

Nghiên cứu xây dựng phương pháp đo hệ số trượt cho phép phục vụ thiết kế chế tạo kết cấu composite tròn xoay bằng phương pháp quán phi trắc địa

Trần Ngọc Thanh, Bùi Văn Âm*, Đinh Văn Hiến

Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: kimam1994offich@gmail.com

Nhận bài: 03/10/2023; Hoàn thiện: 15/12/2023; Chấp nhận đăng: 19/12/2023; Xuất bản: 25/02/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.93.2024.163-170>

TÓM TẮT

Kết cấu composite nhận được bằng phương pháp quán (trụ, cầu, xuyên,...) được dùng trong nhiều lĩnh vực. Để tạo thành kết cấu, sợi được tẩm nhựa và rải lên khuôn quán theo quỹ đạo trắc địa hoặc phi trắc địa. Quỹ đạo phi trắc địa của sợi là quỹ đạo phi cân bằng, tức là, sợi có xu hướng trượt ngang. Xu hướng trượt sợi được đánh giá qua hệ số trượt (λ), là tỷ số giữa độ cong trắc địa (k_g) và pháp tuyến (k_n), $\lambda = k_g/k_n$. Khi giá trị λ lớn hơn giá trị cho phép ($[\lambda]$), sợi sẽ bị trượt. Trong bài báo này, từ lý thuyết quỹ đạo sợi, phương pháp đo hệ số trượt cho phép được xây dựng, đồng thời dự báo sai số do xét đến ảnh hưởng của bề rộng băng quán. Từ đó, khuôn quán được thiết kế và chế tạo bằng nhựa POM cho tiến hành thí nghiệm. Thực nghiệm được tiến hành trên máy quán MQC-01CT, vật liệu quán là sợi thủy tinh có bề rộng băng sợi 6 mm được tẩm ướt bằng nhựa epoxy. Kết quả cho thấy, hệ số trượt cho phép trung bình $[\lambda] = 0,195$ với sai số $\Delta\lambda = 0,063\%$. Kết quả là cơ sở để xác định hệ số trượt cho phép trong các trường hợp vật liệu composite và khuôn quán khác nhau, đồng thời, giá trị đo đặc là cơ sở để toán kết cấu-công nghệ quán vật liệu composite tương ứng.

Từ khóa: Hệ số trượt; Hệ số trượt cho phép; Quán phi trắc địa; Kết cấu composite tròn xoay.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thiết kế, chế tạo vỏ composite tròn xoay bằng phương pháp quán đã và đang là chủ đề thời sự, thu hút nhiều nhà khoa học quan tâm giải quyết. Theo mô tả toán học của quỹ đạo sợi, có hai kiểu quán là quán trắc địa và quán phi trắc địa, ở đó, quán trắc địa là kỹ thuật rải sợi lên bề mặt vỏ mà dưới tác động của lực căng sợi, thành phần lực ngang tác dụng lên sợi bằng không, tức là, sợi không có xu hướng trượt. Tất cả các trường hợp quán khác đều xếp vào kỹ thuật quán phi trắc địa, tức là sợi không nằm ở trạng thái cân bằng ổn định nhất và luôn có xu hướng trượt. Dạng kết cấu điển hình nhất sử dụng kỹ thuật quán phi trắc địa là bình áp lực được chế tạo từ vật liệu composite dạng trụ có hai đáy với bán kính lỗ cực khác nhau thì một trong hai đáy bắt buộc phải sử dụng kỹ thuật quán phi trắc địa.

Một tham số đặc trưng cho tính toán kết cấu công nghệ quán phi trắc địa là hệ số trượt (λ). Theo lý thuyết quỹ đạo sợi, hệ số trượt là tỷ số giữa độ cong trắc địa (k_g) và độ cong pháp tuyến (k_n) của quỹ đạo sợi tại điểm đang xét [1, 2]. Rõ ràng, hệ số trượt là tham số phụ thuộc vào đặc trưng hình học của quỹ đạo sợi, tức là, phụ thuộc vào biên dạng hình học của bề mặt vỏ và cách rải sợi lên bề mặt vỏ. Như vậy, với mỗi biên dạng hình học vỏ và dạng rải sợi được định trước sẽ có một giá trị hệ số trượt nhất định. Dựa trên lập luận này, nếu xây dựng biên dạng hình học vỏ biên thiên và định trước một kiểu rải sợi sẽ tìm được quy luật quan hệ giữa hệ số trượt và tham số hình học của bề mặt vỏ. Từ đó, có thể có thể dùng thực nghiệm để đo đặc và tìm được giá trị tới hạn của hệ số trượt (gọi là hệ số trượt cho phép) mà ở đó sợi chuyển từ trạng thái ổn định sang trượt. Đó là lý luận dẫn đường cho việc xác định hệ số trượt cho phép trong kỹ thuật quán phi trắc địa.

