ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT LIÊN TỤC TRONG THIẾT KẾ BIÊN DẠNG ĐÁY VỎ TRỤ COMPOSITE ĐƯỢC QUẤN PHẲNG

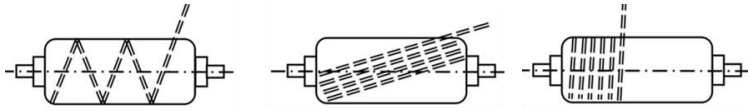
Đinh Văn Hiến[1*], Trần Ngọc Thanh[1], Trần Thị Thanh Vân[2], Sái Mạnh Thắng[1]

Tóm tắt: *Trong kỹ thuật quấn sợi, cùng với quấn xoắn, quấn phẳng là một kỹ thuật quấn tạo thành lớp vỏ composite bao kín, được dùng trong chế tạo các bình áp lực composite dạng trụ có đáy. Đối với vỏ trụ composite, bài toán tìm biên dạng đáy vỏ tối ưu là bài toán phức tạp nhất và quan trọng nhất. Một biên dạng đáy vỏ tối ưu cần đảm bảo hai điều kiện: (1)- Hình dạng cân bằng; (2)- Không trượt sợi. Dựa trên hai điều kiện này và lý thuyết vật liệu composite dị hướng (lý thuyết liên tục), bài báo nghiên cứu tìm quy luật toán học mô tả biên dạng đáy vỏ trụ của sơ đồ quấn phẳng. Kết quả đã xây dựng được phương trình vi phân mô tả biên dạng đáy vỏ tối ưu, làm tiền đề cho thiết kế kết cấu và công nghệ chế tạo.*

Từ khóa: Quấn phẳng; Vỏ trụ composite; Lý thuyết liên tục; Bình áp lực composite.

1. MỞ ĐẦU

Các vỏ trụ composite có đáy chịu áp lực trong được chế tạo bằng công nghệ quấn đã và đang được dùng trong nhiều lĩnh vực. Xét về kết cấu, vỏ trụ composite có đáy là dạng kết cấu thông dụng nhất. Ở khía cạnh công nghệ quấn, theo dạng sơ đồ quấn, có ba kiểu quấn là quấn xoắn, quấn phẳng và quấn ngang (hình 1), trong đó, quấn xoắn và quấn phẳng là hai kỹ thuật chính tạo thành lớp vỏ bao kín, còn quấn ngang có chức năng gia cường chịu lực cho phần thân trụ; theo mô tả toán học của quỹ đạo sợi có quấn trắc địa (sợi không có xu hướng trượt ngang) và phi trắc địa. Trong đó, quấn phẳng là một dạng quấn phi trắc địa đặc biệt mà sợi rải lên bề mặt vỏ có quỹ đạo nằm trong mặt phẳng trong một chu trình quấn. Kỹ thuật quấn phẳng có ưu điểm là quá trình công nghệ và yêu cầu thiết bị đơn giản hơn so với quấn xoắn, song có nhược điểm là quỹ đạo bị ràng buộc trong mặt phẳng, nên sợi luôn có xu hướng trượt, cần phải được khống chế.



Hình 1. *Các sơ đồ quấn chế tạo vỏ trụ composite có đáy.*

Trong các bài toán thiết kế vỏ trụ composite có đáy, bài toán tìm biên dạng đáy vỏ thỏa mãn điều kiện về hình dạng cân bằng và không trượt sợi là bài toán quan trọng nhất. Có hai hướng lý thuyết trong thiết kế vỏ composite tròn xoay là lý thuyết lưới (vật liệu đơn hướng) và lý thuyết liên tục (vật liệu dị hướng). Gần đây, lý thuyết liên tục được nghiên cứu nhiều hơn trong thiết kế kết cấu composite bằng công nghệ quấn bởi tính phổ quát và tính chính xác của mô hình toán.

Đối với vỏ trụ composite quấn phẳng, các nghiên cứu về thiết kế biên dạng đáy đã được tiến hành sớm bởi các tác giả Hartung (1963) [1],Vydrin (1978) [2], Bunakov (1982) [3] và gần đây bởi D.V. Hien và cộng sự (2020) [4, 5]. Tuy nhiên, tất cả các nghiên cứu này đều dựa trên lý thuyết lưới.

