



Đánh giá ứng suất và biến dạng của phần tử kết cấu tàu khi ở trạng thái uốn dọc giới hạn

Stress and strain assessment of ship structural elements in ultimate longitudinal bending state

Vũ Văn Tuyền^{1,*}, Đoàn Văn Tuyền¹, Trần Ngọc Tú¹, Đỗ Tất Mạnh²

¹ Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

² Viện Đào tạo Sau đại học, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Từ khóa:

Kết cấu thân tàu
Phần tử kết cấu
Trạng thái giới hạn
Ứng suất
Biến dạng

TÓM TẮT

Trong quá trình khai thác, thân tàu có thể gặp tình huống nguy hiểm, nhất là khi tàu trên đỉnh sóng hoặc tàu trên đáy sóng. Đây là hai tình huống, mô men uốn tác dụng lên thân tàu lớn nhất khiến thân tàu có thể đạt đến trạng thái uốn dọc giới hạn. Tại trạng thái này, các phần tử kết cấu (PTKC) trên mặt cắt ngang (MCN) vùng giữa tàu xuất hiện ứng suất kéo hay ứng suất nén do các biến dạng kéo hoặc nén tương ứng gây ra. Các ứng suất này khác nhau và có thể đạt đến ứng suất chảy dẻo của vật liệu hoặc ứng suất giới hạn (USGH) của kết cấu. Bài báo trình bày mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của các PTKC trên MCN vùng giữa tàu của bốn tàu chở hàng rời. Nghiên cứu đi sâu vào phân tích ứng suất, biến dạng của các PTKC thuộc vùng kết đỉnh mạn tàu chở hàng rời. Phương pháp phân tích lặp tăng dần được vận dụng để xây dựng đường cong ứng suất - biến dạng của từng nhóm PTKC. Các tổng hợp, phân tích và đánh giá kết quả về ứng suất và biến dạng được trình bày trong bài báo này.

Keywords:

Ship hull structures
Structural element
Limit state
Stress
Strain

ABSTRACT

In operation mode, ship hull may encounter dangerous situations, especially in cases of hogging or sagging conditions. These are two cases where the bending moments acting on the hull are the largest, causing the hull to reach the ultimate state of longitudinal bending. At this state, the longitudinal structural elements in the midship will appear as tensile or compressive stress due to the corresponding tensile or compressive strains. These stresses will be different and can reach the material's yield stress or the structure's ultimate stress. Therefore, this paper will study the stress-strain relationships of the structural elements on the midship of four bulk carriers. The current study specifically focuses on analyzing the stress and strain of the structural elements in top-side tank area of selected bulk carriers. The incremental iterative analysis method is applied to create the stress-strain curve of each group of structural elements. The summary, analysis, and evaluation of the results on stress and strain will be presented in this paper.

* Vũ Văn Tuyền. Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Email: tuyenvv.dt@vamaru.edu.vn

[https://www.doi.org/10.55228/JTST.14\(2\).47-56](https://www.doi.org/10.55228/JTST.14(2).47-56)

Ngày nhận bài: 25/11/2024; Ngày nhận bài sửa: 27/02/2025; Ngày chấp nhận đăng: 03/3/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/3/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Kết cấu thân tàu (KCTT) có thể được chế tạo từ các vật liệu kim loại hoặc hợp kim như thép hoặc nhôm. Trong quá trình khai thác, KCTT chịu tác động của ngoại lực và nội lực làm biến dạng (kéo, nén hoặc uốn) và phát sinh các ứng suất (pháp, tiếp). Hai yếu tố thường được sử dụng để đánh giá độ bền của kết cấu (độ bền uốn, độ bền dẻo, độ bền giới hạn và độ bền mỏi) là biến dạng và ứng suất. Trong lĩnh vực kỹ thuật tàu thủy, thân tàu được cấu thành từ một hệ thống kết cấu gồm cơ cấu có mép kèm, nẹp và mã gia cường. Toàn bộ KCTT được liên kết chặt chẽ thông qua các mối hàn hoặc đinh tán. Do đó, khi thân tàu chịu các tải trọng tác động, các PTKC sẽ tác động qua lại và xuất hiện các ứng xử khác nhau. Điều này quyết định đến độ bền cục bộ và độ bền chung thân tàu. Đến nay, nhiều nghiên cứu về ứng xử của các phần tử KCTT đã được công bố. Dưới đây trình bày một số nghiên cứu liên quan đến vấn đề này.

Kim và các cộng sự [1] đã giả thuyết các thay đổi về chiều dày tấm tôn mép kèm, đặc trưng vật liệu của kết cấu, khuyết tật ban đầu để làm sáng tỏ những tác động của chúng tới độ bền của tấm nẹp gia cường chịu tác dụng của lực nén dọc trục và áp lực bên của bốn loại tàu chở dầu điển hình. Trong một nghiên cứu khác, Kim và các cộng sự [2] đã tiến hành các tính toán phân tích phần tử hữu hạn phi tuyến (NFEA) bằng ANSYS để nghiên cứu 124 kết cấu tấm có nẹp gia cường. Trong nghiên cứu này, kết cấu tấm nẹp gia cường được giả định chịu tải trọng nén dọc trục và chứa khuyết tật ban đầu. Kết quả của nghiên cứu là một biểu thức dùng để dự đoán độ bền giới hạn của kết cấu tấm được gia cường. Feng và các cộng sự [3] đã nghiên cứu ba kết cấu tấm có nẹp gia cường để phân tích các tác động của mật độ, vị trí, độ sâu và sự phân bố của ăn mòn rỗ đến mức độ suy giảm của độ bền giới hạn, mối quan hệ của ứng suất - biến

dạng, sự phân bố của ứng suất và biến dạng trên kết cấu.