Về mặt lý thuyết [3, 4], hệ số trượt chính là hệ số ma sát tĩnh giữa sợi (được tẩm nhựa) và khuôn quán, tức là hệ số trượt cho phép phụ thuộc vào vật liệu làm khuôn, loại sợi và trạng thái sợi (tẩm ướt hoặc khô). Vì vậy, không thể xác định hệ số trượt cho phép chung cho tất cả các loại vật liệu sợi và khuôn, mà chỉ phù hợp cho các trường hợp riêng để phục vụ cho bài toán thiết kế - công nghệ cụ thể.

Từ phân tích trên, bài báo này trọng tâm nghiên cứu xây dựng phương pháp xác định hệ số trượt cho phép nhằm phục vụ cho tính toán thiết kế-công nghệ quần bình chịu lực composite. Bên cạnh đó, để hiện thực hóa phương pháp, một thực nghiệm được tiến hành đo hệ số trượt cho phép của vật liệu composite cốt sợi thủy tinh/nền epoxy với khuôn quần bằng nhựa POM.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Quỹ đạo sợi phi trắc địa

Xét một sợi đặt trên bề mặt vỏ cong lồi, chịu tác động của lực kéo sợi f như mô tả ở hình 1. Do tác động của lực f , sợi sẽ chịu các phản lực của bề mặt vỏ được phân là 2 thành phần gồm thành phần lực pháp tuyến f_n và thành phần lực tiếp tuyến f_μ với bề mặt vỏ. Cân bằng lực tác dụng sợi ta có [1]:

$$f_n \cdot R_n \cdot d\varphi_n = 2 \cdot f \cdot \sin(d\varphi_n / 2) \approx f \cdot d\varphi_n \quad (1)$$

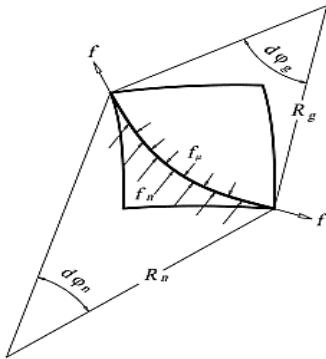
$$f_\mu \cdot R_g \cdot d\varphi_g = 2 \cdot f \cdot \sin(d\varphi_g / 2) \approx f \cdot d\varphi_g \quad (2)$$

$$f_\mu = \lambda \cdot f_n \quad (3)$$

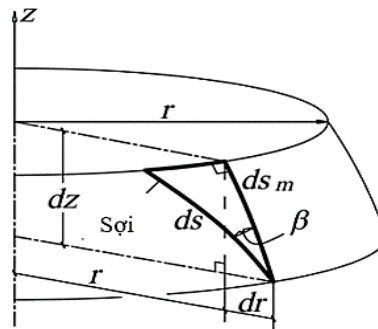
trong đó, λ là hệ số trượt giữa sợi (hoặc bó sợi) với bề mặt vỏ; R_n và R_g tương ứng là bán kính cong pháp tuyến và bán kính cong trắc địa của sợi; $d\varphi_n$ và $d\varphi_g$ tương ứng với góc bị chặn bởi cung cong trong mặt phẳng pháp tuyến và mặt phẳng tiếp xúc có bán kính cong R_n và R_g ; k_g và k_n tương ứng là độ cong trắc địa và độ cong pháp tuyến của quỹ đạo sợi tại điểm đang xét.

Kết hợp (1), (2) và (3), ta có:

$$\lambda = \frac{f_\mu}{f_n} = \frac{R_n}{R_g} = \frac{k_g}{k_n} \quad (4)$$



Hình 1. Cân bằng lực sợi có xét đến ma sát phân tử vỏ.



