

THIẾT LẬP QUY TRÌNH HÀN CHO KẾT CẤU TÀU
ĐÁP ỨNG YÊU CẦU CỦA ĐĂNG KIỂM
DESIGN OF WELDING PROCEDURE SPECIFICATION FOR SHIP
CONSTRUCTION IN COMPLIANCE WITH CLASSIFICATION SOCIETY
REQUIREMENTS

ĐỖ QUANG QUẬN*,
NGUYỄN QUANG TÚ, NGÔ THỊ LAN ANH, TRẦN THỊ HẢI LINH

Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: quandq.dt@vimaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.2025.i84.854>

Tóm tắt

Quy trình hàn đã được thiết lập cho kết cấu tàu Tug2513 của Damen Sông Cấm. Kích thước của mối hàn được lựa chọn cần thỏa mãn yêu cầu của tổ chức Đăng kiểm phân cấp tàu. Kích thước mối hàn chịu ảnh hưởng chính bởi chiều dày kết cấu, ngoài ra vị trí của kết cấu cũng ảnh hưởng đến kích thước mối hàn. Với mối hàn góc kích thước mối hàn ngoài yêu cầu của Đăng kiểm phân cấp nó còn phụ thuộc vào quy trình hàn. Với mối hàn giáp mối kích thước mối hàn phụ thuộc vào chiều dày vật hàn và hệ số ngẫu và quy trình hàn. Quy trình hàn được thiết lập căn cứ vào điều kiện về thiết bị và vật liệu hàn cho các tư thế hàn bằng, hàn ngang và hàn leo.

Từ khóa: Quy trình hàn, kết cấu tàu, đăng kiểm.

Abstract

In this work welding procedure specification (WPS) were designed for construction of Damen Song Cam's Tug 2513. The weld dimensions are determined based on the welding factors prescribed by the relevant classification society. The thickness of the structure is the main factor determining the dimension of welds. In addition, the dimensions of the welds are also influenced by the structural welding position. Furthermore, to suitable with welding factor require from class, the dimension for fillet welds also depends on the WPS. The dimension of butt welds depends on the thickness of the base metal, the deep penetration coefficient and the WPS. Welding procedure specifications were established based on equipment and welding material for flat, horizontal and vertical welding positions.

Keywords: WPS, Ship construction, Class.

1. Giới thiệu

Trong công nghiệp đóng tàu và công trình biển, các nội dung về chế tạo, sửa chữa kết cấu tàu và công trình biển ngoài yêu cầu bắt buộc về vật liệu phải có chứng chỉ thích hợp, phù hợp thì quy trình hàn (WPS) cho kết cấu phải được duyệt bởi Đăng kiểm (tổ chức phân cấp) [1]. Các quy trình hàn và các thông số kỹ thuật liên quan được nhà máy chế tạo (đóng và sửa chữa tàu) đệ trình cho tổ chức phân cấp để duyệt trước khi thực hiện công việc hàn với mỗi sản phẩm, tàu [1].

Như vậy việc thiết lập quy trình hàn là nội dung bắt buộc phải thực hiện cho mỗi tàu theo quy định của Đăng kiểm. Việc thiết lập WPS gần đây được đề cập đến với nội dung thiết lập lên thư viện quy trình hàn [2]. Việc thiết lập bộ quy trình, thư viện quy trình hàn như vậy sẽ tận dụng được các quy trình hàn của các tàu với các kết cấu tương tự, tương đương nhau phù hợp với các yêu cầu của các tổ chức Đăng kiểm và sẽ tiết kiệm được thời gian cũng như chi phí cho các nhà máy đóng và sửa chữa tàu.