Hacihamud và các cộng sự [4] đã áp dụng các yếu tố hình học phi tuyến, biến dạng của tấm tôn giữa các nẹp gia cường, độ dài kết cấu, các lỗ khoét trên kết cấu để đánh giá độ bền uốn, ứng suất lớn nhất, phân bố ứng suất và biến dạng của kết cấu tấm có nẹp gia cường dạng chữ I hoặc T chịu tải trọng nén dọc trục và trọng lượng bản thân. Trong một nghiên cứu khác, Hanif và các cộng sự [5] đã điều tra độ bền giới hạn và sự phá hủy của kết cấu tấm có nẹp gia cường khi sử dụng linh hoạt các yếu tố tác động như hình dạng kết cấu, điều kiện biên và các loại cơ cấu ngang. Nghiên cứu này cũng đưa ra những tổng hợp và phân tích đường cong mối quan hệ của ứng suất và biến dạng. Các công bố trên sử dụng kết cấu thép, trong khi đó, Wang và các cộng sự [6] lựa chọn vật liệu hợp kim nhôm trong nghiên cứu để đánh giá ảnh hưởng của vùng ảnh hưởng nhiệt, đặc trưng của mối hàn, kích thước kết cấu, tải trọng kết hợp bao gồm tải trọng nén dọc trục và áp lực bên đến độ bền giới hạn của kết cấu nhôm tấm có nẹp gia cường.

Ứng suất và biến dạng được đề cập trong nhiều nghiên cứu liên quan đến kết cấu thân tàu. Đối với nhóm tàu chở container, kết cấu dàn đáy được lựa chọn cho bài toán phân tích NFEA. Nhiều yếu tố ảnh hưởng đã được vận dụng như biến dạng ban đầu, điều kiện biên, ăn mòn, kích thước phần tử, tải trọng áp lực bên,... nhằm xác định sự phân bố ứng suất, biến dạng tại các thời điểm khác nhau khi kết cấu đạt trạng thái giới hạn, sau trạng thái giới hạn, tại trạng thái bị phá hủy. Đường cong thể hiện mối quan hệ ứng suất - biến dạng được trình bày và phân tích trong nghiên cứu [7]. Đối với nhóm tàu chiến, động lực học của KCTT chịu áp lực từ vụ nổ, tải trọng do sóng đã được nghiên cứu. Phương pháp tương tác giữa âm thanh, kết cấu và phương pháp

NFEA được áp dụng để trích xuất hình ảnh của biến dạng, đường cong biến dạng và sự phân bố ứng suất [8]. Đối với nhóm tàu chở dầu hay hoá chất, kết cấu tấm có nẹp gia cường của ba kho nổi chứa và sản xuất dầu (FPSO) được dùng để nghiên cứu ảnh hưởng của ăn mòn. Hình ảnh về USGH của kết cấu dàn boong và đáy ngoài chịu tác dụng của tải trọng nén dọc và ngang cùng với áp lực bên đã được trình bày và đánh giá [9].

Bên cạnh đó, tàu dầu kết cấu mạn kép được vận dụng nhằm phân tích độ bền giới hạn KCTT. Nghiên cứu [10] sử dụng phương pháp lớp trung bình để mô hình hoá kết cấu cho các trường hợp tàu nguyên vẹn, tàu mắc cạn và tàu bị hư hỏng do nén hoặc kéo. Các biến dạng của kết cấu được sưu tập và đánh giá trong nghiên cứu này. Về tàu chở dầu mạn đơn, nghiên cứu [11] đánh giá độ bền giới hạn thân tàu khi chịu tải trọng do sóng gây ra và lực kéo. Qua đó, đường cong ứng suất - biến dạng của tấm tôn, vách ngang, tôn mạn dưới, két mạn, kết cấu thượng tầng mũi được giới thiệu và phân tích. Ahmadi và Ranji [12] đã nghiên cứu về tàu chở dầu mạn đơn, với các kết cấu được giả định gặp phải ăn mòn điểm, vết nứt hoặc ăn mòn kết hợp với vết nứt. Nghiên cứu chỉ ra các ứng suất và biến dạng của kết cấu. Vu và Dong [13] đã thực hiện nghiên cứu với tàu chở hàng rời trọng tải 56.000 DWT có kết cấu mạn đơn để đánh giá sự xuất hiện của ăn mòn đều đến độ bền giới hạn của KCTT. Theo nghiên cứu này, các ăn mòn được giả thiết xuất hiện đa dạng như trên cơ cấu dọc, tấm tôn mép kèm, toàn bộ dàn, và toàn bộ MCN. Tuyển và cộng sự [14] đã tiến hành phân tích tàu chở hàng rời trọng tải 170.000 DWT nhằm điều tra ảnh hưởng của sự thay đổi lượng bổ sung mòn gỉ đến các đặc trưng hình học MCN của tàu.

Từ đó, nhóm tác giả ghi nhận các nghiên cứu chủ yếu tập trung đánh giá ảnh hưởng của những yếu tố hư hỏng xuất hiện trên kết

cấu tàu đang khai thác dưới tác dụng của những tải trọng giả định khác nhau đến độ bền cục bộ, độ bền chung hay độ bền giới hạn KCTT. Qua đó, nhóm tác giả nhận thấy chưa có nghiên cứu đi sâu cụ thể đánh giá sự thay đổi ứng suất, biến dạng của toàn bộ phần tử kết cấu dọc có trên MCN tàu, đặc biệt là nhóm tàu chở hàng rời.

Các kết cấu dọc của tàu, cụ thể là vùng giữa tàu thường có biến dạng và ứng suất rất lớn do mô men uốn dọc tác dụng. Việc hiểu rõ yếu tố ứng suất và biến dạng của các PTKC mang ý nghĩa thực tiễn cao, góp phần xác định khả năng của kết cấu cũng như độ bền dư thân tàu. Bên cạnh đó, nghiên cứu có thể giúp các nhà thiết kế điều chỉnh thiết kế kết cấu có nguy cơ bị hư hỏng dưới tác dụng của ngoại lực.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích và đánh giá các ứng suất, biến dạng của từng PTKC trong MCN vùng giữa tàu của bốn tàu chở hàng rời mạn đơn. Đây là dạng tàu có kích thước lớn, miệng khoang hàng rộng, đặc biệt là kết cấu mạn đơn nên chúng được lựa chọn làm đối tượng trong nhiều nghiên cứu.