Hình 2. Quan hệ hình học vi phân của x, s, s_m và β .

Bây giờ, ta xét vỏ composite tròn xoay nằm trong hệ tọa độ cực $(x, r(x), \theta)$, trong đó, x là tọa độ trục, $r(x)$ là tọa độ hướng tâm và θ là tọa độ góc. Khi đó, theo lý thuyết độ cong trong hình học vi phân, các quan hệ sau được thiết lập [4]:

$$k_n = -\frac{r''(x) \cdot \cos^2(\beta)}{\sqrt{(1+r'(x)^2)^3}} + \frac{\sin^2(\beta)}{r(x) \cdot \sqrt{1+r'(x)^2}} \quad (5)$$

$$k_g = \frac{d\beta}{ds} + \frac{r'(x) \cdot \sin(\beta)}{r(x) \cdot \sqrt{1+r'(x)^2}} \quad (6)$$

Trong đó: β là góc hợp bởi tiếp của đường sinh (đường kinh tuyến) với tiếp tuyến của sợi tại một điểm bất kỳ đang xét; s là chiều dài sợi; $r(x)', r(x)''$ là đạo hàm bậc nhất và bậc hai của $r(x)$ theo x .

Thay (5) và (6) vào (4), sau đó biến đổi nhận được:

$$\frac{d\beta}{ds} = \lambda \left(\frac{\sin^2 \beta}{r(x)\sqrt{1+r'(x)^2}} - \frac{r''(x)\cos^2 \beta}{(\sqrt{1+r'(x)^2})^3} \right) - \frac{r'(x)\sin \beta}{r(x)\sqrt{1+r'(x)^2}} \quad (7)$$

Từ quan hệ hình học ở hình 2, có thể diễn đạt $d\beta/ds$ như sau:

$$\frac{d\beta}{ds} = \frac{d\beta}{dx} \cdot \frac{dx}{ds_m} \cdot \frac{ds_m}{ds} = \frac{d\beta}{dx} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+r'(x)^2}} \cdot \cos \beta \quad (8)$$

Kết hợp (7) và (8), sau đó, biến đổi nhận được:

$$\beta' = \frac{d\beta}{dx} = \lambda \cdot \left(\frac{\sin \beta \cdot \tan \beta}{r(x)} - \frac{r(x)'' \cdot \cos \beta}{1+r'(x)^2} \right) - \frac{r'(x)' \cdot \tan \beta}{r(x)} \quad (9)$$

Phương trình là phương trình tổng quát mô tả quỹ đạo sợi đặt trên bề mặt vỏ tròn xoay bất kỳ hay còn gọi là phương trình quỹ đạo sợi phi trắc địa. Đối với trường hợp riêng, khi rải sợi theo quỹ đạo trắc địa, tức là sợi không có xu hướng trượt, $\lambda = 0$, từ phương trình (9) có thể rút ra:

$$r(x)' \cdot \sin \beta + r(x) \cdot \beta' \cdot \cos \beta = 0 \quad (10)$$

Từ (10) có thể suy ra, $r(x) \cdot \sin \beta = 0$. Đây chính là phương trình Clairaut mô tả quỹ đạo sợi rải theo đường trắc địa, đã được dùng trong tính toán kết cấu composite bằng công nghệ quấn.

2.2. Cơ sở xác định hệ số trượt cho phép

Từ phương trình (9), rút ra quan hệ sau:

$$\lambda = \frac{(1+r'(x)^2) \cdot (r'(x) \cdot \sin \beta + r(x) \cdot \beta' \cdot \cos \beta)}{(1+r'(x)^2) \cdot \sin^2 \beta - r(x) \cdot r''(x) \cdot \cos^2 \beta} \quad (11)$$

Từ quan hệ (11) có thể nhận thấy, hệ số trượt λ là tham số phụ thuộc vào $r(x)$ và β , tức là phụ thuộc vào tham số hình học của sợi trên bề mặt vỏ, hay phụ thuộc vào biên dạng hình học của vỏ và cách định hướng sợi (cách rải sợi) trên bề mặt vỏ. Như vậy, nếu cố định $r(x) = const$ và điều khiển góc quấn β biến thiên hoặc nếu cố định $\beta = const$, chúng ta sẽ có quan hệ đơn biến $\lambda = f(\beta)$ hoặc $\lambda = f(r)$.