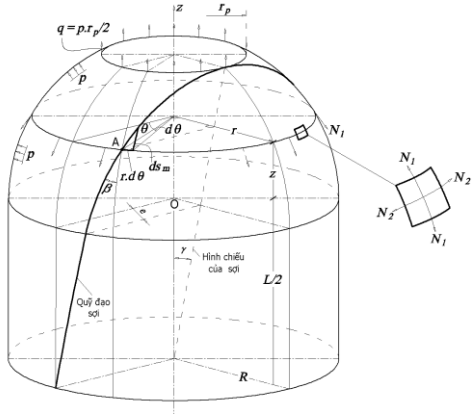
Từ phân tích trên, mô hình toán mô tả biên dạng đáy vỏ trụ composite được quấn phẳng theo lý thuyết liên tục được nghiên cứu.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

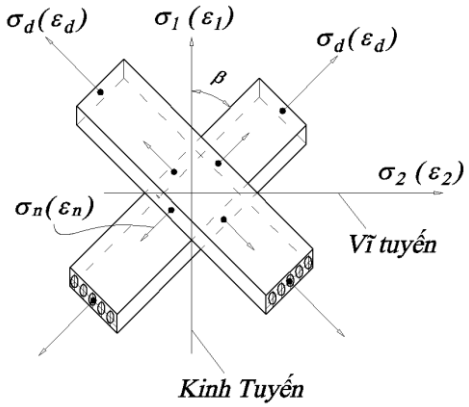
2.1. Quỹ đạo quấn phẳng- quan hệ góc quấn với các tham số hình học

Xét một vỏ trụ có đáy với một sợi được đặt trên vỏ theo quỹ đạo phẳng được mô tả trong hệ tọa độ cực (z, r, θ) như hình 2, có các đặc trưng chính sau:

- R, r_p là bán kính phần trụ và bán kính lỗ cực của đáy;
- γ là góc quấn ban đầu, là góc tạo bởi giữa hình chiếu của quỹ đạo sợi trên mặt phẳng vuông góc và trục z; e là độ lệch tâm (xem hình 1);
- β là góc quấn được tạo bởi giữa tiếp tuyến của quỹ đạo sợi với tiếp tuyến của kinh tuyến vỏ;
- p là áp suất trong và q là lực phân bố đường, $q = p.r_p/2$ ứng với trường hợp xét đến là vỏ có lỗ cực đóng kín (trường hợp của bình áp lực).



Hình 2. *Đặc trưng hình học và vật lý của đáy vỏ trụ kín được quấn phẳng trong hệ tọa độ cực.*



Hình 3. *Các thành phần ứng suất tác dụng lên phân tố composite.*

Góc quấn quan hệ với các tham số hình học của đáy vỏ (r, z) và các tham số hình học ban đầu e, γ (trong hệ tọa độ không thứ nguyên) như sau [4, 5]:

$$\tan\beta = \frac{\overline{r}.\tan\gamma - \overline{r}'.\left(\overline{z}.\tan\gamma + \overline{e}\right)}{\sqrt{1+\overline{r}'^2}.\sqrt{\overline{r}^2 - \left(\overline{z}.\tan\gamma + \overline{e}\right)^2}} \tag{1}$$

Trong đó: $\overline{r} = r/R$; $\overline{z} = z/R$; $\overline{e} = e/R$.

