

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ÁP SUẤT TẨM TRONG CHẾ TẠO KẾT CẤU TỪ VẬT LIỆU COMPOZIT

CALCULATION METHOD OF IMPREGNATED PRESSURE IN FABRICATION OF COMPOSITE STRUCTURE

TS. Trần Ngọc Thanh
Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

TÓM TẮT

Áp suất tẩm nhựa nền vào vật liệu cốt là thông số quan trọng để điều khiển thiết bị tẩm áp lực trong quá trình chế tạo các kết cấu từ composit. Bài báo đã xây mô hình sự phụ thuộc của áp suất tẩm vào kích thước và thời gian gia công của kết cấu. Trên cơ sở đó, xây dựng được phương pháp và trình tự tính toán xác định áp suất tẩm cần thiết khi gia công kết cấu từ composit. Các kết quả tính toán cụ thể được áp dụng cho ốp che xuyên thấu điện tử của một loại tên lửa đối hải.

Từ khóa: Công nghệ composit; Công nghệ tên lửa; Tên lửa.

ABSTRACT

Resin impregnated pressure into base material is an important parameter to control pressure impregnation equipment in the fabrication process of composite structures. The paper describes the built model of impregnated pressure dependency to size and duration of structure fabrication. On that basis, methods and order of calculations to determine the required impregnated pressure for fabrication of composite structures have been built. The specific calculation results are applied to electromagnetic penetrable cover tiles of antiship missile.

Keywords: Composite technology; Missile technology; Missile.



1. MỞ ĐẦU

Công nghệ tẩm áp lực là công nghệ thường được sử dụng để chế tạo các kết cấu có yêu cầu chất lượng rất cao trong kỹ thuật tên lửa và hàng không dân dụng [2,3]. Để làm chủ công nghệ này, cần làm chủ các thông số công nghệ cơ bản là: Vận tốc tẩm tối ưu, áp suất tẩm [2]. Xác định tốc độ tẩm nhựa nền tối ưu lên vật liệu cốt trong khuôn nhằm loại trừ sự xuất hiện các rỗ khí trong sản phẩm đã được nghiên cứu trong [1]. Vấn đề đặt ra là, ứng với mỗi vận tốc tẩm tối ưu, cần xác định được qui luật áp suất tẩm cần tạo trên thiết bị tẩm theo thời gian tẩm và sản phẩm cụ thể cần chế tạo.

2. MÔ HÌNH TOÁN ÁP SUẤT TẨM

Sức cản thủy động khi nhựa nền chảy động qua vật liệu cốt trong khuôn với mặt cắt ngang thay đổi có thể tính toán được nhờ phương trình vi phân Darci như sau [5]:

$$dP_n = -\lambda \frac{W^2}{2} \rho \frac{dl_{hd}}{d_{td}}, \tag{1}$$

Trong đó: P_n -Áp suất của nhựa nền; λ -Hệ số lực cản thủy động; W -Vận tốc chuyển động của nhựa nền qua khe dẫn được tạo ra giữa các cốt; ρ - Khối lượng riêng của vật liệu nền; d_{td} -Đường kính tương đương của các khe dẫn giữa các cốt mà nhựa nền chảy qua; l_{hd} -Độ dài nhựa nền chảy trong một lớp cốt có tính tới độ cong của khe dẫn.

Đường kính khe dẫn tương đương của hệ xếp phụ thuộc vào hình dạng của các phần tử rắn, cách phối trí và mức độ sít chặt của chúng. Trong trường hợp các phần tử rắn được phân bố đều trong toàn bộ thể tích thì đường kính tương đương của khe dẫn được xác định như sau [5]:

$$d_{td} = \frac{4(1-\nu_r)}{f_r} \tag{2}$$

Trong đó: ν_r -Phần trăm thể tích của các phần tử rắn; f_r - Bề mặt riêng (m^2/m^3) của các phần tử rắn.