Do hệ số trượt λ là tham số phụ thuộc vào lực pháp tuyến f_n và lực tiếp tuyến f_t (xem công thức (3)), nên có giới hạn hệ số trượt chính là hệ số ma sát tĩnh giữa sợi và bề mặt vỏ (hay bề mặt khuôn quấn). Giá trị giới hạn này gọi là hệ số trượt cho phép $[\lambda]$. Như vậy, để xác định giá trị hệ số trượt cho phép $[\lambda]$ cần thiết kể biên dạng hình học khuôn quấn $r(x)$ hoặc điều khiển góc quấn β để λ biến thiên và thực nghiệm đo đạc tìm điểm gây ra trượt sợi. Đây chính là nền tảng lý luận để xây dựng phương pháp đo hệ số trượt cho phép dùng trong kỹ thuật quấn phi trắc địa.

Phân tích sâu hơn, nhận thấy, nếu cho trước $r(x) = const$, để biến thiên λ cần biến thiên góc quấn β , tức là cần điều khiển biến thiên chuyển động tương đối giữa chuyển động quay của khuôn quấn và chuyển động tịnh tiến của đầu quấn. Điều này, phụ thuộc vào khả năng điều khiển chính xác của thiết bị quấn và dường như khá khó khăn cho xác định tọa độ của điểm trượt sợi. Ngược lại, nếu cho trước $\beta = const$, khi đó, để biến thiên λ chỉ cần định trước quy luật hình học của đường sinh khuôn quấn. Điều này rõ ràng thuận lợi hơn vì việc tạo biên dạng hình học khuôn chỉ phụ thuộc vào kỹ thuật gia công cơ khí.

Theo lập luận trên, nếu cố định góc quấn $\beta = 90^\circ$ - tương ứng với trường hợp quấn ngang trong kỹ thuật quấn sợi, từ quan hệ (11) nhận được:

$$\lambda = r'(x) \quad (12)$$

Như vậy, $\lambda = r'(x)$ chính là hệ số góc của đường sinh khuôn quán. Để biến thiên hệ số góc của đường sinh $r(x)$, dạng hàm hệ số góc đơn giản nhất có thể chọn là dạng hàm đa thức bậc nhất. Khi đó, phương trình đường sinh $r(x)$ và hệ số góc của đường sinh $r'(x)$ có dạng sau:

$$r(x) = ax^2 + bx + c \tag{13}$$

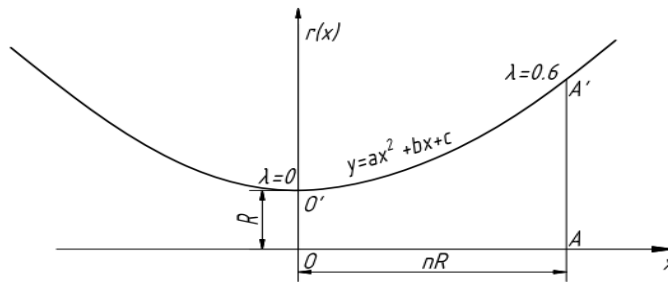
$$\lambda = r'(x) = 2ax + b \tag{14}$$

trong đó, a, b và c tương ứng là hệ số của đa thức bậc 2 trong phương trình (13).

Dạng đường cong tổng quát của phương trình (13) được mô tả như ở hình 3. Chi tiết xây dựng thiết kế khuôn quán như sau:

- Chọn điểm O (trên hình 3) là điểm xuất phát khi quán, có tọa độ trục tung bằng R (một giá trị bất kỳ), tại đó, hệ số trượt $\lambda=0$. Tức là tại O', ta có bộ tham số sau: $x = 0, r(0)=R, \lambda = r'(0)=0$. Thay vào (13) và (14), nhận được: $b = 0$ và $c = R$.

- Chọn điểm A là điểm cuối của biên dạng khuôn theo quy luật bậc 2, ở đó, $\lambda = \lambda_c$ (ở đó, λ_c là giá trị hệ số trượt cho trước, được chọn sao cho $\lambda_c \geq [\lambda]$). Tọa độ x tại điểm A được chọn x là số nguyên lần của R, cụ thể $x = nR$ (n là số nguyên bất kỳ). Khi đó, tại điểm A' ứng với điểm trên biên dạng cuối của khuôn, ta có bộ tham số sau: $x = nR, \lambda = r'(nR) = \lambda_c$. Thay vào (14), nhận được: $a = \lambda_c / 2nR$.