2. Phương pháp áp dụng

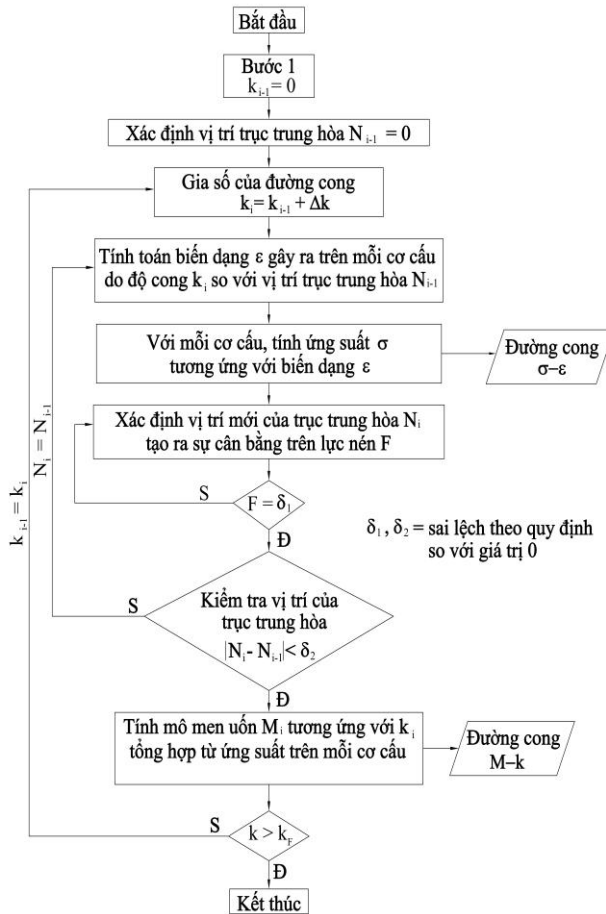
2.1. Phương pháp xác định đường cong mô men uốn - góc xoay

Nghiên cứu sử dụng phương pháp lập tầng dần để phân tích hư hỏng của kết cấu được giới thiệu trong hướng dẫn của Tổ chức phân cấp tàu quốc tế (IACS) [15] và Quy phạm phân cấp tàu của Cục Đăng kiểm Việt Nam [16]. Phương pháp này dựa trên phân tích mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng từng PTKC của MCN để xây dựng đường cong mối quan hệ mô men uốn - góc xoay ($M-k$) nhằm xác định trạng thái uốn giới hạn.

Một số giả thiết của phương pháp lập tầng dần [16] được thừa nhận và áp dụng:

- Độ bền giới hạn được tính toán phần thân tàu nằm giữa hai khung ngang khỏe liền kề;
- MCN tại mép kết cấu được giả định trong mặt phẳng khi gia tăng góc xoay;
- Vật liệu của toàn bộ PTKC có tính đàn hồi dẻo;
- Toàn bộ MCN thân tàu được chia nhỏ thành các PTKC và xét độc lập.

Hình 1 [16] mô tả sơ đồ thuật toán xây dựng đường cong $M-k$ cho bất kỳ MCN của tàu. Mô men uốn là tổng hợp lực phân bố của tất cả các PTKC dọc thuộc MCN.



Hình 1. Sơ đồ thuật toán xác định đường cong $M-k$ và $\sigma-\epsilon$.

2.2. Phương pháp xác định đường cong ứng suất-biến dạng

Để áp dụng phương pháp lập phân tích hư hỏng kết cấu, toàn bộ kết cấu MCN thân tàu được phân thành ba nhóm phần tử và được

giả lập gắn với các dạng hư hỏng khác nhau [16]. Nhóm 1 là phần tử cơ cấu dọc có mép kèm, được giả định gặp các dạng mất ổn định như mất ổn định dọc cơ cấu - công thức (1), mất ổn định do xoắn - công thức (2), mất ổn định cục bộ tại bản thành thép góc - công thức (3) và mất ổn định cục bộ tại bản thành của thép dẹt - công thức (4). Nhóm 2 là phần tử tấm tôn đặt giữa hai kết cấu gia cường ngang, giả định đạt trạng thái chảy dẻo - công thức (5). Nhóm 3 là phần tử tấm góc cứng, giả định đạt trạng thái mất ổn định của tấm - công thức (6).

$$\sigma_{CR1} = \phi \sigma_{C1} \frac{A_s + 10b_E t_p}{A_s + 10st_p} \quad (1)$$

$$\sigma_{CR2} = \phi \frac{A_s \sigma_{C2} + 10st_p \sigma_{CP}}{A_s + 10st_p} \quad (2)$$

$$\sigma_{CR3} = \phi R_{eH} \frac{10^3 b_E t_p + h_{we} t_w + b_f t_f}{10^3 st_p + h_w t_w + b_f t_f} \quad (3)$$

$$\sigma_{CR4} = \phi \frac{10st_p \sigma_{CP} + A_s \sigma_{C4}}{A_s + 10st_p} \quad (4)$$

$$\sigma = \phi R_{eH} \quad (5)$$

$$\sigma_{CR5} = \min \left\{ R_{eH} \left[\frac{s \left(\frac{2,25}{\beta_E} - \frac{1,25}{\beta_E^2} \right)^{\phi R_{eH}}}{l} + 0,1 \left(1 - \frac{s}{l} \right) \left(1 + \frac{1}{\beta_E^2} \right)^2 \right] \right\} \quad (6)$$

Trong đó:

$\sigma_{CR1}, \sigma_{CR2}, \sigma_{CR3}, \sigma_{CR4}, \sigma_{CR5}$ lần lượt là USGH trường hợp mất ổn định của nẹp, mất ổn định do xoắn, mất ổn định cục bộ bản thành cơ cấu thép góc, mất ổn định cục bộ bản thành cơ cấu thép dẹt, và mất ổn định tấm; $\sigma_{C1}, \sigma_{C2}, \sigma_{C3}$ là các ứng suất tiêu chuẩn; σ_{CP} là ứng suất mất ổn định của tấm mép kèm; R_{eH} là ứng suất chảy nhỏ nhất của vật liệu; ϕ là hàm số biên; s, l lần lượt là khoảng cách hai cơ cấu và chiều dài cơ cấu; A_s là diện tích tiết diện ngang cơ cấu có mép kèm; b_E là chiều rộng hiệu dụng của tấm mép kèm; h_{we}, b_f là chiều cao hiệu dụng bản thành và chiều rộng bản

cánh; t_p , t_w , t_f lần lượt là chiều dày tấm tôn mép kèm, tôn bản thành, và tôn bản cánh; β_E là độ mảnh hiệu dụng của cơ cấu có mép kèm.

