

THIẾT KẾ TỐI ƯU TẤM COMPOSITE CÓ GÂN TĂNG CƯỜNG XUNG QUANH

OPTIMAL DESIGN OF COMPOSITES PLATE WITH STIFFENERS AT ALL EDGES

TS. Đoàn Trắc Luật

Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Các kết cấu tấm composite có gân tăng cường được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực: Hàng không, đóng tàu, chế tạo máy và xây dựng... Để chế tạo được những kết cấu cụ thể cần tiến hành tính toán, thiết kế trên cơ sở các yêu cầu kỹ thuật và các đặc trưng của sản phẩm. Trong đó, yêu cầu về một sản phẩm có khối lượng nhỏ nhất là một trong những vấn đề cần thiết trong kỹ thuật và kinh tế. Bài báo trình bày mô hình tính toán, thiết kế tấm composite lớp có gân tăng cường xung quanh chịu lực tập trung theo tiêu chuẩn khối lượng nhỏ nhất bằng phương pháp giải tích.

Từ khóa: Tấm Composite, tải trọng, ứng suất, thiết kế, khối lượng...

ABSTRACT

The composites plate with stiffeners used to wide in many fields: aeronautical, shipbuilding, machines and building.... To manufacture these structures are necessary to carry out specific calculations, based on specifications and characteristics of the product. Therein, ask about the products with the smallest weights is one of the most important issues in the field of technology and economics. This paper presents a theoretical model and design composites plate with stiffeners at all edges under concentrate load for minimum weights standard by analytical methods.

Keywords: Composite plate, load, stress, design, volumes...

1. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

Chúng ta nghiên cứu tấm composite nhiều lớp có gân tăng cường xung quanh chịu tác dụng của lực tập trung P đặt vào biên tự do. Trong đó, tấm có liên kết gối tựa ở một đầu, các thông số của tấm và tải trọng biểu diễn trên hình 1. Sử dụng kết quả tính toán xác định các lực trong gân tăng cường và tấm [1] để tiến hành thiết kế. Quy luật thay đổi của các thành

phần lực có dạng [1]:

$$N_x = 12(Px/H - N_c)y/H^2 \quad (1)$$

$$N_{xy} = 3P(1 - 4y^2/H^2)/2H + N_c(12y^2/H^2 - 1)/2;$$

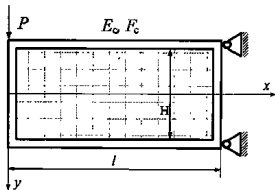
$$N_c = \frac{6Px}{(6 + k_1H/k_2)H} + \frac{Pl}{H} \left(1 - \frac{6}{6 + k_1H/k_2} \right) e^{-p(l-x)} \quad (2)$$

Trong đó:

$$k_1 = E_x h (N/m); \quad k_2 = E_c F_c (N);$$

$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$ - Chiều dày tấm cần tìm;

$$p^2 = 10 \frac{G_{xy} h}{H} \left(\frac{1}{k_2} + \frac{6}{k_1 H} \right) \quad (3)$$



Hình 1. Mô hình tấm CPS có gân tăng cường

N_x, N_y : là thành phần lực màng pháp tuyến và tiếp tuyến trong tấm;

N_c : Lực dọc xuất hiện trong gân tăng cường;

E_x, G_{xy} - Modul đàn hồi theo phương x và modul đàn hồi trượt của tấm.

Do chiều dài l và chiều cao H của tấm là cố định nên các yếu tố cần xác định là diện tích tiết diện ngang F_c của gân tăng cường và chiều dày h của tấm (tấm gồm các lớp có chiều dày h_i) đảm bảo tấm có khối lượng nhỏ nhất mà vẫn thỏa mãn điều kiện bền trong quá trình làm việc.

2. XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ HỢP LÝ CỦA TẤM

Phương pháp thiết kế thường phụ thuộc vào điều kiện kết cấu - công nghệ, các kích thước của kết cấu, đặc tính thay đổi của lực tác dụng, v.v. Vì thế, trong thực tế quá trình thiết kế không thể đưa đến kết cấu có khối lượng nhỏ nhất, mà chỉ có thể đạt được thiết kế hợp lý. Chúng ta cùng nghiên cứu một trong các

phương pháp khả dĩ tính toán, xác định các thông số cần tìm của tấm qua các bước sau:

Bước 1: Cho trước chiều dài hiệu ứng biên tính từ mép tấm, có nghĩa là chúng ta định trước: $\bar{x} = l - x$ và hiệu ứng biên sẽ bị dập tắt khi $e^{-p\bar{x}} = 0,03$ [2]. Từ quan hệ này tìm được giá trị của đại lượng p và sau đó xây dựng được đồ thị hàm $k_1 = f(k_2)$. Khi ta cho đại lượng \bar{x} một vài giá trị thì có thể xây dựng được các đồ thị hàm $k_1 = f(k_2)$ tương ứng với \bar{x} . Lựa chọn các hệ số k_1, k_2 và xác định được lực $N_c = N_c(x)$ theo (2) và các lực màng N_x, N_y theo (1). Từ việc phân tích có thể thấy rằng: Các lực màng trong tấm đạt giá trị lớn nhất tại tiết diện $x = l - \bar{x}$. Đồng thời, N_x đạt được giá trị lớn nhất ở các vị trí $y = \pm H/2$ bằng N_x^{\max} còn N_y đạt được giá trị lớn nhất ở vị trí $y = 0$ bằng N_y^{\max} :

$$N_x^{\max} = \frac{6P(l-\bar{x})}{H^2} \left(1 - \frac{6}{6 + k_1 H / k_2} \right)$$

$$N_y^{\max} = \frac{3P}{2H} \left(1 - \frac{6}{6 + k_1 H / k_2} \right); \quad (4)$$

Các giá trị N_x^{\max} và N_y^{\max} dùng để tính toán xác định chiều dày tấm. Tại vị trí liên kết thì $N_x = 0$ và N_c đạt giá trị lớn nhất, do đó vị trí này xác định tiết diện của gân tăng cường.

Bước 2: Sau khi xác định được các giá trị lớn nhất của các thành phần lực trong tấm, các lực N_i được xác định từ các phương trình tĩnh học [1]. Chúng ta tìm độ dày của các lớp composite trong tấm với giả thiết giá trị ứng suất trong các lớp đạt đến giới hạn bền σ_{bi} . Khi đó:

$$h_i = N_i / \sigma_{bi} \quad (5)$$

Từ giá trị độ dày của các lớp nhận được, tiến hành tính toán lại trạng thái ứng suất có kể đến ảnh hưởng của vật liệu nền nhằm xác định các giá trị $\sigma_{1r}, \sigma_{2r}, \tau_{12r}$ và so sánh chúng với các

giá trị giới hạn. Nếu các ứng suất trong các lớp thỏa mãn điều kiện: $\sigma_{1i} \leq \sigma_{b1}, \sigma_{2i} \leq \sigma_{b2}, \tau_{12i} \leq \bar{\tau}_{12}$ thì quá trình tính xác định chiều dày các lớp composite kết thúc. Tuy nhiên, thông thường thì điều kiện $\sigma_{2i} \leq \sigma_{b2}$ không được thỏa mãn. Nếu kiểm bền mà thấy vật liệu nền bị phá hủy thì tăng chiều dày của tất cả các lớp theo cùng một tỷ lệ cho đến khi các ứng suất đạt giá trị nhỏ hơn ứng suất cho phép.

Bước 3. Diện tích tiết diện ngang của gân tăng cường là $F_c = N_c / [\sigma_c]$ đạt giá trị lớn nhất tại vị trí biên $x = l$ và bằng $F_c^{max} = Pl / H[\sigma_c]$: (6)

Bước 4. Sau khi xác định được các thông số, tiến hành tính khối lượng G_i của tấm.

Bước 5. Đối với mỗi giá trị p đã cho, xây dựng đồ thị của hàm $k_1 = f(k_2)$. Thực hiện các bước từ 1 đến 4 theo trình tự trên chúng ta tìm được khối lượng G_i tương ứng của tấm, đồng thời tìm được giá trị và mối quan hệ giữa các thông số mà ở đó tấm có khối lượng nhỏ nhất.

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

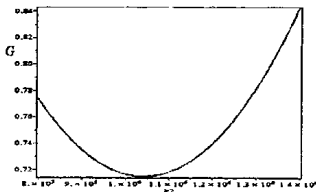
Để minh họa, chúng ta xét tấm composite hình chữ nhật, khi các thông số của kết cấu đã cho (hình 1) có giá trị như sau: Chiều dài tấm $l = 2m$; chiều cao tấm $H = 0,4m$; Lực tập trung tác dụng lên tấm $P = 2kN$; môđun đàn hồi dọc trục của các gân chịu lực là $E_c = 90.000MPa$. Cấu trúc của tấm có 3 lớp với các góc đặt cốt: $\varphi_1 = -\varphi_2 = \pi/4, \varphi_3 = \pi/2$. Vật liệu của tấm có các đặc trưng: $E_1 = 120000MPa, E_2 = 7000MPa, G_{12} = 6500MPa, \mu_{12} = 0,28$, các ứng suất giới hạn: $\sigma_{b1} = 1200MPa; \sigma_{b2} = 60MPa; \bar{\tau}_{12} = 70MPa$. Các thông số phải tìm là chiều dày h của tấm và diện tích tiết diện ngang F_c của gân tăng cường để tấm có khối lượng nhỏ nhất nhưng vẫn đảm bảo độ bền.

