ĐÁNH ĐỘ BỀN TẤM ĐÁY TÀU CÁ VỎ COMPOSITE TỪ NHỰA POLYESTER VÀ SỢI THỦY TINH

EVALUATE THE STRENGTH OF BOTTOM HULL OF COMPOSITE FISHING BOAT MADE FROM POLYESTER RESINS AND GLASS FIBER

Phạm Thanh Nhựt
Trường Đại học Nha Trang
Tác giả liên hệ: Phạm Than Nhựt (Email: nhutpt@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 17/06/2021; Ngày phản biện thông qua: 12/09/2021; Ngày duyệt đăng: 29/09/2021

TÓM TẮT

Hầu hết các bộ phận kết cấu trong tàu cá vỏ composite hiện nay ở Việt Nam đều được chế tạo bằng vật liệu composite nhiều lớp với hai thành phần chính: nền là nhựa polyester không no, cốt là sợi thủy tinh E. Cho đến nay, quy cách kết cấu thân tàu composite chỉ được tính chọn theo các yêu cầu của quy phạm, chưa có phương pháp tính toán độ bền có độ chính xác và độ tin cậy cao. Do đó, các kết cấu này thường có xu hướng dư bền, gây nhiều ảnh hưởng không tốt đến tính năng, đồng thời làm tăng giá thành sản phẩm. Để đảm bảo tính an toàn và giải quyết bài toán thiết kế hợp lý kết cấu thân tàu, cần đặt vấn đề tính toán độ bền, nhất là độ bền kết cấu tấm vỏ tàu bằng vật liệu composite. Bài báo này trình bày kết quả tính toán ứng suất và biến dạng của tấm đáy của một tàu cá vỏ composite cụ thể bằng phương pháp giải tích. Kết quả tính toán cho thấy ứng suất sinh ra trên từng lớp nhỏ hơn ứng suất cho phép (xác định bằng thực nghiệm) nên tấm đáy tàu đảm bảo độ bền.

Từ khóa: *Vật liệu composite, nhựa polyester, sợi thủy tinh, tấm nhiều lớp, tàu cá.*

ABSTRACT

Most of the structural components of Vietnamese fishing boats are constructed by multi-layerd compostie materials. The two main componetns of those materials are unsaturated polyester resin and E glass fiber. Currenlty, hull structure scantling specifications are calculated according to the requirements of the regulation. So, they are tendency to have excess durability and negatively affecting product features and cost. To solve the problem of reasonable hull structure design, it is necessary to calculation the strength of the composite ship hull structure. This report presents the results of calculating the stress and strain of the bottom plate of a composite fishing boat by analytical method. The results show that the stress occurring on each layer is smaller than the standard values (determined by experiment), so the bottom hull panels ensures the strength.

Key words: *Composite materials, polyester resin, glass fiber, multi-layered plate, fishing boats.*

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Composite là một hỗn hợp gồm ít nhất hai pha hay hai thành phần vật liệu. Sự kết hợp này nhằm hạn chế nhược điểm của vật liệu này bằng ưu điểm của vật liệu kia, tạo nên sản phẩm có cơ tính khác hẳn các vật liệu ban đầu [2].

Về phương diện hóa học, composite có ít nhất hai pha được giới hạn bởi các mặt phân cách riêng biệt. Thành phần liên tục tồn tại với khối lượng lớn hơn trong composite được gọi là nền. Theo quan điểm thông thường, các đặc tính của nền được cải thiện nhờ sự phối hợp với thành phần khác để tạo nên vật liệu composite. Composite có thể có nền là gốm, kim loại hoặc Polymer. Cơ tính của ba loại nền đó khác nhau đáng kể. Các Polymer có sức bền và môđun đàn hồi thấp; gốm cứng vững và dòn, kim loại có sức bền và môđun đàn hồi trung tính, có tính dễ kéo sợi.