Biến dạng tương đối của các PTKC được xác định theo công thức sau [16]:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_Y} \quad (7)$$

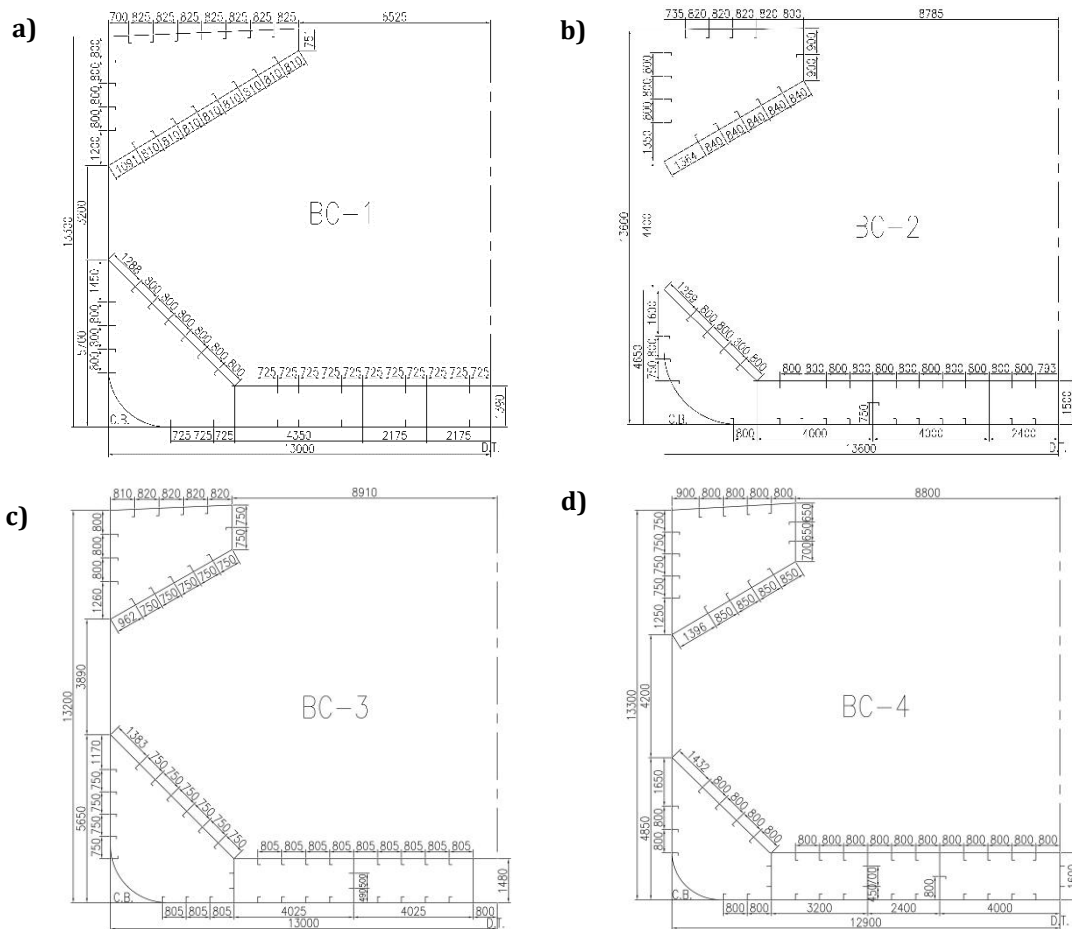
Trong đó, ε_E là biến dạng phân tử; $\varepsilon_Y = R_{eH}/E$ là biến dạng ứng suất chảy của PTKC.

3. Thông số tàu

Để đánh giá biến dạng và ứng suất của các PTKC vùng kết đỉnh mạn, nghiên cứu sử dụng bốn tàu chở hàng rời có kết cấu mạn đơn, kết hông và kết đỉnh mạn. Thông số kích thước chủ yếu của các tàu mô tả tại **Bảng 1**. **Hình 2** thể hiện MCN của các tàu cùng thông số về kích thước, khoảng cách các cơ cấu.

Bảng 1. Kích thước chủ yếu của tàu.

Thông số	Ký hiệu tàu			
	BC-1	BC-2	BC-3	BC-4
Δ , tấn	24.600	28.492	23.726	24.034
L_{max} , m	157,22	169,26	150,52	153,50
L_{bp} , m	149,99	160,40	143,00	146,00
B , m	26,00	27,20	26,00	25,80
D , m	13,30	13,60	13,20	13,30
d , m	9,55	9,78	9,12	9,55

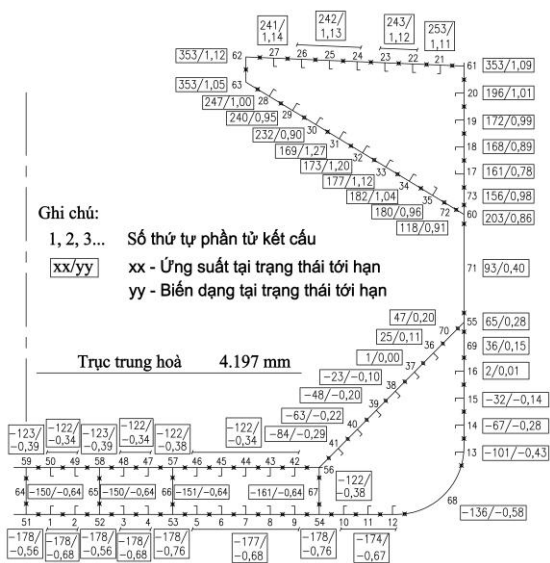


Hình 2. Mặt cắt ngang của tàu. (a) Tàu BC-1; (b) Tàu BC-2; (c) Tàu BC-3; (d) Tàu BC-4.