Hình 3. Biên dạng đường cong của khuôn quán.

Khi đó, phương trình mô tả đường sinh biên dạng khuôn quán có dạng sau:

$$r(x) = \frac{\lambda_c x^2}{2nR} + R \tag{15}$$

Phương trình (15) là phương trình tổng quát mô tả biên dạng đường sinh khuôn quán dùng để đo đặc hệ số trượt cho phép sử dụng kỹ thuật quán ngang ($\beta = 90^\circ$). Các giá trị n, R sẽ được chọn trong quá trình thiết kế thực, phụ thuộc vào sự ảnh hưởng của chúng đến sai số đo gây ra bởi ảnh hưởng của bề rộng băng quán lên góc quán β .

Từ phương trình (15), xác định phương trình hệ số trượt của khuôn quán:

$$\lambda(x) = r'(x) = \frac{\lambda_c x}{nR} \tag{16}$$

2.3. Sai số đo hệ số trượt

Về mặt lý tưởng, góc quán $\beta = 90^\circ$ chỉ ứng với trường hợp sợi có bề rộng băng quán, $w = 0$. Điều này là không tưởng. Trong thực tế, do ảnh hưởng của bề rộng băng quán, góc quán ngang có sai số góc ε là hàm phụ thuộc vào bề rộng băng quán w và bán kính trục quán r tại vị trí đang xét. Từ mô tả quan hệ hình học ở hình 4, sai số góc quán ε được xác định như sau:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2} - \beta = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{w}{2\pi r}\right) = \frac{\pi}{2} - \arccos\left(\frac{\bar{w}}{2\pi}\right) \tag{17}$$

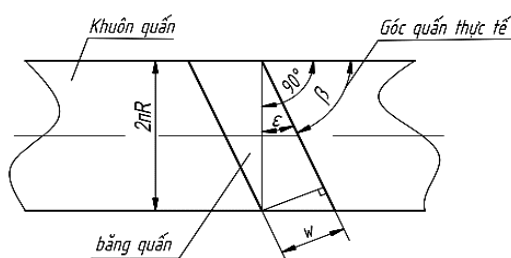
ở đó, $\bar{w} = w/r$ là bề rộng băng quấn tương đối (không thứ nguyên).

Rút β từ (17) và thay vào (11), sau đó, biến đổi nhận được:

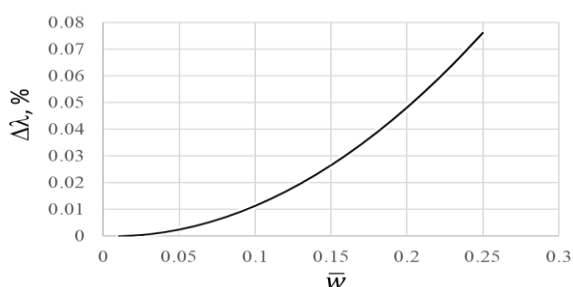
$$\lambda = \frac{(1 + r'(x)^2) \cdot r'(x) \cdot \cos \varepsilon}{(1 + r'(x)^2) \cdot \cos^2 \varepsilon - r(x) \cdot r''(x) \cdot \sin^2 \varepsilon} \quad (18)$$

Nếu góc ε rất nhỏ, $\sin \varepsilon \rightarrow 0$, phương trình (18) trở thành:

$$\lambda = \frac{r'(x)}{\cos \varepsilon} \quad (19)$$



Hình 4. Mô tả hình học của sai số góc quấn trong kỹ thuật quấn ngang.



Hình 5. Quan hệ giữa sai số hệ số trượt ($\Delta\lambda$) với độ rộng băng quấn tương đối (\bar{w}).