2.2. Các thành phần nội lực kinh tuyến và vĩ tuyến của vỏ

Khi vỏ chịu áp lực trong, $p \neq 0$, trong vỏ sẽ xuất hiện các thành phần nội lực (lực trên đơn vị dài) theo phương kinh tuyến, N_1 và vĩ tuyến, N_2 (hình 2). Cân bằng lực trên phương z và phương pháp tuyến với vỏ, nhận được [4]:

$$N_1 = p\frac{r\sqrt{1+r'^2}}{2} \tag{2}$$

$$N_2 = p\frac{r.\sqrt{1+r'^2}}{2}\left(2 + \frac{r.r''}{1+r'^2}\right) \tag{3}$$

Khi đó, ứng suất trung bình trên phương kinh tuyến (σ_1) và vĩ tuyến (σ_2) của vỏ được xác định như sau:

$$\sigma_1 = N_1/h \tag{4}$$

$$\sigma_2 = N_2/h \tag{5}$$

Từ (4) và (5), ta có:

$$\sigma_2/\sigma_1 = N_2/N_1 \tag{6}$$

Bây giờ, ta xét phân tố có chứa các sợi được quấn phẳng như hình 3. Do vỏ tròn xoay đối xứng trục về hình dạng và tải tác dụng, nên các thành phần ứng suất và biến dạng trượt phải bằng

không. Theo lý thuyết cơ học của vật liệu composite [6], các thành phần ứng suất và biến dạng trên vỏ có các quan hệ sau:

$$\sigma_1 = \sigma_d.\cos^2\beta + \sigma_n.\sin^2\beta - \tau_{dn}.\sin 2\beta \quad (7)$$

$$\sigma_2 = \sigma_d.\sin^2\beta + \sigma_n.\cos^2\beta + \tau_{dn}.\sin 2\beta \quad (8)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_n.\sin^2\beta - \varepsilon_d.\cos^2\beta}{\sin^4\beta - \cos^4\beta} \quad (9)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_d.\sin^2\beta - \varepsilon_n.\cos^2\beta}{\sin^4\beta - \cos^4\beta} \quad (10)$$

$$\varepsilon_d = \frac{\sigma_d}{E_d} - \frac{v_{dn}}{E_n}.\sigma_n \quad (11)$$

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma_n}{E_n} - \frac{v_{nd}}{E_d}.\sigma_d \quad (12)$$

$$\gamma_{dn} = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1).\sin 2\beta \quad (13)$$

Trong đó: σ_d, σ_n, ε_d, ε_n, E_d, E_n, v_{dn}, v_{nd} tương ứng là ứng suất, biến dạng, mô đun đàn hồi và hệ số Poisson của vật liệu composite theo phương dọc và vuông góc với trục sợi với $E_d.v_{dn} = E_n.v_{nd}$; γ_{dn} và τ_{dn} là biến dạng trượt và ứng suất trượt trên phương dọc trục sợi.

Trong lý thuyết lưới, vật liệu là đơn hướng, tức là, $\sigma_n = 0$ và bỏ qua vai trò qua ứng suất trượt ($\tau_{dn} = 0$) nên từ (7) và (8), ta có:

$$\sigma_1 = \sigma_d.\cos^2\beta \quad (14)$$

$$\sigma_2 = \sigma_d.\sin^2\beta \quad (15)$$

Từ (14) và (15), ta có:

$$\sigma_2 / \sigma_1 = \tan^2\beta \quad (16)$$

Bằng cách kết hợp (6) với (16) và biến đổi nhận được:

$$\bar{r}'' = \left(\tan^2\beta - 2\right)\frac{1 + \bar{r}'^2}{\bar{r}} \quad (17)$$

Với việc thế (1) vào (17), nhận được phương trình mô tả biên dạng đáy vỏ trụ composite được quấn phẳng theo lý thuyết lưới. Tuy nhiên, trong lý thuyết liên tục, do vật liệu là dị hướng, nên để xác định phương trình biên dạng đáy cần có điều kiện.

2.3. Điều kiện năng lượng biến dạng nhỏ nhất

Trong nghiên cứu này, điều kiện năng lượng biến dạng nhỏ nhất cho thiết kế đáy vỏ được sử dụng. Khi chịu áp mà vỏ có năng lượng biến dạng là nhỏ nhất thì độ cứng và khả năng chịu tải của vỏ là tốt nhất. Xét phân tố composite ở hình 3. Năng lượng biến dạng đàn hồi tuyến tính của phân tố vỏ được xác định như sau:

$$U = \frac{1}{2}(\sigma_1.\varepsilon_1 + \sigma_2.\varepsilon_2) \quad (18)$$

Theo lý thuyết cơ học vật liệu composite [6], ta có:

$$\begin{pmatrix}\sigma_1\\ \sigma_2\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}A_{11} & A_{12}\\ A_{21} & A_{22}\end{pmatrix}.\begin{pmatrix}\varepsilon_1\\ \varepsilon_2\end{pmatrix} \quad (19)$$

Trong đó, A_{ij} là các thành phần độ cứng của lớp composite với lưu ý $A_{12} = A_{21}$.