Thành phần thứ hai được gọi là cốt, có tác dụng làm tăng cơ tính cho vật liệu nền. Thông thường, cốt cứng hơn, khỏe hơn và có độ cứng vững cao hơn vật liệu nền. Đặc trưng hình học của pha gia cường (cốt) là một trong những thông số chính để xác định tính có hiệu quả của vật liệu gia cường. Nói cách khác, cơ tính của vật liệu composite là một hàm của hình dáng và kích thước sợi vật liệu gia cường. Vật liệu

gia cường thường ở dạng sợi hay hạt.

Dạng phổ biến nhất mà composite cốt sợi được sử dụng trong các kết cấu ứng dụng gọi là tấm nhiều lớp (laminate). Nó đạt được bằng cách xếp chồng các lớp sợi mỏng và nền với nhau và hợp nhất chúng lại theo chiều dày mong muốn. Hướng sợi trong mỗi lớp cũng như chuỗi sắp xếp các lớp khác nhau có thể được điều khiển để tạo ra các tính chất vật lý và hóa học trong phạm vi rộng cho composite nhiều lớp [7].

Hệ thống nhựa nền trong composite bao gồm hai loại chính: nhựa nhiệt rắn (polyester, epoxy, vinylester, …) và nhựa nhiệt dẻo (PE, PVC, …). Trong đó, nhựa polyester không no (unsaturated polyester) được sử dụng làm vật liệu nền cho các kết cấu composite sử dụng trong môi trường ẩm mặn vì nó có ưu điểm là giá thành vừa phải, dễ sử dụng và chịu được môi trường biển. Trong khi đó, sợi gia cường phổ biến sử dụng trong vật liệu composite là sợi thủy tinh E, sợi thủy tinh độ bền cao (S – glass) và các loại sợi có cơ tính cao như sợi carbon, sợi armid, sợi basalt, sợi bore,…

Vật liệu composite ứng dụng để chế tạo các loại tàu cá ở Việt Nam hiện nay chủ yếu là sợi thủy tinh E kết hợp với nhựa polyester không no. Tùy theo kích thước của tàu mà số lớp sợi gia cường trong tấm compoite vỏ tàu là khác nhau, có thể có từ 10 lớp đến 40 lớp.

Mặc dù composite là vật liệu có từ rất lâu đời và cho đến nay đã có mặt trong hầu hết mọi lĩnh vực của nền kinh tế quốc dân nhưng ngành khoa học về vật liệu này lại hoàn toàn non trẻ, nhất là đối với Việt Nam ta. Việc sử dụng rộng rãi vật liệu composite để đóng mới các loại tàu thuyền nói chung và tàu đánh cá nói riêng chủ yếu dựa vào quy phạm và kinh nghiệm.

Trên thế giới, bài toán độ bền vật liệu và kết cấu composite nhiều lớp được rất nhiều nhà khoa học quan tâm. Stephen W. Tsai and Victor D. Azzi [9] đã phân tích đặc tính cơ học của vật liệu dị hướng nhiều lớp chịu tác dụng và từ các tương tác cơ và nhiệt gây ra. Mustafa Baqir Hunain và cộng sự [8] đã khảo sát độ bền kéo của vật liệu composite nhiều lớp từ polymer/carbon với các trình tự xếp lớp khác nhau. Zheng Ming Huang và cộng sự [10] đã dự đoán độ bền của của tấm composite nhiều lớp dựa trên đặc tính của các vật liệu thành phần. Ali Hasan Mahmood và cộng sự [5] đã nghiên cứu cải thiện độ bền liên kết của vật liệu composite nhiều lớp bằng cách tối ưu hóa thành phần vải sợi gia cường. J. Vasanth [6] đã xác định ảnh hưởng của việc khoan lỗ trên tấm composite nhiều lớp đến độ bền kéo.