Đối với các phần tử rắn dạng trụ dài có đường kính d_r , giá trị f_r được xác định như sau:

$$f_r = \frac{4\nu_r}{d_r} \tag{3}$$

Trong trường hợp sử dụng vải thủy tinh làm vật liệu cốt, các khe dẫn nhựa nền được tạo thành giữa tập hợp các sợi chỉ, có đường kính d_r . Các sợi chỉ này lại được tạo thành từ rất nhiều sợi đơn nhỏ hơn. Bề mặt ngoài hiệu dụng của các sợi chỉ lớn hơn hình trụ trơn có đường kính d_r . Đường kính tương đương của khe dẫn trong trường hợp này có thể được xác định theo phương trình sau:

$$d_{td} = \frac{k_f(1-\nu_c)dr}{\nu_c}, \tag{4}$$

Trong đó: k_f -Hệ số tính đến sự tăng bề mặt bên của sợi chỉ so với phần tử có dạng trụ trơn có cùng đường kính tương đương; ν_c -Phần trăm thể tích của vật liệu cốt.

Trong thực tế tính toán để thuận tiện sử dụng khoảng cách vùng tẩm:

$$l = \frac{l_{hd}}{\zeta} \tag{5}$$

Với ζ là hệ số tính đến độ cong của khe dẫn.

Hệ số cản nhớt phụ thuộc vào chế độ chảy của chất lỏng (chảy tầng hay chảy rối). Trong điều kiện thực tế công nghệ tẩm áp lực, nhựa nền thường là chảy tầng. Khi đó, hệ số cản nhớt được xác định theo công thức [5]:

$$\lambda = \frac{C}{R_e} \quad (6)$$

Trong đó: R_e là hệ số Rây - nôn $R_e = Wd_{hd} \rho / \eta$, với η là độ nhớt động học của vật liệu nền; C - Hệ số thực nghiệm, đối với trường hợp chất lỏng chuyển động qua các lớp vật rắn được lấy trong khoảng 130 đến 220 [4].

Sử dụng các hệ thức trên và biến đổi phương trình (1) nhận được:

$$dP_n = - \frac{Ck_f \zeta v_c^2}{2d_r^2 (1 - v_c)^2} \eta W dl. \quad (7)$$

Khi đó, độ cản nhớt của phần cốt đã tẩm được xác định như sau:

$$\Delta P_n = \int_0^L \frac{Ck_f \zeta v_c^2}{2d_r^2 (1 - v_c)^2} \eta W dl \quad (8)$$

Trong đó: L - Kích thước vùng tẩm (khoảng cách giữa mặt vào và mặt tự do của nhựa nền).

Thực tế vật liệu cốt sẽ được nén ép vào nên sẽ không phân bố thực sự đồng đều trong lòng khuôn. Vì vậy, phương trình trên chỉ được sử dụng để đánh giá một cách gần đúng lực cản thủy động của môi trường xốp, còn để tính toán chính xác cần sử dụng các số liệu thực nghiệm theo độ thấm của vật liệu.

Lực cản thủy động khi chảy qua các ống có thể được tính toán theo công thức sau:

$$\Delta P_{od} = \frac{\lambda}{d_{od}} \left[l_{od} + \sum n_i d_{od} \right] \frac{W_0^2}{2} \rho, \quad (9)$$

Trong đó: d_{od} - Đường kính ống dẫn; W_0 - Vận tốc chuyển động của nhựa nền trong ống dẫn; ρ - Khối lượng riêng của nhựa nền; l_{od} - Độ dài ống nối; n_i - Hệ số tổn thất cục bộ được xác định trong các sổ tay; $\lambda = 64/Re$ - Hệ số cản nhớt [5].

Nếu độ dài tương đương $L_{td} = l_{od} + \sum n_i d_{od}$ thì phương trình (3.19) được viết lại như sau:

$$\Delta P_{od} = \frac{32\eta L_{td} W_0}{d_{od}^2}. \quad (10)$$

Như vậy, tổng cản khi nhựa nền khi chảy qua ống dẫn và vật liệu cốt được tính như sau:

$$\Delta P = \Delta P_o + \Delta P_n \quad (11)$$

Khi tẩm dưới áp suất thủy tĩnh, các thành phần áp suất không lớn hơn nhiều so với các thành phần cản thủy động, vì vậy, giá trị ΔP thực tế bằng với áp suất dư trong buồng chứa nhựa nền.

