *A simple higher-order theory for laminated composite plates*. J. Appl. Mech. (ASME) 51 (1984) 745–752.
- [6]. A.K. Ghosh, S.S. Dey, *A simple element for the analysis of laminated plates*, Comp. Struct. 44 (3) (1990) 585–596.