Dạng đảo ngược của phương trình (19) là:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{pmatrix} \tag{20}$$

Trong đó, a_{ij} là các thành phần phù hợp của ma trận [a] được biểu diễn qua các thành phần độ cứng A_{ij} như sau:

$$a_{11} = \frac{A_{22}}{A_{11}.A_{22} - A_{12}^2}, \quad a_{22} = \frac{A_{11}}{A_{11}.A_{22} - A_{12}^2}, \qquad a_{12} = a_{21} = -\frac{A_{12}}{A_{11}.A_{22} - A_{12}^2}$$

Thay (19), (20) vào (18) nhận được:

$$U = \frac{\sigma_1^2}{2} . \frac{A_{22} - 2.\varphi.A_{12} + \varphi^2.A_{11}}{A_{22}.A_{11} - A_{12}^2} \tag{21}$$

Trong đó, φ là tỷ số ứng suất, $\varphi = \sigma_2/\sigma_1$.

Với vật liệu composite có cấu hình sợi đối xứng, quan hệ sau được yêu cầu [6]:

$$A_{11} + 2.A_{12} + A_{22} = C \tag{22}$$

Trong đó, C là hằng số phụ thuộc vào vật liệu và chiều dày của mỗi lớp đơn.

Để tìm cực tiểu của hàm U, ta sẽ xét hàm số sau:

$$f(A_{11}, A_{12}, A_{22}) = \frac{\sigma_1^2}{2} . \frac{A_{22} - 2.\varphi.A_{12} + \varphi^2.A_{11}}{A_{22}.A_{11} - A_{12}^2} - \eta.(A_{11} + 2.A_{12} + A_{22} - C) \tag{23}$$

với η là tham số Lagrange.

Theo điều kiện cực trị trong toán học, hàm f đạt cực tiểu khi:

$$\frac{\partial f}{\partial A_{11}} = 0, \ \frac{\partial f}{\partial A_{22}} = 0, \ \frac{\partial f}{\partial A_{12}} = 0 \tag{24}$$

Giải (24) với ràng buộc (22) nhận được:

$$\varphi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{A_{22} + A_{12}}{A_{11} + A_{12}} \tag{25}$$

Thay σ_1 và σ_2 từ (19) vào (25), nhận được:

$$\frac{A_{21}.\varepsilon_1 + A_{22}.\varepsilon_2}{A_{11}.\varepsilon_1 + A_{12}.\varepsilon_2} = \frac{A_{22} + A_{12}}{A_{11} + A_{12}} \tag{26}$$

Đẳng thức (26) xảy ra khi:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon \tag{27}$$

2.4. Phương trình mô tả biên dạng đáy tối ưu

Thay $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ vào (11) và (12), ta có:

$$\sigma_d = \varepsilon \frac{E_d(1 + v_{dn})}{1 - v_{dn} v_{nd}} \tag{28}$$

$$\sigma_n = \varepsilon \frac{E_n(1 + v_{nd})}{1 - v_{dn} v_{nd}} \tag{29}$$

Thêm nữa, do $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, nên từ (13), ta có $\gamma_{dn} = 0$ hay $\tau_{dn} = 0$. Bây giờ, thay (28) và (29) vào (7) và (8), sau đó, xét tỷ số σ_2/σ_1, ta được:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\tan^2\beta + k}{1 + k\tan^2\beta} \tag{30}$$

với $k = \dfrac{E_n(1+v_{nd})}{E_d(1+v_{dn})}$ là tham số đặc trưng cho tính dị hướng của vật liệu composite.