4. Thảo luận

4.1. Biến dạng và ứng suất của toàn bộ cơ cấu có trên mặt cắt ngang

Để hiểu rõ hơn biến dạng và ứng suất của từng PTKC trên MCN tại trạng thái giới hạn, nghiên cứu đề cập đến các thông số này của tàu có ký hiệu BC-1. Hình 3 thể hiện kết quả ứng suất và biến dạng tại trạng thái giới hạn khi thân tàu nằm trên đỉnh sóng. Qua đó, nhận thấy rằng, dàn boong của tàu nằm trong vùng chịu kéo, dàn đáy nằm trong vùng chịu nén. Các ứng suất của phần tử thuộc dàn boong có giá trị lớn nhất và đạt đến ứng suất chảy dẻo của vật liệu (353 MPa). Các PTKC còn lại có ứng suất thay đổi đạt đến USGH và bằng không khi cơ cấu trùng với cao độ của trục trung hoà. Hình 4 minh hoạ biến dạng và ứng suất của toàn bộ PTKC có trên MCN cho trường hợp thân tàu nằm trên đáy sóng. Khi đó, dàn boong tàu chịu nén, dàn đáy tàu chịu kéo. Các cơ cấu của dàn boong có ứng suất lớn nhất bằng ứng suất chảy của vật liệu (-353 MPa). Các kết quả về ứng suất như thể hiện qua Hình 3 và Hình 4 được xác định dựa trên các công thức từ (1) đến (6) tùy thuộc vào loại cơ cấu và trạng thái mất ổn định.



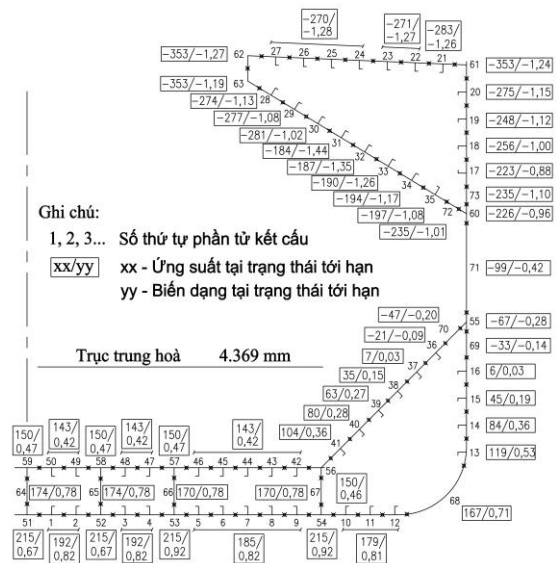
Hình 3. Ứng suất, biến dạng tại trạng thái giới hạn - Trường hợp thân tàu trên đỉnh sóng (tàu BC-1).

Trong khi đó, các kết quả về biến dạng được xác định bởi công thức (7).

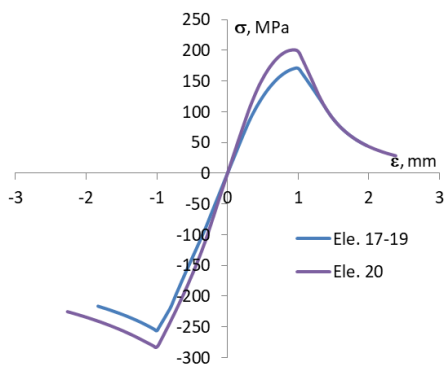
Trong cả hai trường hợp, thân tàu nằm trên đỉnh sóng và thân tàu nằm trên đáy sóng, ứng suất và biến dạng lớn nhất xuất hiện tại các cơ cấu nằm xa trục trung hoà nhất (cơ cấu dàn boong và các cơ cấu kết đỉnh mạn). Vì vậy, các cơ cấu thuộc vùng kết đỉnh mạn được nghiên cứu chi tiết về mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng trong các phần tiếp theo.

4.2. Đường cong mối quan hệ ứng suất - biến dạng của các phần tử kết cấu thuộc kết đỉnh mạn

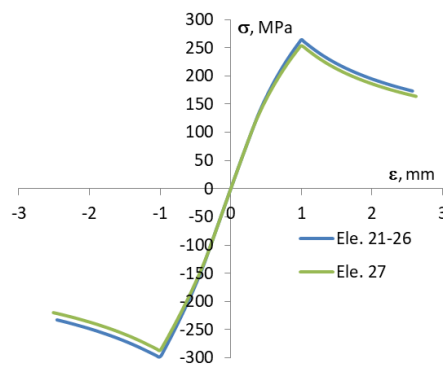
Mối quan hệ giữa ứng suất dọc và biến dạng dài của các PTKC thuộc vùng kết đỉnh mạn được thể hiện từ Hình 5 đến Hình 8. Trong đó, các phần tử cơ cấu dọc có mép kèm đều đạt trạng thái giới hạn của ứng suất (Hình 5 đến Hình 7). Trong khi đó, các PTKC tại vị trí góc liên kết của hai dàn đạt ứng suất chảy của vật liệu (Hình 8). Với PTKC dạng tấm (Ele. 72), ứng suất đạt trạng thái giới hạn trong trường hợp thân tàu trên đỉnh sóng và đạt trạng thái ứng suất chảy khi thân tàu trên đáy sóng (Hình 8).



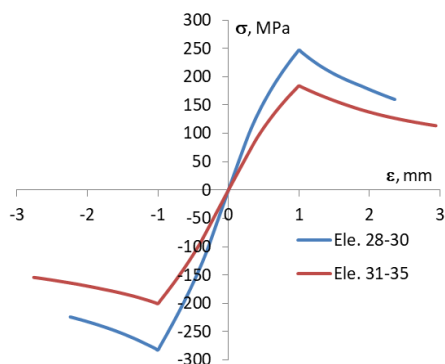
Hình 4. Ứng suất, biến dạng tại trạng thái giới hạn - Trường hợp thân tàu trên đáy sóng (tàu BC-1).