Trong nước, các tài liệu và công trình nghiên cứu về bài toán phân tích độ bền vật liệu và kết cấu composite nhiều lớp cũng khá đa dạng. Bài toán ứng xử cơ học của vật liệu composite theo phương pháp giải tích đã được một số nhà khoa học trong nước nghiên cứu rất sớm và xuất bản thành tài liệu có giá trị tham khảo cho đến ngày nay, trong đó nổi bật là tài liệu của GS.TS Trần Ích Thịnh [2] và PGS. TS Trần Công Nghị [1]. GS.TSKH Nguyễn Đình Đức cũng là một trong những nhà khoa học đầu ngành của Việt Nam trong lĩnh vực cơ học và vật liệu composite với hàng trăm công bố khoa học trong nước và quốc tế về lĩnh vực này. Đặc biệt trong đó có các nghiên cứu mạnh về vật liệu nanocomposite polymer, vật liệu composite đa pha,…

Qua phân tích các công bố trong và ngoài nước ở trên cho thấy, vật liệu composite nói chung và ứng xử cơ học của vật liệu composite nhiều lớp nói riêng được rất nhiều nhà khoa học quan tâm. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu đều tập trung vào các loại vật liệu composite tiên tiến, siêu nhẹ, siêu bền, thân thiện môi trường,… còn vật liệu composite nhiều lớp từ nhựa polyester và sợi thủy tinh sử dụng phổ biến trong lĩnh vực đóng tàu cá ở Việt Nam ít được chú trọng. Về phương diện sức bền, cho đến nay chưa có một lời giải nào chính xác nhằm phục vụ cho công tác thiết kế, chế tạo tàu. Kết cấu vỏ tàu chủ yếu được tính theo yêu cầu quy phạm [3], các hằng số kỹ thuật của vật liệu và giới hạn bền được xác định bằng phương pháp thử nghiệm mẫu. Trong khi đó, thân tàu composite hoạt động trong môi trường biển thường xuyên chịu tác động bởi nhiều loại tải trọng khác nhau gây biến dạng, nứt, gãy,… làm ảnh hưởng đến an toàn của tàu và con người.

Vì thế, bài toán tính toán độ bền cục bộ kết cấu thân tàu cá vỏ composite là hết sức quan trọng và trên cơ sở đó đánh giá độ bền kết cấu vỏ tàu.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Vật liệu nghiên cứu

Kết cấu đáy tàu có dạng tấm nhiều lớp được tạo thành bởi các lớp cốt sợi thủy tinh, nhựa polyester và chất xúcc tác. Cụ thể:

- Sợi thủy tinh gồm 06 lớp Mat loại 450g/m^2 (ký hiệu M450) và 06 lớp vải loại 800g/m^2 (ký hiệu WR800) xếp chồng lên nhau theo cấu trúc:

[M450/M450/WR800/WR800/M450/WR800/WR800/M450/WR800/WR800/M450/M450];

- Nhựa polyester không no;

- Chất đông rắn (chất xúc tác) loại Methyl Ethyl Ketone Peroxide.

Chiều dày mỗi lớp M450 và WR800 là: $t_{M450} = t_{WR800} = 0,001$ (m).

Sợi thủy tinh Mat là loại tấm sợi ngắn sắp xếp ngẫu nhiên nên được xem như vật liệu đẳng hướng trong mặt phẳng tấm. Sợi thủy tinh WR là tấm sợi dệt theo hai phương vuông góc với nhau (phương 1 và 2). Đồng thời, tấm đáy tàu đang xét chịu trạng thái ứng suất phẳng nên cần thử nghiệm để xác định 4 hằng số kỹ thuật của vật liệu:

+ E_{11} – Mô đun đàn hồi theo phương sợi 1 (MPa);

+ E_{22} - Mô đun đàn hồi theo phương sợi 1 (MPa);

+ ν_{12} - Hệ số Poision;

+ G_{12} – Mô đun cắt (trượt) (MPa).

Quá trình thử nghiệm kéo và uốn thực hiện theo TCVN 6282:2003 [4] tại Viện Nghiên cứu chế tạo tàu thủy (Trường Đại học Nha Trang). Kết quả thử nghiệm được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm mẫu

TT	Thông số	Vật liệu	
		WR	Mat
1	E_{11} (MPa)	14528	6078
2	E_{22} (MPa)	3281	6078
3	G_{12} (MPa)	1912	2703
4	ν_{12}	0,148	0,129
5	[σ] (MPa)	381	78,8

2. Phương pháp nghiên cứu

Đáy tàu là khu vực thường xuyên chịu tác động của các tải trọng lớn và nguy hiểm (áp lực nước, áp lực hàng hóa, lực va đập,…). Khung giàn đáy tàu cá là một hệ kết cấu phức tạp, gồm các thanh, dầm, tấm liên kết cứng với nhau ứng với điều kiện biên cũng rất phức tạp. Do đó, việc tính toán và đánh giá độ bền khung giàn đáy tàu cá là rất quan trọng và thường được chia thành hai mô hình: bài toán tính tấm có gân gia cường và bài toán tính tấm phẳng.