Thế N_1 và N_2 từ (2) và (3) vào (30) và đưa về dạng không thứ nguyên, ta được:

$$\bar{r}'' = \left(\frac{\tan^2\beta + k}{1 + k\tan^2\beta} - 2\right)\frac{(1+\bar{r}'^2)}{\bar{r}} \tag{31}$$

Sau cùng, thay tanβ từ (1) vào (31) nhận được phương trình mô tả biên dạng đáy vỏ trụ composite được quấn phẳng theo lý thuyết liên tục như sau:

$$\bar{r}'' = \left(\frac{\left[\dfrac{\bar{r}.\tan\gamma - \bar{r}'.\left(\bar{z}.\tan\gamma + \bar{e}\right)}{\sqrt{1+\bar{r}'^2}.\sqrt{\bar{r}^2 - \left(\bar{z}.\tan\gamma + \bar{e}\right)^2}}\right]^2 + k}{1 + k\left[\dfrac{\bar{r}.\tan\gamma - \bar{r}'.\left(\bar{z}.\tan\gamma + \bar{e}\right)}{\sqrt{1+\bar{r}'^2}.\sqrt{\bar{r}^2 - \left(\bar{z}.\tan\gamma + \bar{e}\right)^2}}\right]^2} - 2\right)\frac{(1+\bar{r}'^2)}{\bar{r}} \tag{32}$$

Điều kiện đầu để giải phương trình (32) là: Tại $\bar{z} = 0, \bar{r}(0) = 1, \bar{r}'(0) = 0$.

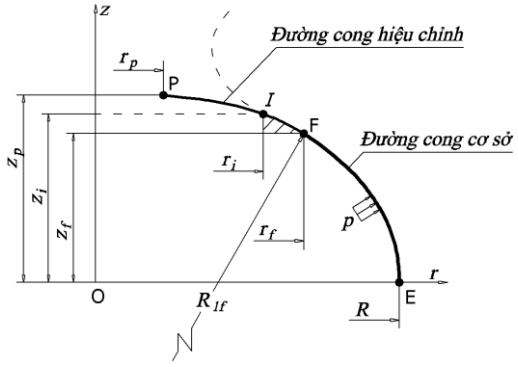
Từ phương trình (32) thấy rằng, lý thuyết lưới là trường hợp của lý thuyết liên tục khi $k = 0$.

2.5. Phương trình hiệu chỉnh biên dạng đáy

Để đảm bảo đường cong kinh tuyến đáy là lồi, đạo hàm cấp hai của $\bar{r}$ theo z phải âm, vì vậy, từ (31), góc quấn β phải thỏa mãn:

$$\tan^2\beta \le \frac{2-k}{1-2.k} \tag{33}$$

Đẳng thức (33) xảy ra, đường cong biên dạng đáy sẽ xuất hiện điểm uốn. Nói chung, góc quấn tại điểm uốn $\beta_i < 90^0$, bởi vì, nếu $\beta_i = 90^0$, tan$\beta_i \to +\infty$, trong khi, vế phải của (31) là hữu hạn. Do điều kiện quấn liên tục, góc quấn tại lỗ cực phải bằng 90^0, nên đường cong biến dạng đáy luôn bị uốn cong trước khi tiến về lỗ cực. Để khắc phục cần phải có giải pháp hiệu chỉnh.



Hình 4. *Hiện tượng uốn cong của kinh tuyến đáy và giải pháp hiệu chỉnh.*

$$\begin{cases} \left(\overline{z}+\overline{R}_{1f}.\sin\alpha_f-\overline{z}_f\right)^2+\left(\overline{r}+\overline{R}_{1f}.\cos\alpha_f-\overline{r}_f\right)^2=\overline{R}_{1f}^2 \\ \alpha_f=\arccos\left((1+\overline{r}^2)^{-1/2}\right)\Big|_{\overline{z}=\overline{z}_f} \end{cases} \quad (34)$$

Để hiệu chỉnh đường cong biên dạng đáy có thể dùng một cung tròn có bán kính cong là R_{1f} có phương trình như (34) [4, 5] và điểm bắt đầu hiệu chỉnh có bán kính hướng tâm $\overline{r}_f > \overline{r}_i$ (bán kính hướng tâm tại điểm uốn *I*) (hình 4).