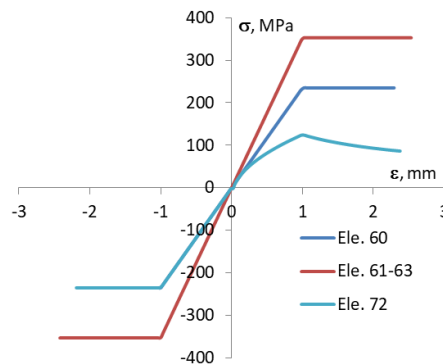
Hình 5. Đồ thị σ - ε của nhóm phần tử kết cấu thuộc phần mạn trên.



Hình 6. Đồ thị σ - ε của nhóm phần tử kết cấu thuộc phần boong.



Hình 7. Đồ thị σ - ε của nhóm phần tử kết cấu thuộc phần vách nghiêng kết đỉnh mạn.

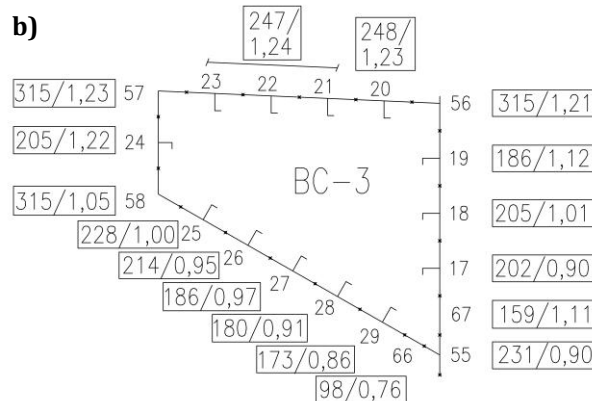
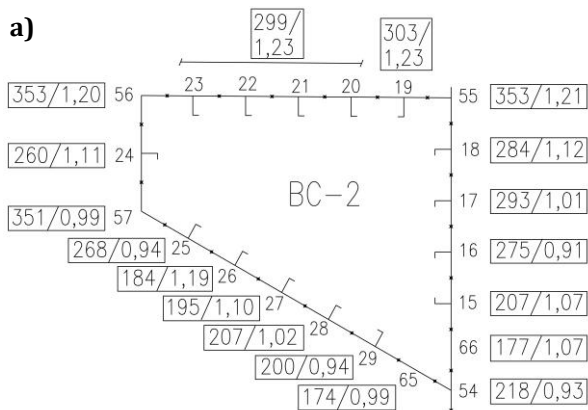


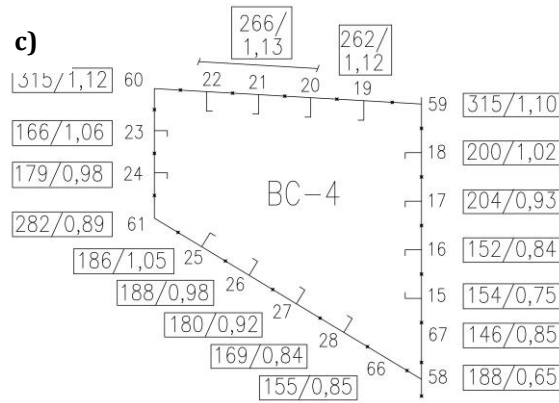
Hình 8. Đồ thị σ - ε của nhóm phần tử kết cấu khác.

4.3. Ứng suất và biến dạng của kết cấu vùng kết đỉnh mạn

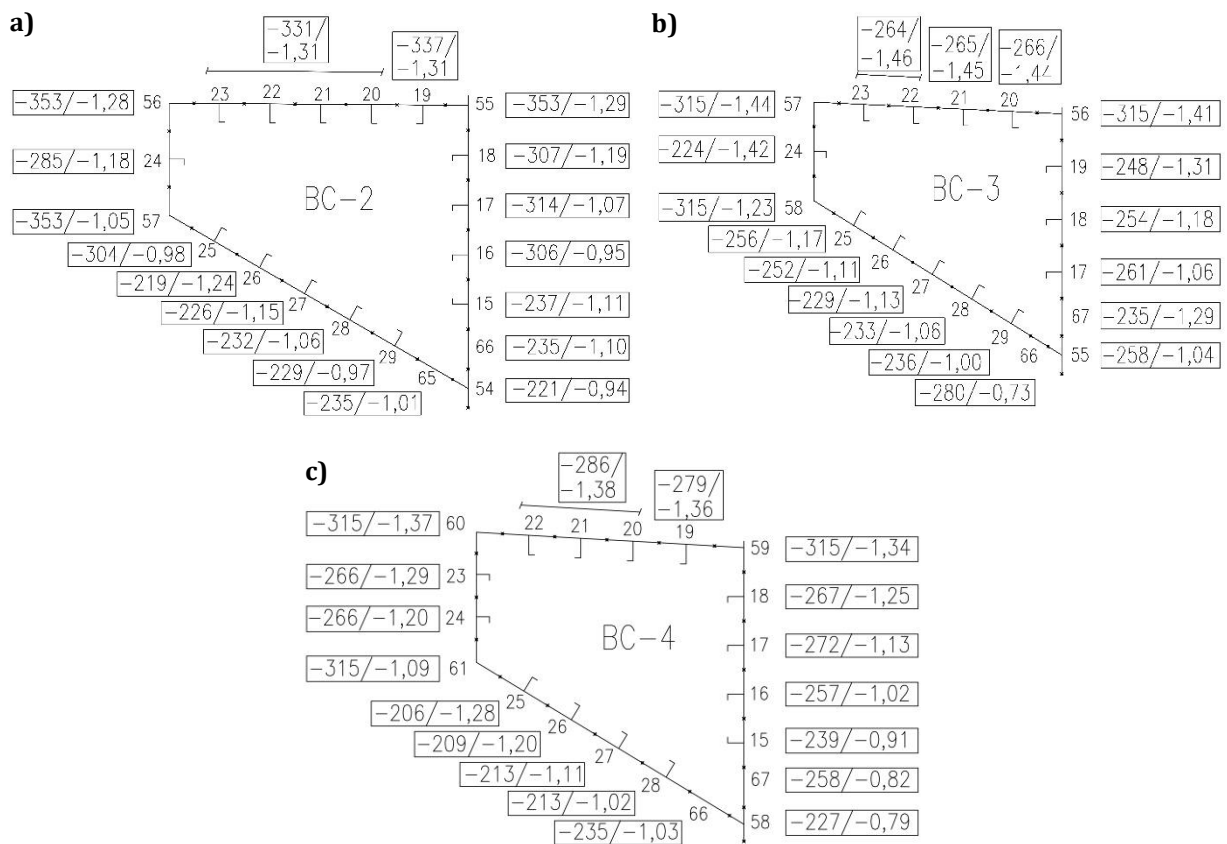
Từ phân tích trên, những PTKC thuộc kết đỉnh mạn có biến dạng và ứng suất lớn nhất, đạt đến ứng suất chảy của vật liệu hoặc USGH. Hình 9 và Hình 10 lần lượt thể hiện kết quả về ứng suất và biến dạng tương ứng cho trường hợp thân tàu nằm trên đỉnh sóng và nằm trên đáy sóng của ba tàu với ký hiệu