Mặc khác, như ta đã biết, không giống như các loại vật liệu truyền thống dùng trong đóng tàu (thép, gỗ), vật liệu composite có tính chất bất đẳng hướng và không đồng nhất. Tấm composite đáy tàu được tạo thành từ nhiều lớp sợi thủy tinh có đặc tính khác nhau liên kết với nhau nhờ thành phần nhựa nền. Do đó, ứng suất và biến dạng phải được tính toán cho từng lớp vật liệu. Vì vậy, trong nghiên cứu này tác giả tiến hành phân tích độ bền cho tấm composite nhiều lớp của đáy tàu cá theo mô hình tấm phẳng bằng phương pháp giải tích. Theo đó, bài toán được tính cho tàu cá có chiều L_{max} = 18,5(m), gồm các bước cơ bản sau:

2.1. Mô hình hoá tải trọng tác dụng

Đáy tàu là một kết cấu vừa tham gia đảm bảo sức bền chung của tàu dưới tác dụng của mômen uốn với tư cách là mép dưới của dầm tương đương, vừa tham gia đảm bảo sức bền cục bộ dưới tác dụng của các tải trọng ngang cục bộ bao gồm áp lực nước (q_n) và áp lực hàng hoá (q_{hh}), được xác định theo công thức:

$$q_0 = q_n - q_h = \gamma\left(T + \frac{h_s}{2}\right) - \frac{w}{L.b} = 1,83 \text{ (tấn/m2)} \quad (1)$$

Trong đó:

γ - Trọng lượng riêng của nước (tấn/m^3);

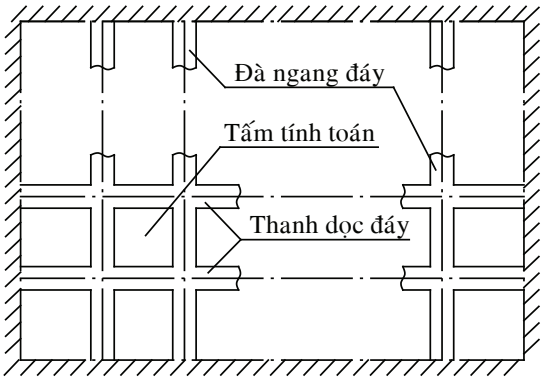
T – mớn nước tàu trên nước tĩnh (m);

W – Trọng lượng hàng hóa (tấn);

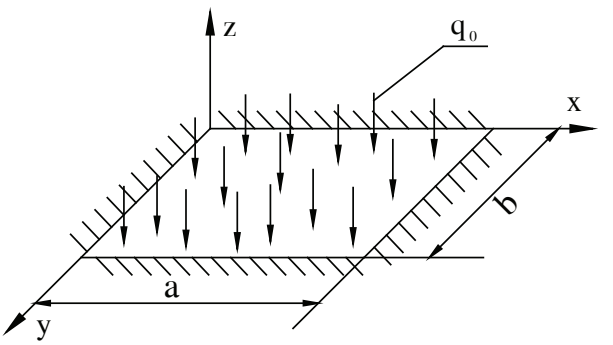
L, b – lần lượt là chiều dài và chiều rộng phần diện tích có đặt trọng lượng hàng hoá (m).

2.2. Mô hình hoá kết cấu tấm đáy tàu

Kết cấu khung giàn đáy tàu bao gồm tấm composite nhiều lớp, trên tấm bố trí các gân gia cường dọc (thanh dọc đáy) và ngang (đà ngang đáy) cách đều nhau theo hai hướng vuông góc với nhau, các gân này liên kết cứng với nhau và với tấm đáy (hình 1a). Tấm tính toán được giới hạn bởi hai gân dọc với khoảng cách là b và hai gân ngang với khoảng cách là a. Mô hình tấm tính toán được thể hiện ở hình 1b. Do gân gia cường liên kết cứng với tấm và có độ cứng vững lớn nên tấm được xem như ngàm ở bốn cạnh.