Hình 1. Tàu Tug 2513

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu tiến hành trên một sản phẩm tàu của Damen Sông Cấm với số hiệu Tug 2513 (Hình 1). Quy trình hàn được tính toán, thiết lập với bộ thông số quy trình hàn không kèm theo kết quả thử mẫu do điều kiện hạn chế về nguồn lực. Mục đích của nghiên cứu này là thiết lập bộ quy trình

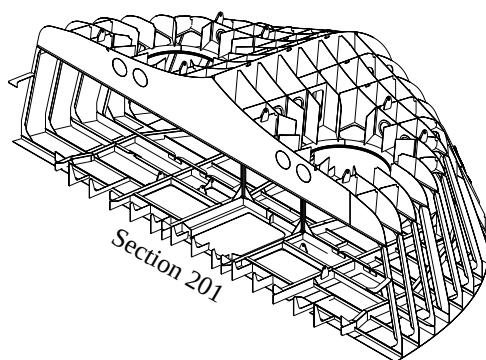
hàn có kể đến sự khác biệt về tiêu chuẩn của một số tổ chức Đăng kiểm. Quy trình được lập dựa vào yêu cầu của các tổ chức Đăng kiểm: Đăng kiểm Việt Nam, BV, ABS, Rina, Lloyd, NK.

Với vị trí của ngành đóng tàu Việt Nam với vị trí đứng thứ 7 năm 2021 [3] và đứng thứ 6 năm 2022 [4], dự địa cũng như triển vọng cho sự phát triển của ngành đóng tàu là rất lớn. Điều này được thể hiện thông qua sự quan tâm của chính quyền hành chính cụ thể, tháng 11 năm 2024 có 01 hội thảo về đóng tàu do Cục Hàng hải tổ chức và 01 hội thảo do Thành phố Hải Phòng tổ chức. Thông qua nghiên cứu này, nhóm tác giả bước đầu xây dựng bộ quy trình hàn cho kết cấu tàu rồi phát triển xây dựng bộ quy trình hàn chuẩn dạng thư viện cho ngành đóng tàu tại Việt Nam với mục tiêu thỏa mãn yêu cầu của các tổ chức phân cấp trên toàn thế giới.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Giới thiệu phân đoạn (section) nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành với phân đoạn 201 (Hình 2) thuộc tổng đoạn 1 của tàu Tug 2513 với khoảng sườn 650. Phân đoạn với giới hạn từ mút lái đến #10+250, kết cấu bao gồm: boong chính, vách #3, cụm đạo lưu, hốc neo và phần vỏ. Quy cách kết cấu: tôn đáy dày 10, tôn mạn dày 12, boong dày 8, các kết cấu gia cường thép hình 140x65x6, 170x80x10, 195x75x10, 225x100x12. Vật liệu kết cấu gia cường vùng đạo lưu là AH36 các kết cấu còn lại cấp A.



Hình 2. Phân đoạn 201

Về quy trình thực hiện công nghệ phân đoạn 201, được đề xuất với phương án đóng úp với mặt boong làm chuẩn trên bộ khuôn sau đó chế tạo toàn bộ rồi cầu lật và hoàn thiện.

2.2. Quy chuẩn áp dụng trong thiết lập WPS

Với mục tiêu thiết lập thư viện quy trình hàn trong nghiên cứu này với điều kiện hạn chế nhóm nghiên cứu tiến hành tính toán thiết lập WPS với bộ các thông số của quá trình hàn mà chưa có kết quả thử mẫu theo

bộ thông số quá trình hàn.

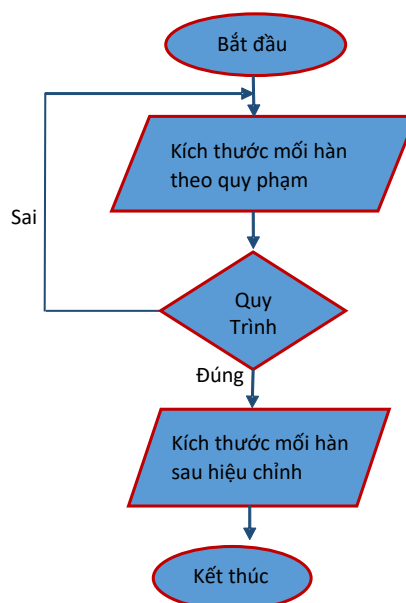
Trong nghiên cứu này các yêu cầu được áp dụng của các tổ chức Đăng kiểm về thiết kế mối hàn bao gồm: Đăng kiểm Việt Nam[5], Bureau Veritas (BV) [6], American Bureau of Shipping (ABS) [7], Lloyd's Register (Lloy)[8], Registro Italiano Navale (Rina) [9], ClassNK (NK) [10].