BC-2, BC-3 và BC-4. Về biến dạng dài, khi thân tàu nằm trên đỉnh sóng, độ dãn dài lớn nhất là 1,24 mm cho tàu BC-3; 1,23 mm với tàu BC-2 và 1,13 mm tại tàu BC-4 (Hình 9). Khi thân tàu nằm trên đáy sóng, độ nén lớn nhất là -1,46 mm cho tàu BC-3; -1,38 mm với tàu BC-4 và -1,31 mm tại tàu BC-2 (Hình 10). Các giá trị lớn nhất đều thuộc PTKC dọc của dàn boong.





Hình 9. Kết quả về ứng suất, biến dạng - Trường hợp thân tàu nằm trên đỉnh sóng.
 (a) Tàu BC-2; (b) Tàu BC-3; (c) Tàu BC-4.



Hình 10. Kết quả về ứng suất, biến dạng - Trường hợp thân tàu nằm trên đáy sóng.
 (a) Tàu BC-2; (b) Tàu BC-3; (c) Tàu BC-4.

Về ứng suất, nếu tàu trên đỉnh sóng, kết đỉnh mạn nằm phía trên trục trung hoà và thuộc vùng chịu kéo của tàu nên các PTKC thuộc kết đỉnh mạn và boong phát sinh ứng suất kéo. Mặt khác, trường hợp thân tàu nằm trên đáy sóng, vùng kết cấu này thuộc vùng chịu nén của tàu và xuất hiện ứng suất nén cho toàn bộ PTKC của kết đỉnh mạn và boong. Giá trị lớn nhất của ứng suất đều thuộc các PTKC nằm tại điểm giao như mạn ngoài -

boong, boong - mạn trong, mạn trong - tôn vách nghiêng kết đỉnh mạn và bằng với ứng suất chảy của vật liệu (353 MPa: tàu BC-1 và BC-2; 315 MPa: tàu BC-3 và BC-4).

5. Kết luận

Nghiên cứu đã giới thiệu phương pháp lập được áp dụng để xác định đường cong mối quan hệ mô men uốn - góc xoay, đường cong mối quan hệ ứng suất - biến dạng và đưa vào

tính toán cho bốn tàu hàng rời có trọng tải trên hay dưới 24.000 tấn. Các kết quả về ứng suất và biến dạng của toàn bộ PTKC trên MCN của tàu BC-1, các PTKC thuộc vùng kết đỉnh mạn của tàu BC-2, BC-3 và BC-4 đã được giới thiệu. Các đường cong thể hiện mối quan hệ về biến dạng và ứng suất của các PTKC thuộc kết đỉnh mạn của tàu BC-1 cũng được trình bày. Từ đó, nhóm tác giả rút ra một số kết luận quan trọng:

Kết quả nghiên cứu chỉ ra ứng suất và biến dạng dài đạt giá trị lớn nhất tại trạng thái giới hạn thuộc về các PTKC của khu vực kết đỉnh mạn tàu. Cụ thể, PTKC có độ dài dài hoặc nén dọc lớn nhất tại dàn boong, trong khi đó, ứng suất lớn nhất xuất hiện tại các điểm giao giữa các dàn (dàn mạn - boong, dàn boong - vách nghiêng kết đỉnh mạn).

Các PTKC còn lại có ứng suất nhỏ hơn hoặc bằng không (PTKC trùng vị trí với trục trung hoà, xem Hình 3 và Hình 4). Giá trị của ứng suất tại trạng thái giới hạn có thể đạt đến giá trị của ứng suất chảy dẻo vật liệu hoặc USGH. Các PTKC dạng tấm có nẹp gia cường phía chân kết đỉnh mạn có ứng suất và biến dạng không phải là lớn nhất. Kết cấu kết đỉnh mạn và boong tàu chở hàng rời mạn đơn là vùng kết cấu nguy hiểm nhất. Do đó, trong quá trình thiết kế, cần đặc biệt chú ý tăng tiết diện cơ cấu hoặc lựa chọn cơ tính của vật liệu để đảm bảo độ bền cục bộ và độ bền dọc chung.