(a) Khung giàn đáy tàu



(b) Mô hình tấm tính toán

Hình 1. Mô hình hóa kết cấu đáy tàu

Kích thước của tấm đáy tàu tính toán: a x b x t = 0,4 x 0,525 x 0,012 (m).

2.3. Phương pháp giải

Theo [1], mỗi lớp cốt sợi thủy tinh dạng Mat được giữ nguyên với chiều dày 0,001 (m), mỗi lớp WR có chiều dày t_{WR} được xem như tấm hai lớp cốt sợi đồng phương với:

+ Chiều dày mỗi lớp cốt sợi đồng phương là $t_1 = t_2 = t_{WR}/2 = 0{,}0005$ (m);

+ Góc tạo bởi phương sợi trong từng lớp với phương cơ bản lần lượt là: $\theta_1 = 0^0$, $\theta_2 = 90^0$ và ký hiệu cho mỗi lớp sợi đồng phương là: U0, U90;

+ Các hằng số kỹ thuật E_{11}, E_{22}, G_{12}, ν_{12} chính là hằng số kỹ thuật của vật liệu composite cốt sợi đồng phương tạo nên lớp WR đang xét.

Phương trình cơ bản của tấm:

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & B_{11} & B_{12} & 0 \\ A_{12} & A_{22} & 0 & B_{12} & B_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{66} & 0 & 0 & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & 0 & D_{11} & D_{12} & 0 \\ B_{12} & B_{22} & 0 & D_{12} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & B_{66} & 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Trong đó:

N_x, N_y, N_{xy} – là các lực màng;

M_x, M_y – là các momen uốn; M_{xy} – là momen xoắn;

ε^0 - Ma trận biến dạng màng của tấm;

k – Ma trận độ cong của tấm chịu uốn;

$[A_{ij}]$ – Ma trận độ cứng màng;

$[D_{ij}]$ – Ma trận độ cứng uốn;

$[B_{ij}]$ – Ma trận tương tác màng – uốn/xoắn.

Các ma trận $[A_{ij}]$, $[D_{ij}]$, $[B_{ij}]$ được xác định theo công thức:

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{n} \left(Q'_{ij}\right)_k (h_k - h_{k-1}) \quad (3)$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n} \left(Q'_{ij}\right)_k (h^2{}_k - h^2{}_{k-1}) \quad (4)$$

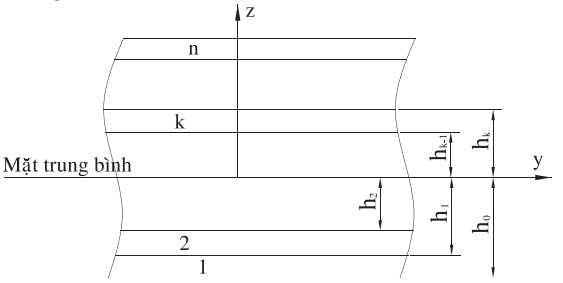
$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{n} \left(Q'_{ij}\right)_k (h^3{}_k - h^3{}_{k-1}) \quad (5)$$

Trong đó:

k – Chỉ số lớp; n – Số lớp trong tấm;

h_k – Khoảng cách từ mép ngoài của lớp thứ k đến mặt trung bình (hình 2);

Q'_{ij} – Ma trận độ cứng thu gọn của từng lớp trong hệ tọa độ kết cấu.



Hình 2. Sơ đồ tính toán theo chiều dày tấm composite nhiều lớp.