Để giải bài toán, ta đưa ra một vài giá trị của $\bar{x} = l - x$ để $e^{-\bar{x}^2} = 0,03$. Đối với mỗi giá

trị của p chúng ta xây dựng được đồ thị quan hệ giữa k_1 và k_2 . Sau đó xác định được sự phụ thuộc của khối lượng tấm vào được thể hiện qua hình 2. Giá trị của các tham số tương ứng với chiều dài hiệu ứng biên được thể hiện qua bảng 1:

Bảng 1. Giá trị của các tham số tính toán

x (mm)	Giá trị 10p	$k_1 = E_s h$	$k_2 = E_c F_c$	K.lg G
200	0,1496	315,3	7394647,9	2,716
202	0,1483	493,9	1463992,8	0,786
203	0,1475	575,1	1192255,9	0,722
204	0,1468	650,3	1043119,4	0,715
205	0,1461	723,5	947701,4	0,725
206	0,1454	793,8	880705,1	0,743
300	0,9980	3165,2	378960,6	1,993



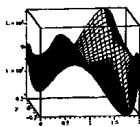
Hình 2. Quan hệ khối lượng G và k_2

Từ đồ thị $G = f(k_2)$ nhận được, ta thấy giá trị nhỏ nhất của khối lượng tấm đạt 0,715 (kg) tại $k_2 = 1043119,4$ và tương ứng là $k_1 = 650,3$. Đồng thời, cũng tìm được chiều dày các lớp của tấm theo tính toán chưa tính đến yếu tố công nghệ là: $h_1 = h_2 = 0,1168 (mm), h_3 = 0,0537 (mm)$ và các môđun đàn hồi của tấm tương ứng $E_x = 23512 (MPa); E_y = 54602 (MPa); G_{xy} = 18347 (MPa)$ diện tích của gân tăng cường là $F_c = 116 (mm^2)$.

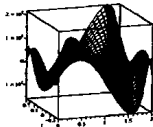
Từ các giá trị tính toán ở trên, xác định lại \bar{x}

giá trị ứng suất trong các lớp của tấm thì thấy ứng suất theo phương vuông góc với hướng đặt cốt σ_2 trong các lớp đặt cốt $\pm 45^\circ$ vượt qua giá trị cho phép. Để đảm bảo độ bền và tính hợp lý của kết cấu chúng ta tăng chiều dày của tất cả các lớp theo cùng một tỷ lệ cho đến khi các lớp đảm bảo điều kiện bền. Trong trường hợp này,

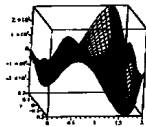
khi tính đến các yếu tố công nghệ chế tạo thì chúng ta nên chọn $h_1 = h_2 = h_3 = 0,12(mm)$ và diện tích tiết diện ngang của gân tăng cường là $F_c = 116(mm^2)$. Với các thông số kết cấu này, chúng ta nhận được ứng suất theo phương vuông góc với hướng đặt cốt trong các lớp của tấm như sau:



σ_2 trong lớp thứ 1



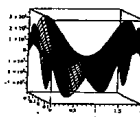
σ_2 trong lớp thứ 2



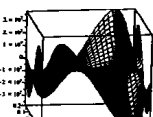
σ_2 trong lớp thứ 3

Hình 3. Ứng suất trong các lớp.

Ứng suất tiếp trong các lớp của tấm như sau:



τ_{12} trong lớp thứ 1



τ_{12} trong lớp thứ 2



τ_{12} trong lớp thứ 3

Hình 4. Ứng suất tiếp τ_{12} trong các lớp.

Từ các đồ thị ở trên ta thấy, các ứng suất phương vuông góc với hướng đặt cốt và ứng suất tiếp trong các lớp đều nhỏ hơn các giới hạn bền. Với các thông số kích thước được chọn này, tấm nhận được khối lượng là $G=0,76kg$.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã tiến hành xây dựng mô hình và các bước tính toán xác định các thông số của tấm có gân tăng cường xung quanh để tấm có khối lượng nhỏ nhất nhưng vẫn đảm bảo độ bền. Thực hiện tính toán và phân tích, lựa chọn các thông số của tấm đối với kết cấu cụ thể. Bài toán được thực hiện theo phương pháp giải tích, các

quả được thể hiện bằng các đồ thị thuận lợi cho việc phân tích, lựa chọn phương án thiết kế. ♦

Ngày nhận bài: 18/01/2017

Ngày phản biện: 15/02/2017

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Doan Trac Luat (2016); Analysis of composite plate with stiffeners at all edges. Journal of science and technology, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [2]. Васильев ВВ (1988); Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 272с.
- [3]. Дудченко А А (2007). Прочность и проектирование элементов авиационных конструкций из композиционного материала. - М.: Издательство МАИ, 200 с.