Các kết quả được trình bày trong bài báo này tập trung tại trạng thái giới hạn của mô men uốn dọc chung. Trong quá trình khai thác, thân tàu có thể chịu tải trọng kết hợp như mô men uốn dọc chung, mô men uốn ngang chung, mô men xoắn, áp lực nước ngoài mạn hoặc áp lực hàng hoá. Từ đó, ứng suất và biến dạng dài của các PTKC có thể tăng hoặc thay đổi. Vì vậy, cần tiến hành nhiều nghiên cứu để đánh giá đa dạng các trường hợp nguy hiểm cho kết cấu và đưa ra

các khuyến nghị thích hợp. Ở một khía cạnh khác, cần thực hiện tính toán phân tích kết cấu bằng phương pháp NFEA để có thể nhận diện rõ hơn ứng suất và biến dạng của toàn bộ PTKC trong điều kiện có ràng buộc. Đây cũng là hướng nghiên cứu tiếp theo liên quan đến vấn đề nghiên cứu đề cập trong bài báo.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Vũ Văn Tuyền: Tìm hiểu lý thuyết và phương pháp tính, Viết ý tưởng bài toán, Kiểm soát nội dung bản thảo, Gửi bài, Phản hồi ý kiến phản biện. **Đoàn Văn Tuyền:** Tính toán ứng suất và biến dạng, Viết bản thảo gốc. **Trần Ngọc Tú:** Phân tích kết quả, Vẽ biểu đồ, Soạn bố cục bản thảo. **Đỗ Tất Mạnh:** Mô hình hóa kết cấu, Lập trị số các phần tử kết cấu, Chỉnh sửa bản thảo.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

Van Tuyen Vu. *Faculty of Shipbuilding, Vietnam Maritime University*

Van Tuyen Doan. *Faculty of Shipbuilding, Vietnam Maritime University*

Ngoc Tu Tran. *Faculty of Shipbuilding, Vietnam Maritime University*

Tat Manh Do. *Institute of Postgraduate Education, Vietnam Maritime University*

*Corresponding author: tuyenvv.dt@vamaru.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] D. K. Kim et al., "Effect of corrosion on the ultimate strength of double hull oil tankers - Part I: stiffened panels", *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 42, no. 4, pp. 507-530, 2012, doi: [10.12989/sem.2012.42.4.507](https://doi.org/10.12989/sem.2012.42.4.507).

- [2] D. K. Kim, H. L. Lim, M. S. Kim, O. J. Hwang, and K. S. Park, "An empirical formulation for predicting the ultimate strength of stiffened panels subjected to longitudinal compression", *Ocean Engineering*, vol. 140, pp. 270-280, 2017, doi: [10.1016/j.oceaneng.2017.05.031](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.05.031).
- [3] L. Feng, L. Hu, X. Chen, and H. Shi "A parametric study on effects of pitting corrosion on stiffened panels' ultimate strength", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 12, pp. 699-710, 2020, doi: [10.1016/j.ijnaoe.2020.08.001](https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2020.08.001).
- [4] E. Hacıhamud, K. Dahl, O. Gabrielsen, H.G. Lemu, and S.C. Siriwardane, "Non-linear buckling analysis of ship hull stiffened panels", in *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1294, 2023, Paper 012030 doi: [10.1088/1757-899x/1294/1/012030](https://doi.org/10.1088/1757-899x/1294/1/012030).
- [5] M. I. Hanif et al., "Effect of design parameters on the ultimate strength and collapse behavior of stiffened panels", *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 21, no. 3, pp. 940-956, 2023, doi: [10.5937/jaes0-44738](https://doi.org/10.5937/jaes0-44738).
- [6] X. Wang, Z. Yu, and J. Amdahl, "Ultimate strength of welded aluminum stiffened panels under combined biaxial and lateral loads: A numerical investigation", *Marine Structures*, vol. 97, Sep. 2024, Art. no. 103654, doi: [10.1016/j.marstruc.2024.103654](https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2024.103654).
- [7] J. J. Cui, D. Wang, and N. Ma, "A study of container ship structures' ultimate strength under corrosion effects", *Ocean Engineering*, vol. 130, pp. 454-470, 2017, doi: [10.1016/j.oceaneng.2016.11.061](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.11.061).
- [8] H. Zhou et al. "Dynamic response of hull girder subjected to combined underwater explosion and wave-induced load", *Ocean Engineering*, vol. 235, 2021, Art. no. 109436, doi: [10.1016/j.oceaneng.2021.109436](https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109436).
- [9] D. K. Kim et al., "Time-dependent ultimate strength performance of corroded FPSOs", *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 39, no. 11, pp. 7673-7690, 2014, doi: [10.1007/s13369-014-1364-4](https://doi.org/10.1007/s13369-014-1364-4).
- [10] T. Putranto, M. Körgesaar, and K. Tabri, "Application of equivalent single layer approach for ultimate strength analyses of ship hull girder", *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 10, 2022, Art. no. 1530, doi: [10.3390/jmse10101530](https://doi.org/10.3390/jmse10101530).
- [11] N. Vladimir, I. Senjanović, I. Jovanović, S. Tomašević, and P. Jurišić, "Direct strength calculation of an aged single-bottom tanker during its towing in waves", in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - IMechE 2023, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 238, no. 2, 2023, pp. 417-430, doi: [10.1177/14750902231189917](https://doi.org/10.1177/14750902231189917).
- [12] F. Ahmadi and A. R. Ranji, "Reliability assessment of ship hull girders considering pitting corrosion and crack", *Eng. Res. Express*, vol. 6, 2024, Art. no. 015503, doi: [10.1088/2631-8695/ad2641](https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad2641)
- [13] V. T. Vu and D. T. Dong, "Hull girder ultimate strength assessment considering local corrosion," *Journal of Marine Science and Application*, vol. 19, pp. 693-704, 2020, doi: [10.1007/s11804-020-00169-9](https://doi.org/10.1007/s11804-020-00169-9).
- [14] V. V. Tuyển, Đ. Q. Quận, và Đ. Q. Thắng, "Đánh giá thay đổi của đặc trưng hình học mặt cắt ngang và mô-men uốn dọc chung tới hạn khi thay đổi lượng bổ sung cho mòn gỉ," *Tạp chí Giao thông vận tải*, số 736, tr. 100-104, 2023.
- [15] IACS, "Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers." *International Association of Classification Societies*, iacs.org.uk2024. Accessed: Sep. 4, 2024. [Online]. Available: <https://iacs.org.uk/resolutions/common-structural-rules/csr-for-bulk-carriers-and-oil-tankers>
- [16] Phần 2A-B Kết cấu thân tàu và trang thiết bị tàu có chiều dài từ 90 m trở lên, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép, QCVN 21.2015.BGTVT.P2A, 2015. [Online]. Available: <http://www.vr.org.vn/quy-chuan-tieu-chuan/Pages/default.aspx?ItemID=98>