- Biến dạng xuất hiện trong lớp thứ k xét trong hệ tọa độ kết cấu được xác định theo công thức:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix} + z \begin{bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \end{bmatrix} \quad (6)$$

- Ứng suất xuất hiện trong lớp thứ k xét trong hệ tọa độ kết cấu được xác định theo công thức:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} Q'_{11} & Q'_{12} & Q'_{16} \\ Q'_{12} & Q'_{22} & Q'_{26} \\ Q'_{16} & Q'_{26} & Q'_{66} \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (7)$$

- Biến dạng trong mỗi lớp theo hướng chính của vật liệu xác định theo công thức:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}_k = T \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = T\{\varepsilon^0\} + T\{k\}z \quad (8)$$

Trong đó, T là ma trận chuyển đổi góc từ hệ tọa độ kết cấu sang hệ tọa độ vật liệu.

- Ứng suất trong mỗi lớp theo hướng chính của vật liệu xác định theo công thức:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}_k = T' \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}_k \quad (9)$$

Trong đó, T' là ma trận chuyển vị của ma trận T.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THẢO LUẬN

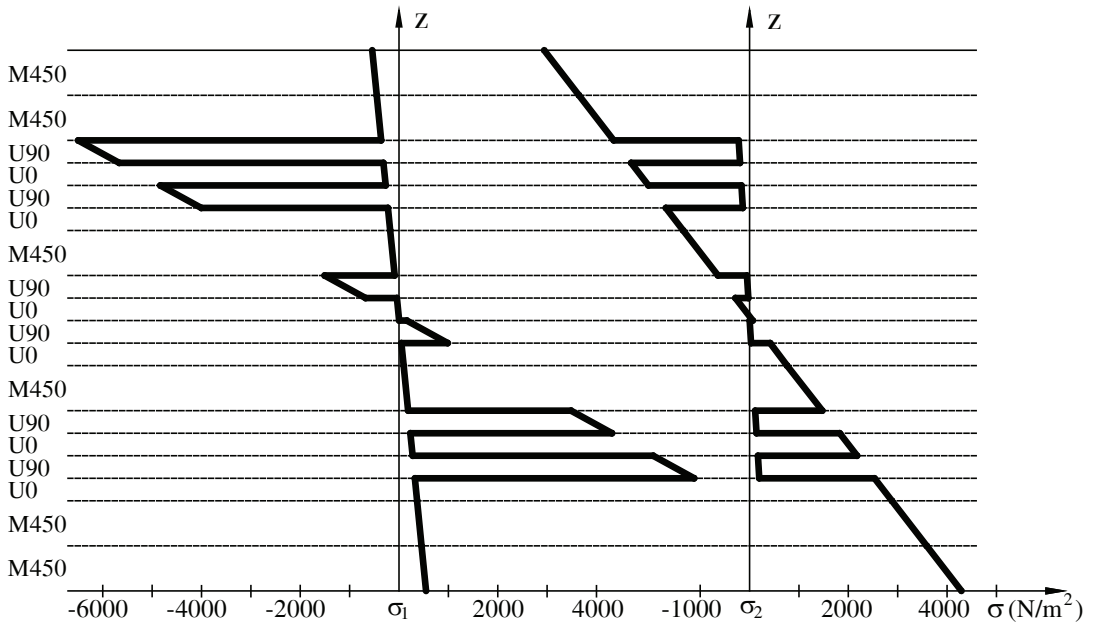
1. Kết quả tính toán

Kết quả tính biến dạng và ứng suất xuất hiện trên từng lớp của tấm tính toán được thể hiện trên bảng 2.

Bảng 2. Giá trị biến dạng, ứng suất xuất hiện trên từng lớp của tấm

Lớp	Mặt	Giá trị biến dạng ($x10^{-4}$)			Giá trị ứng suất ($x10^3 N/m^2$)		
		ε_1	ε_2	γ_{12}	σ_1	σ_2	τ_{12}
1 Mat	Dưới	-0,009	6,944	0	548,0	4291,4	0
	Trên	-0,009	5,805	0	457,1	3587,0	0
2 Mat	Dưới	-0,009	5,805	0	457,1	3587,0	0
	Trên	-0,009	4,665	0	366,3	2882,7	0
3 U0	Dưới	-0,009	4,665	0	366,3	2882,7	0
	Trên	-0,009	4,095	0	320,9	2530,6	0
4 U90	Dưới	4,095	-0,009	0	5979,0	196,8	0
	Trên	3,526	-0,009	0	5147,1	169,0	0
5 U0	Dưới	-0,009	3,526	0	275,5	2178,4	0
	Trên	-0,009	2,956	0	230,0	1826,3	0
6 U90	Dưới	2,956	-0,009	0	4315,3	141,2	0
	Trên	2,386	-0,009	0	3483,4	113,4	0