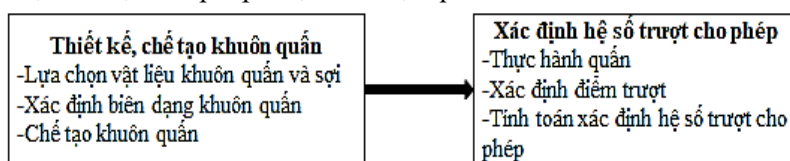
Kết hợp phương trình (12) và (19), nhận được sai số hệ số trượt lý tưởng và thực tế như sau:

$$\Delta\lambda = \left(\frac{1}{\cos \varepsilon} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (20)$$

Kết hợp (17) với (20) và biểu diễn quan hệ giữa sai số hệ số trượt $\Delta\lambda$ với bề rộng băng quấn tương đối \bar{w} dưới dạng đồ thị như hình 5. Có thể thấy, khi bề rộng tương đối băng quấn \bar{w} càng lớn, sai số hệ số trượt $\Delta\lambda$ càng lớn và ngược lại. Như vậy, tùy theo yêu cầu về độ chính xác khi đo hệ số trượt, cần chọn giá trị bề rộng băng quấn tương đối tương ứng.

2.4. Trình tự đo hệ số trượt cho phép

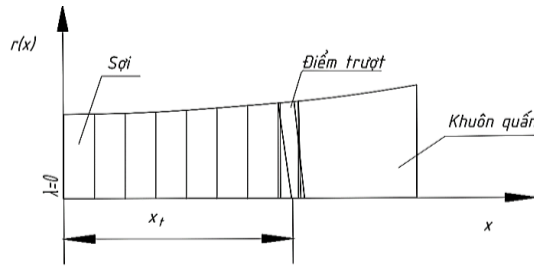
Trình tự đo hệ số trượt cho phép được thể hiện qua hình 6.



Hình 6. Trình tự đo hệ số trượt cho phép.

+ **Thiết kế, chế tạo khuôn quấn:** Dựa trên nhu cầu thực tế của sản phẩm cần chế tạo, lựa chọn vật liệu làm khuôn quấn, sợi và nhựa giống vật liệu của sản phẩm chế tạo thực tế. Trên cơ sở bề rộng băng quấn đã sử dụng, tính toán sai số đo hệ số trượt ảnh hưởng bề rộng băng quấn nằm trong vùng sai số cho phép của người sử dụng, từ đó, xác định các tham số thiết kế n và R . Giá trị λ_c được chọn sao cho $\lambda_c \geq [\lambda]$, thông thường $[\lambda] \leq 0,4$ phụ thuộc kiểu quấn khô hoặc ướt [3-6]. Khuôn quấn để xác định hệ số trượt cho phép sau khi chế tạo có cùng độ nhám với khuôn quấn của sản phẩm thực tế.

+ **Xác định hệ số trượt cho phép:** Sau khi làm sạch bề mặt khuôn, quấn sợi được tẩm nhựa lên bề mặt khuôn. Điểm trượt sợi là điểm sợi trượt chùng chéo lên nhau (hình 7). Khoảng cách từ vị trí $\lambda = 0$ đến điểm trượt sợi là khoảng cách trượt x_t . Đo giá trị x_t , sau đó, thay $x = x_t$ vào phương trình (16) nhận được hệ số trượt cho phép giữa khuôn và sợi.



Hình 7. Điểm trượt sợi và khoảng cách trượt.

3. THỰC NGHIỆM - KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Chuẩn bị nguyên liệu

Trên cơ sở phương pháp xác định hệ số trượt cho phép đã xây dựng, hiện thực hóa phương pháp, một thực nghiệm được tiến hành. Do điều kiện nguyên liệu và nhu cầu công nghệ thực tế, trong nghiên cứu này, chỉ giới hạn thực nghiệm đo hệ số trượt cho phép trong kỹ thuật quấn ướt với các nguyên liệu ban đầu như sau:

- Vật liệu quấn: Sợi thủy tinh được tẩm ướt bằng nhựa epoxy. Sợi thủy tinh được chọn là loại chuyên dùng cho kỹ thuật quấn sợi, mác EDR24-2400-386, bề rộng băng sợi, $w = 6$ mm. Nhựa epoxy gồm 3 thành phần: 90%ЭД20 + 10%ДЭГ-1 + 15% hóa rắn m-PDA.

- Vật liệu khuôn quấn: Nhựa POM. Đây là loại nhựa được dùng tương đối phổ biến làm lớp lót (khuôn quấn) trong các kết cấu composite tròn xoay.