Để đơn giản hóa các tính toán tiếp theo, phương trình liên tục cho dòng nhựa nền được cho dưới dạng:

$$W_i f_i (1 - v_c) = W_o f_o (1 - v_c) = W_{od} \frac{\pi d_{od}^2}{4} = V(\tau), \quad (12)$$

Trong đó: W_i, f_i - Vận tốc chảy của nhựa nền và diện tích mặt cắt ngang của khuôn tương ứng với mặt cắt thứ i ; W_o, f_o - Vận tốc chảy của nhựa nền và diện tích mặt cắt ngang của khuôn

tương ứng với mặt biên giữa vùng tẩm và vùng chưa được tẩm; W_{od} , d_{od} - Vận tốc chuyển động của nhựa nền trong ống dẫn và đường kính của nó; V_τ - Thể tích nhựa nền tại thời điểm τ .

Sau khi thay giá trị vận tốc tức thời W , vận tốc nhựa nền chuyển động trong ống dẫn W_0 bởi vận tốc tẩm tối ưu, kết hợp với phương trình liên tục ta nhận được:

$$\Delta P = \eta W_0 f_0 (1 - \nu_c) \left[\frac{128 L_{td}}{\pi d_{od}^4} + \int_0^L \frac{Ck_f \xi v_c^2}{2d_r^2 (1 - \nu_c)^3} f(l) dl \right], \quad (13)$$

Phương trình (13) mô tả sự phụ thuộc của độ chênh áp với vận tốc chuyển động mặt tự do nhựa nền, vị trí tương đối của mặt tự do khi có tính đến các đặc tính của ống dẫn, vật liệu cốt và hình dạng của sản phẩm. Trong trường hợp nếu đặc tính của vật liệu cốt không đổi trong toàn bộ sản phẩm thì phương trình trên có thể được biểu thị dưới dạng sau:

$$\Delta P = \mu W_0 f_0 (1 - \nu_c) [K_{od} + K_n F(L)], \quad (14)$$

Trong đó:

$$K_{od} = \frac{128 L_{td}}{\pi d_{od}^4}; K_n = \frac{Ck_f \xi v_c^2}{2d_r^2 (1 - \nu_c)^3}; F(L) = \int_0^L \frac{1}{f(l)} dl; \quad (15)$$

Hiển nhiên là giá trị f_0 và $F(L)$ phụ thuộc vào khe hở giữa khuôn trên và khuôn dưới (độ dày sản phẩm) h , dạng sản phẩm được chế tạo. Trong trường hợp đơn giản nhất đối với sản phẩm có mặt cắt ngang là hằng số ($f_0 = f_l = \text{const}$), như trường hợp tẩm các panen phẳng có độ rộng A và chiều dày h khi bố trí các đầu vào và đầu ra của nhựa nền theo các cạnh khác nhau:

$$f_0 = Ah; F(L) = \frac{L}{Ah}; \Delta P = \mu W_0 Ah (1 - \nu_c) \left[K_{od} + \frac{K_n L}{Ah} \right]. \quad (16)$$

Có thể sử dụng phương trình trên khi tính toán cho sản phẩm có mặt cắt ngang không đổi khác như là các vỏ trụ (tuy nhiên, công thức diện tích sẽ khác).

Các công thức xác định f_0 và $F(L)$ cho một số các dạng sản phẩm đối xứng trục có độ dày thành không đổi khi nhựa nền được bơm vào theo chu vi ngoài như sau:

- Đĩa có đường kính R và độ dày h :

$$f_0(L) = 2\pi h(R - L); F(L) = \frac{1}{2\pi h} \ln \left(\frac{R}{R - L} \right); \quad (17)$$

- Vỏ côn có bán kính cơ sở R , nửa góc ở đỉnh ω , độ dày thành h :

$$f_0(L) = 2\pi h(R - L \sin \omega); F(L) = \frac{1}{2\pi h \sin \omega} \ln \left(\frac{R}{R - L \sin \omega} \right); \quad (18)$$

- Vỏ dạng nửa cầu có bán kính R , độ dày h :

$$f_0(L) = 2\pi R h \cos \frac{L}{R}; F(L) = \frac{1}{4\pi h} \ln \left(\frac{1 + \sin(L/R)}{1 - \sin(L/R)} \right); \quad (19)$$