7 Mat	Dưới	-0,009	2,386	0	184,6	1474,1	0
	Trên	-0,009	1,247	0	93,8	769,8	0
8 U0	Dưới	-0,009	1,247	0	93,8	769,8	0
	Trên	-0,009	0,677	0	48,3	417,7	0
9 U90	Dưới	0,677	-0,009	0	987,9	30,0	0
	Trên	0,107	-0,009	0	156,1	2,2	0
10 U0	Dưới	-0,009	0,107	0	2,9	65,5	0
	Trên	-0,009	-0,463	0	-42,5	-286,6	0
11 U90	Dưới	-0,463	-0,009	0	-675,8	-25,6	0
	Trên	-1,032	-0,009	0	-1507,6	-53,4	0
12 Mat	Dưới	-0,009	-1,032	0	-87,9	-638,8	0
	Trên	-0,009	-2,172	0	-178,8	-1343,1	0
13 U0	Dưới	-0,009	-2,172	0	-178,8	-1343,1	0
	Trên	-0,009	-2,742	0	-224,2	-1695,2	0
14 U90	Dưới	-2,742	-0,009	0	-4003,2	-136,8	0
	Trên	-3,311	-0,009	0	-4835,0	-164,6	0
15 U0	Dưới	-0,009	-3,311	0	-269,6	-2047,4	0
	Trên	-0,009	-3,881	0	-315,0	-2399,5	0
16 U90	Dưới	-3,881	-0,009	0	-5666,9	-192,4	0
	Trên	-4,451	-0,009	0	-6498,7	-220,2	0
17 Mat	Dưới	-0,009	-4,451	0	-360,5	-2751,7	0
	Trên	-0,009	-5,590	0	-451,3	-3456,0	0
18 Mat	Dưới	-0,009	-5,590	0	-451,3	-3456,0	0
	Trên	-0,009	-6,730	0	-542,2	-4160,3	0



Hình 3. Biểu đồ phân bố ứng suất theo chiều dày tấm.

Từ bảng 2, biểu đồ phân bố ứng suất theo phương sợi σ_1 (phương U0) và σ_2 (phương U90) trong các lớp theo chiều dày tấm được xây dựng như hình 3.

2. Đánh giá kết quả

- Kết quả tính biến dạng và ứng suất tại các lớp trên cho thấy:

+ Biến dạng và ứng suất sinh ra tại hai bề mặt của tấm lớn hơn các lớp khác. Trong đó, biến dạng và ứng suất lớn nhất tại lớp Mat đầu tiên (lớp 1) với:

$\varepsilon_1 = -0{,}009x10^{-4}$, $\varepsilon_2 = -6{,}944x10^{-4}$;

$\sigma_1 = 548{,}0x10^3$ (N/m^2), $\sigma_2 = 4291{,}4x10^3$ (N/m^2).

+ Trong các lớp WR, biến dạng và ứng suất lớn nhất theo phương 1 tại mặt dưới của lớp U0 (lớp 3) và theo phương 2 tại mặt dưới của lớp U90 (lớp 4) với:

$\varepsilon_1 = 4{,}095x10^{-4}$, $\varepsilon_2 = 4{,}665x10^{-4}$;

$\sigma_1 = 5979{,}0x10^3$ (N/m^2), $\sigma_2 = 2882{,}7x10^3$ (N/m^2).

- Các giá trị ứng ứng cho phép xác định từ thực nghiệm:

+ Ứng suất pháp của lớp Mat (theo phương 1 và 2): $[\sigma_M] = 78{,}8x10^6$ (N/m^2);

+ Ứng suất pháp lớn nhất trong lớp WR theo phương 1: $[\sigma_1] = 381x10^6$ (N/m^2);

+ Ứng suất pháp lớn nhất trong lớp WR theo phương 2: $[\sigma_2] = 381x10^6$ (N/m^2).