3.2. Thiết kế, chế tạo khuôn quấn

Từ phương trình tổng quát (15), các tham số sau được chọn để xây dựng bản vẽ khuôn quấn:

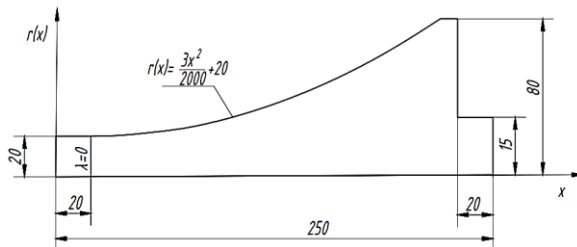
- Theo tham khảo một số tài liệu [3-6], hệ số trượt cho phép trong kỹ thuật quấn khô đến 0,4, còn đối với quấn ướt, hệ số trượt cho phép thấp hơn, chọn giá trị $\lambda_c = 0,6$.

- Chọn $n = 10$, $R = 20$ mm. Với bán kính nhỏ nhất R của khuôn được chọn, bề rộng băng quấn tương đối, $\bar{w} = 0,3$, tương ứng với sai số đo hệ số trượt $\Delta\lambda = 0,11\%$.

Thay các giá trị trên vào phương trình (15) nhận được phương trình đường sinh khuôn quấn cần thiết kế, chế tạo như sau:

$$r(x) = \frac{3x^2}{2000} + 20 \quad (21)$$

Từ phương trình (21), khuôn quấn được thiết kế kích thước và biên dạng như hình 8. Hình ảnh khuôn quấn sau chế tạo như hình 9.



Hình 8. Bản vẽ khuôn quấn.



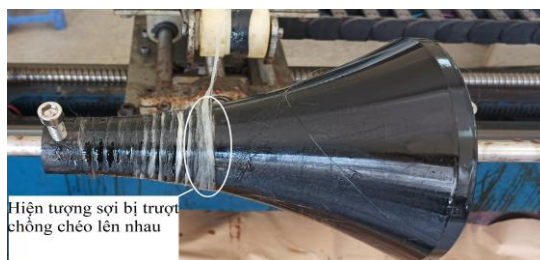
Hình 9. Khuôn quấn sau chế tạo.

3.3. Thực nghiệm đo hệ số trượt cho phép

- **Công tác chuẩn bị:** Làm sạch khuôn quấn và gá lắp lên máy quấn, tiếp đến, gá cuộn sợi thủy tinh lên bàn rải sợi, luồn băng sợi qua thùng tẩm đến đầu quấn, sau đó, pha chế nhựa và đổ vào thùng tẩm để tẩm ướt sợi.



Hình 10. Khuôn quấn được gá trên máy.



Hình 11. Băng quấn bị trượt ra khỏi quỹ đạo.

- **Thực hành quấn và đo đạc:** Quá trình quấn được thực hiện trên máy quấn MQC-01CT của Viện Tên Lửa/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự. Để đo chính xác vị trí trượt của sợi cần sử dụng camera độ phân giải cao. Một số hình ảnh về quá trình quấn để đo hệ số trượt cho phép trình bày ở hình 10 và hình 11. Số lần thí nghiệm: 05. Giá trị đo sẽ được lấy trung bình. Kết quả đo hệ số trượt và tính toán sai số trình bày ở bảng 1.

Bảng 1. Giá trị của đo hệ số trượt cho phép.

Tên giá trị đo	Giá trị đo					Giá trị trung bình
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5	
Giá trị x_i (mm)	67	65	63	65	65	65
Giá trị $[\lambda]$	0,201	0,195	0,189	0,195	0,195	0,195
Sai số $\Delta\lambda$ (%)	0,061	0,063	0,064	0,063	0,063	0,063