2.6. Điều kiện không trượt sợi

Do quấn phẳng là trường hợp riêng của quấn phi trắc địa, nên xu hướng trượt sợi luôn xuất hiện. Điều kiện để sợi không trượt khi quấn là [4, 5]:

$$\lambda \le [\lambda] \quad (35)$$

Trong đó: λ là hệ số trượt, được xác định như (36) [4, 5]; $[\lambda]$ là hệ số ma sát tĩnh giữa sợi và bề mặt vỏ, $[\lambda]$ = 0,2 và 0,4 tương ứng với quấn ướt và quấn khô [7].

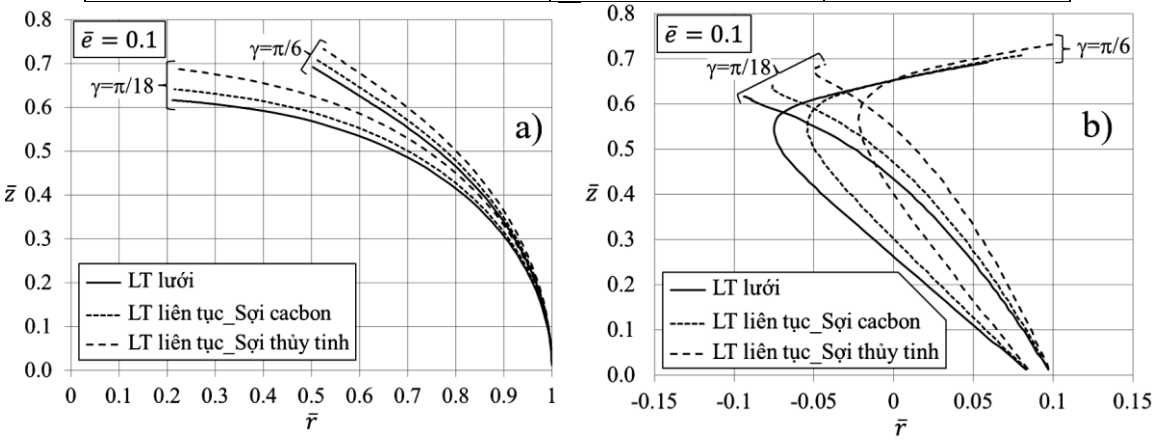
$$\lambda=\frac{\left(1+r'^2\right).(r'.\sin\beta+r.\beta'.\cos\beta)}{\left(1+r'^2\right).\sin^2\beta-r.r''.\cos^2\beta} \quad (36)$$

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

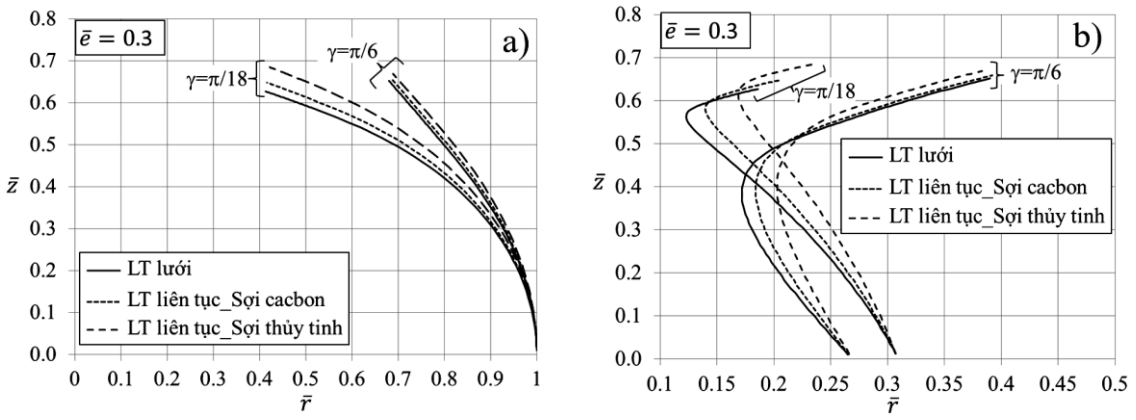
Trong phần này, đường cong biên dạng đáy và phân bố hệ số trượt được xây dựng cho các trường hợp khác nhau của $\overline{e}$ và γ theo lý thuyết lưới và lý thuyết liên tục. Hai loại vật liệu composite thông dụng là sợi thủy tinh/nền epoxy và sợi cacbon/nền epoxy có tính chất như bảng 1 được dùng trong tính toán.