Theo "Thuyết bền ứng suất lớn nhất" [1] cho thấy rằng ứng suất lớn nhất sinh ra trong các lớp đều nhỏ hơn ứng suất cho phép nên tấm composite đáy tàu cá đã tính toán đảm bảo bền.

Bên cạnh đó, biểu đồ phân bố ứng suất ở hình 3 cho thấy:

+ Theo phương 1, ứng suất sinh ra trong các lớp U90 khá lớn so các lớp Mat và U0;

+ Theo phương 2, ứng suất sinh ra trong các lớp Mat và U0 khá lớn so các lớp U90.

IV. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Phương pháp phân tích độ bền được nghiên cứu dựa trên các bước tính cơ bản của bài toán phân tích độ bền cục bộ tàu vỏ thép và bài toán tính tấm composite nhiều lớp. Trong đó, việc xây dựng mô hình tính và lựa chọn phương pháp giải đảm bảo phù hợp với vật liệu và kết cấu thực tế đang xét. Tuy nhiên, độ chính xác của bài toán hiện chưa được kiểm tra bằng số liệu thực tế và kết quả tính toán bằng các phương pháp khác.

Kết quả tính toán trên hệ tọa độ vật liệu cho thấy các lớp vật liệu trong kết cấu vỏ đáy tàu đều đảm bảo độ bền trong trường hợp tải trọng đang xét. Các lớp vật liệu đều tham gia vào việc đảm bảo độ bền cục bộ cho kết cấu, trong đó ứng suất xuất hiện của các lớp sợi vuông góc với phương đang xét lớn hơn nhiều so với các lớp còn lại và ngược lại. Kết quả tính cũng cho thấy ứng suất xuất hiện trong các lớp kề nhau thay đổi rất đáng kể. Nói cách khác, sự phân bố ứng suất theo chiều dày tấm không phải là đường liên tục mà nó gãy khúc tại vị trí bề mặt phân cách các lớp. Để cải thiện cơ tính của tấm composite nói chung và từng lớp vật liệu nói riêng cần tiếp tục nghiên cứu về trật tự sắp xếp lớp và hướng sắp xếp các lớp một cách hợp lý hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Trần Công Nghị (2004), "Độ bền kết cấu vật liệu Composite", *NXB Đại Học Quốc Gia Tp. HCM*.
2. Trần Ích Thịnh (1994), "Vật liệu compozit: Cơ học và tính toán kết cấu", *NXB Giáo dục*.
3. QCVN 56:2013/BGTVT (2013), "Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và đóng tàu làm bằng chất dẻo cốt sợi thủy tinh", *Bộ Giao thông Vận tải*.
4. TCVN 6282:2003 (2003), "Quy phạm kiểm tra và và chế tạo các tàu làm bằng chất dẻo cốt sợi thuỷ tinh".

Tiếng Anh

5. Ali Hasan Mahmood, R.H. Gong, I. Porat (2012), "Improving the bonding strength of laminated composites by optimizing fabric composition", *Polymer Composites*, Volume 33, Issue 10, pp. 1792-1797.

6. J. Vasanth (2019), "Determination of Tensile Strength of Composite Laminates with Multiple Holes" *International Journal of Applied Engineering Research*. Volume 14 (19), pp. 3749-3755.
7. Mel M. Schwartz (2003), "Composite Materials Handbook", *ASM International*.
8. Mustafa Baqir Hunain, Salah Noori Alnomani, Salwan Hasan AlHumairee (2018), "An investigation of the tensile strength of laminated polymer-matrix/carbon-fiber composites for different stacking sequence", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, Volume 9, Issue 12, pp. 606-614.
9. Stephen W. Tsai and Victor D. Azzi (2012), "Strength of laminated composite materials", *AIAA Journal*, pp. 296-301.
10. Zheng Ming Huang, Li Min Xin (2015), "Strength Prediction of Laminated Composites upon Independent Constituent Properties", *Key Engineering Materials,* Volume 665, pp. 153-156.