Như vậy, với vật liệu composite cốt sợi thủy tinh/nền nhựa epoxy được quấn trên khuôn quấn bằng nhựa POM, giá trị hệ số trượt cho phép là $[\lambda] = 0,195$ với sai số đo $\Delta\lambda = 0,063\%$.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở mô hình toán mô tả quỹ đạo sợi của kỹ thuật quấn phi trắc địa, đã khẳng định rằng, hệ số trượt (tỷ số giữa độ cong pháp tuyến k_n và độ cong trắc địa k_g) là tham số chỉ phục thuộc vào đặc trưng hình học của bề mặt vỏ $r(x)$ và góc quấn sợi β , tức là có thể xây dựng được phương pháp xác định hệ số trượt dựa trên việc cố định một trong hai tham số $r(x)$ hoặc β . Từ đó, đã đưa ra phương pháp xác định hệ số trượt cho phép được mô tả dưới dạng phương trình toán học đơn biến của đường cong biến dạng đường sinh khuôn quấn (bề mặt vỏ) với góc β cố định bằng góc quấn lý tưởng trong kỹ thuật quấn ngang, $\beta = 90^\circ$. Từ phương pháp xây dựng đã hiện thực hóa bằng thực nghiệm đo hệ số trượt cho phép trong trường hợp riêng với vật liệu composite cốt sợi thủy tinh/nền nhựa epoxy, vật liệu khuôn quấn bằng nhựa POM. Kết quả thu được, hệ số trượt cho phép $[\lambda] = 0,195$ với sai số đo $\Delta\lambda = 0,063\%$.

Phương pháp xác định hệ số trượt cho phép đưa ra có thể áp dụng để xác định hệ số trượt cho phép đối với các vật liệu composite và vật liệu khuôn quấn khác nhau. Giá trị đo hệ số trượt cho phép với vật liệu composite cốt sợi thủy tinh/nền nhựa epoxy, vật liệu khuôn quấn bằng nhựa POM có thể dùng trong tính toán kết cấu composite tương ứng dùng kỹ thuật quấn phi trắc địa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dinh Van Hien , Tran Ngoc Thanh , Vu Tung Lam , Tran Thi Thanh Van , Le Van Hao . "Design of planar wound composite vessel based on preventing slippage tendency of fibers". Compos. Struct. 254, 71–78, (2020).
- [2]. Zu, L.; Xu, H.; Zhang, Q.; Jia, X.; Zhang, B.; Li, D. "Design of filament-wound spherical pressure vessels based on non-geodesic trajectories". Compos. Struct. 218, 71–78, (2019).
- [3]. S. Neunkirchen1, R. Schledjewski1, "Determination of the friction coefficient in dry-fiber filament winding", ECCM18 - 18th European Conference on Composite Materials, (2018).
- [4]. Gray A, "Modern differential geometry of curves and surfaces", Boca Ration: CRC press; (1993).

- [5]. Sotiris Koussios, Otto K. Bergsm. "Friction Experiments for Filament Winding Applications", Delft University of Technology, Kluiverweg 1, 2629.
- [6]. G. Di Vita, M. Grimaldi, M. Marchetti, and P. Moroni. "The Filament Winding Manufacturing Technique: Studies on the Determination of the Friction Coefficient and on the Optimization of Feed-Eye Motion". Advanced Materials: Looking ahead to the 21. century. International SAMPE Technical Conference. Boston, MA, (1990).

ABSTRACT

Research on building method of measuring the allowable slippage coefficient to serve the design of non-geodesic wound filamentary composite shell of revolution

Composite structures obtained by winding methods (cylinder, sphere, torus, etc.) are used in many fields. To form the structure, the fibers are impregnated with resin and spread onto the mandrel in a geodesic or non-geodetic trajectory. The non-geodetic trajectory of the fiber is an unbalanced trajectory, i.e., the fiber has a tendency to slip transversely. The slippage tendency of fiber is assessed by the slippage coefficient (λ), which is the ratio between the geodesic (k_g) and the normal curvature (k_n), $\lambda = k_g/k_n$. When the value of λ is bigger than the allowable value ($[\lambda]$), the fiber will be slipped. In this paper, from the fiber trajectory theory, a method of measuring the allowable slippage coefficient is built, and at the same time, the error prediction is due to the influence of the fiber width. Since then, the winding mandrel has been designed and made of POM plastic for experiments. Experiments were carried out on the winding machine MQC-01CT, the winding material is glass fiber with a width of 6 mm wetted with epoxy resin. The results show the average allowable slippage coefficient $[\lambda] = 0,195$ with error $\Delta\lambda = 0,063\%$. The results are the basis for determining the allowable slippage coefficient in different cases of composite and mandrel materials. At the same time, the measured values are the basis for calculating the structure and technology of winding the corresponding composite materials.

Keywords: Slippage coefficient; Allowable slippage coefficient; Non-geodetic winding; Composite shell of revolution.