Bảng 1. *Tính chất của hai loại vật liệu composite dùng trong tính toán [8].*

Tính chất	Sợi thủy tinh/epoxy	Sợi cacbon/epoxy
Mô đun đàn hồi dọc trục, E_1 (GPa)	60	140
Mô đun đàn hồi vuông góc, E_2 (GPa)	13	11
Hệ số Poisson, ν_{12}	0,3	0,27
Độ bền kéo dọc trục (MPa)	1800	2000
Độ bền kéo vuông góc (MPa)	40	50
Hệ số *k*	0,2645	0,0977



Hình 5. *Đường cong biên dạng đáy (a) và phân bố hệ số trượt (b) cho trường hợp* $\overline{e}=0{,}1$, $\gamma = \pi/18$ *và* $\pi/6$.



Hình 6. *Đường cong biên dạng đáy (a) và phân bố hệ số trượt (b) cho trường hợp* $\bar{e} = 0,3$, $\gamma = \pi/18$ *và* $\pi/6$.

Kết quả tính toán trình bày ở hình 5 và hình 6, nhận thấy, xét về đường cong biên dạng đáy, do ảnh hưởng của hệ số *k*, biên dạng đáy tính theo lý thuyết liên tục và lý thuyết lưới có sự khác nhau nhất định. Khi *k* càng lớn, chiều cao đáy càng lớn, ngược lại, khi *k* càng nhỏ, biên dạng đáy tính theo lý thuyết lưới và lý thuyết liên tục là gần tương tự nhau. Thêm nữa, khi giá trị *k* càng lớn, xu hướng trượt sợi ra ngoài cũng tăng, có nghĩa là, biên dạng đáy tính theo lý thuyết liên tục làm tăng xu hướng trượt sợi ra ngoài và giảm xu hướng trượt sợi vào trong tâm trục quấn.

Các tham số $\bar{e}$ và γ ảnh hưởng đáng kể đến hình dạng của đường cong biên dạng và hệ số trượt. Với biên dạng đáy, khi $\bar{e}$ và γ càng lớn, bán kính cực $\bar{r}_p$ và độ dốc của đường cong biên dạng càng lớn. Còn đối với xu hướng trượt sợi:

- Khi $\bar{e}$ và γ tăng, hệ số trượt lớn nhất cũng tăng, tức là xu hướng trượt sợi càng cao;

- Khi γ nhỏ, xu hướng trượt xảy ra mạnh hơn ở phần chuyển tiếp giữa trụ và đáy, ngược lại, khi γ lớn, xu hướng trượt xảy ra mạnh hơn ở nơi tiếp giáp lỗ cực.

Như vậy, trong thiết kế biên dạng đáy, cần xác định phân bố của hệ số trượt và so sánh giá trị hệ số trượt lớn nhất λ_{max} với hệ số trượt cho phép [λ]. Ví dụ, nếu chọn công nghệ là quấn ướt, ta có [λ] = 0,2 và cặp tham số ban đầu ($\bar{e}$,γ) = (0,1, π/6) thì $\lambda_{max} = 0,1 < [\lambda]$, trong trường hợp này, biên dạng đáy đảm bảo không trượt sợi khi quấn. Còn nếu, chọn cặp ($\bar{e}$,γ) = (0,3, π/6) thì $\lambda_{max} = 0,39 > [\lambda]$, với trường hợp này, biên dạng đáy không thỏa mãn điều kiện không trượt sợi, cần loại bỏ và thực hiện lại quá trình tính toán.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên lý thuyết liên tục, mô hình toán mô tả biên dạng đáy vỏ trụ composite được quấn phẳng dựa trên điều kiện năng lượng biến dạng nhỏ nhất có xét đến điều kiện không trượt sợi đã được xây dựng. Một số điểm rút ra như sau:

- Nếu vật liệu composite thể hiện tính dị hướng rõ rệt, đường cong biên dạng đáy cần sử dụng lý thuyết liên tục để tính toán, ngược lại, nếu vật liệu thiên về tính đơn hướng, có thể tính toán biên dạng đáy theo lý thuyết lưới mà không cần xác định các tính chất của vật liệu composite;

- Khi hệ số đặc trưng cho tính dị hướng của vật liệu composite, *k,* càng lớn, biên dạng đáy tính theo lý thuyết liên tục có khuynh hướng làm tăng xu hướng trượt sợi ra ngoài, giảm xu hướng trượt sợi vào trong tâm trục quấn.

- Khi độ lệch tâm ($\bar{e}$) và góc quấn ban đầu (γ) tăng sẽ làm tăng xu hướng trượt của sợi trên đáy vỏ khi quấn.

- Khi góc γ nhỏ, xu hướng trượt xảy ra mạnh hơn ở phần chuyển tiếp giữa trụ và đáy, còn khi góc γ lớn, xu hướng trượt xảy ra mạnh hơn ở phần tiếp giáp lỗ cực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. R.F. Hartung, "*Planar-wound filamentary pressure vessels*," AIAA Journal, Vol 1, Issue 12 (1963), pp.2842-2844.
[2]. V.M. Vydrin and et al., "*To the problem of optimization of composite shells of revolution*," Hydraulics and Strength of Machines and Structures, Perm, (1978), pp.42-47.
[3]. V.A. Bunakov and et al., "*Optimum design of membrane composite shells of revolution*," in V.V. Vasiliev, Composite pressure vessels- analysis, design, and manufacturing, Virginia, USA: Bull Ridge Publishing, Blacksburg (2009).
[4]. D.V. Hien, T.N. Thanh and et al., "*Design of planar wound composite vessel based on preventing slippage tendency of fibers*," Journal of Composite Structures, Vol 254 (2020).
[5]. Đ.V. Hiến, T.N. Thanh và công sự, "*Biên dạng đáy vỏ composite dạng trụ lỗ cực hở nhận được bằng phương pháp quấn phẳng*," Tạp chí nghiên cứu KH&CN quân sự, số đặc san 10 (2020), tr.274-281.
[6]. V.V. Vasiliev, E.V. Morozov, "*Mechanics and analysis of composite materials*," UK: Elsevier (2001).
[7]. R. Wang and et al., "*Slippage coefficient measurement for nongeodesic filament-winding process*," Composites: Part A, Vol 42 (2011), pp.303-309.
[8]. L. Zu and et al., "*Design of filament–wound domes based on continuum theory and non-geodesic roving trajectories*," Composites Part A, Vol 41, Issue 9 (2010), pp.1312-1320.

ABSTRACT

APPLICATION OF CONTINUUM THEORY FOR DESIGNING THE DOME OF THE PLANNAR WOUND COMPOSITE CYLINDRICAL SHELL

In the filament winding technique, together with the helical winding, the planar winding is a winding technique forming the enclosed composite shell, used in manufacturing cylinder composite pressure vessels. With composite cylindrical shells, the problem of finding optimal dome profiles is the most important and complex problem. A optimal dome profile, it need two conditions: (1)- equilibrium shape and (2)- no slip of fibers. Based on two these conditions and orthotropic material theory (continuum theory), this paper will study to find out the mathematical law of the planar wound filamentary dome profile. As a result, the differential equation describing the optimal dome profile was established that will be the basis for structural design and product-fabrication.

Keywords: Planar winding; Composite cylindrical shells; Continuum theory; Composite pressure vessels.

Nhận bài ngày 8 tháng 4 năm 2021
Hoàn thiện ngày 12 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: [1]Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;
[2]Viện Cơ khí- Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
*Email: vanhiencompany221182@gmail.com.