Trong trường hợp tẩm với vận tốc dịch chuyển của mặt tự do nhựa nền là hằng số, vị trí của lớp biên giữa phần được tẩm và chưa được tẩm của vật liệu cốt tại thời điểm bất kỳ τ được xác định theo phương trình:

$$L = W_0 \tau. \quad (20)$$

Như vậy, có thể xác định sự phụ thuộc của áp suất bơm ép theo thời gian để bảo đảm vận dịch chuyển mặt thoáng của nhựa nền là hằng số. Từ phương trình trên ta có thể xác định được toàn bộ thời gian của quá trình tẩm, khi giá trị tức thời của L đạt đến giá trị của toàn bộ kích thước vùng cần tẩm:

$$\tau_k = \frac{L_k}{W_0}. \quad (21)$$

3. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ÁP SUẤT TẮM

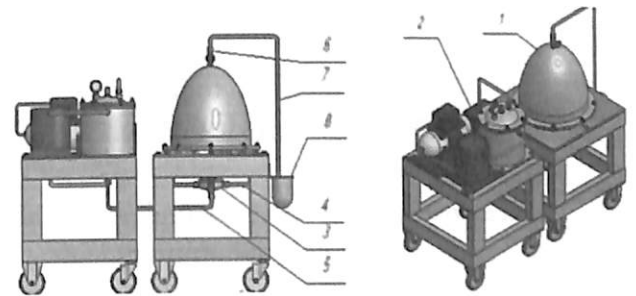
Trên cơ sở mô hình trên nhận thấy, áp suất tẩm kết cấu theo công nghệ tẩm áp lực có thể được xác định theo các bước sau:

- 1) Xác định các giá trị của các thông số đầu vào: $D, H, h, d_{od}, L_{od}, \eta, \sigma, W_0, v_c, d_c, k_f, n_i, \zeta, C$.
- 2) Xác định kích thước của toàn bộ vùng tẩm L_k theo kích thước thực và hình dạng của kết cấu.
- 3) Tính toán toàn bộ thời gian của quá trình tẩm theo công thức (21).
- 4) Tính toán các giá trị hệ số K_{od}, K_n theo các công thức (15).
- 5) Xây dựng phương trình để xác định $f_0(L)$ và $F(L)$ tùy theo dạng hình học của sản phẩm cần chế tạo theo các công thức (17, 18 và 19) hoặc tổng quát theo biểu thức tích phân (15).
- 6) Thiết lập quan hệ áp suất và kích thước vùng tẩm theo (14). Từ quan hệ này xây dựng biểu đồ áp suất theo kích thước vùng tẩm.
- 7) Thiết lập quan hệ áp suất và thời gian tẩm theo chế độ tối ưu bằng cách thay $L = W_{ot}$ vào phương trình mới thiết lập ở bước 5. Từ quan hệ này ta xây dựng được biểu đồ áp suất theo thời gian.

4. ÁP SUẤT TẮM ỐP CHE XUYỀN THẤU ĐIỆN TỬ

Tiến hành tính toán áp suất tẩm cho ốp chexuyên thấu điện tử của một loại tên lửa có dạng cầu bán kính R . Ốp che được chế tạo từ composit nền nhựa epoxy cốt vải thủy tinh, trên hệ thống thiết bị tẩm áp lực đã được thiết kế chế tạo (xem hình 1). Vận tốc tẩm tối ưu được xác định theo [1]. Các thông số đầu vào để tính toán áp suất tẩm được đưa ra trong bảng 1.

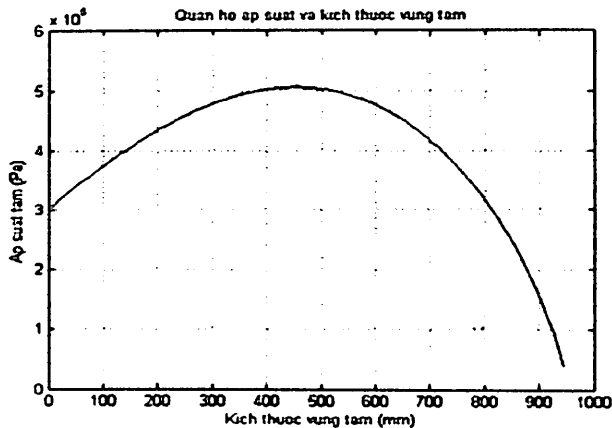
Kết quả tính toán nhận thấy, thời gian tẩm để hoàn thành quá trình chế tạo ốp che là 6227 giây. Mỗi quan hệ giữa áp suất tẩm với kích thước vùng tẩm và với thời gian tẩm được mô tả lần lượt trên các hình 2 và hình 3.



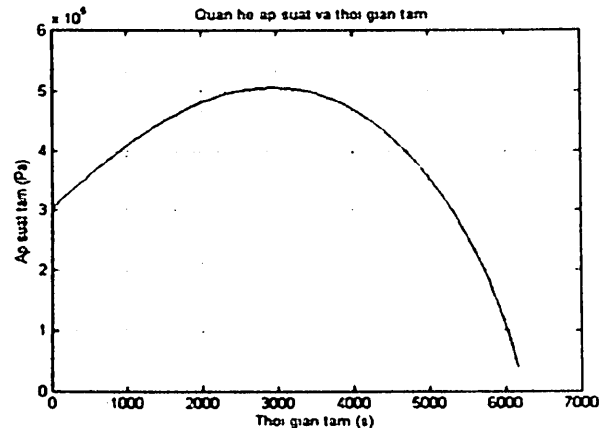
Hình 1. Hệ thống thiết bị tẩm áp lực để chế tạo ốp che anten xuyên thấu điện tử: 1) Khuôn; 2) Cụm thiết bị; 3) Bộ tích nhựa, 4,5,7; Các ống dẫn; 6) Khớp nối nhanh; 8) Thùng gom nhựa tràn

Bảng 1. Thông số để xác định quan hệ áp suất và thời gian tẩm:

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Bán kính ốp che cầu	R	mm	606,5
2	Đường kính ống dẫn	d_{od}	mm	10
3	Chiều dài ống dẫn	l_{od}	mm	3000
4	Độ nhớt động học của nhựa nền epoxy	η	Pa.s	0,15
5	Sức căng bề mặt của nhựa nền epoxy	σ	N/m	0,02
6	Vận tốc tẩm tối ưu	W_0	mm/s	0,154
7	Hàm lượng cốt trong composit	v_c		0,6
8	Đường kính sợi cốt	d_c	mm	0,1
9	Hệ số tăng bề mặt	k_f		$\pi/2$
10	Hệ số tổn thất cục bộ	n_i		0
11	Hệ số tính đến độ cong của khe dẫn	ζ		1,5
12	Hệ số	C		180



Hình 2. Áp suất tẩm ốp che xuyên thấu điện tử theo và kích thước vùng tẩm



Hình 3. Áp suất tẩm ốp che xuyên thấu điện tử theo thời gian tẩm

4. KẾT LUẬN

Đã xây dựng mô hình toán xác định sự phụ thuộc của áp lực tẩm vào kích thước và thời gian gia công của kết cấu composit được chế tạo theo công nghệ tẩm áp lực.

Xây dựng được phương pháp, trong đó mô tả rõ trình tự tính toán xác định áp suất tẩm cần thiết khi gia công kết cấu từ composit.

Đã xác định được rằng, toàn bộ thời gian tẩm để chế tạo ốp che xuyên thấu điện tử của một loại tên lửa đối hải là 6227 giây. Đã xác định được quy luật áp suất tẩm cần thiết để chế tạo ốp che này. ❖

Ngày nhận bài: 12/4/2016

Ngày phản biện: 17/5/2016

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trần Ngọc Thanh; "Mô hình toán và phương pháp xác định vận tốc tẩm tối ưu trong chế tạo kết cấu tên lửa từ composit"; Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 08 – 2015, tr. 76-81.
- [2]. Буланов И. М., Воробей В. В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов.- М.: МГТУ, 1998.- 516 с.
- [3]. И Г Гуртовник, В И Соколов, Н Н Трофимов, and С И Шалгунов, Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. Москва: Мир, 2003
- [4]. Шанлгунов С.И. Исследование физико-химических основ процесса пропитки стекловолокнистых наполнителей эпоксиэпоксидными связующими. М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 1995.
- [5]. Касанки А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Госхимиздат, 1962. 848 с.