Với mối hàn góc các quy phạm có quy định trị số kích thước chân đường hàn tối thiểu với BV, Lloyd, Rina là 4mm [6, 8, 9], với ABS, NK [1, 7, 10] là 3mm.

2.3. Sơ đồ tính

Có nhiều quy định với mối hàn, liên kết hàn trên kết cấu tàu và công trình biển, nhưng yêu cầu về độ bền mối hàn hiển nhiên là yêu cầu quan trọng nhất. Độ bền mối hàn được đặc trưng bởi tiết diện làm việc của nó. Nghiên cứu này thực hiện thiết kế WPS theo tiết diện làm việc của mối hàn đáp ứng yêu cầu từ Đăng kiểm. Sơ đồ tính toán thiết kế mối hàn được thực hiện theo (Hình 3), đây cũng là sơ đồ thuật toán mà nhóm nghiên cứu dự kiến phát triển theo hướng xây dựng phần mềm, chương trình tính.

2.4. Mối hàn giáp mối



Hình 3. Sơ đồ xác định kích thước mối hàn

Mối hàn giáp mối thuộc phân đoạn 201 trong nghiên cứu này là mối hàn nối tôn boong, tôn mạn, tôn đáy,... (thép cấp A). Các quy phạm quy định đây là mối hàn ngẫu toàn bộ, tùy theo chiều dày tôn các quy phạm đưa ra yêu cầu về góc vát mép, khe hở hàn [11]. Để đảm bảo khả năng làm việc theo [12], thì kích thước mối hàn được xác định phải đảm bảo được hệ

số ngẫu, chiều cao, chiều rộng mối hàn,... Trong nghiên cứu này mối hàn giáp mối được thực hiện bằng công nghệ hàn dưới lớp thuốc trợ dung SAW (Submerged Arc Welding) với dây hàn đường kính bằng 4mm.

Tính toán chế độ hàn.

Cường độ dòng điện hàn [12]:

$$I = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \times j \quad (1)$$

Trong đó: $d = 4\text{mm}$: Đường kính dây hàn;

$j = 35 \div 60 (\text{A/mm}^2)$: Mật độ dòng điện (A/mm^2).

$$I = (440 \div 750) (\text{A})$$

Điện áp hàn được xác định theo [12]:

$$U = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d^{0,5}} \times I \quad (2)$$

$$U = 31 \div 37 (\text{V}).$$

Tốc độ hàn (travel speed) [12]:

$$V = \frac{N}{I} \quad (3)$$

Trong đó: $N = (16 \div 20) \cdot 103 (\text{A.m/h})$: Hằng số xác định tốc độ hàn.

$$V = (10 \div 12) (\text{cm/min})$$

Diện tích kim loại đắp cho một lớp hàn được xác định theo công thức [12]:

$$F = \frac{\alpha \cdot I}{100 \cdot V \cdot \gamma} \quad (4)$$

Trong đó: $\alpha = 13 (\text{g/A.h})$: Hệ số đắp, $\gamma = 7,874 (\text{g/cm}^3)$: Khối lượng riêng của sắt.

Với hàn giáp mối lựa chọn công nghệ hàn SAW dây hàn 4mm thực hiện, công nghệ này chỉ thực hiện ở vị trí hàn bằng. Tuy nhiên với phân đoạn 201 thì sẽ có đường hàn ở tư thế hàn ngang, hàn leo. Ở các tư thế này mối hàn giáp mối nổi tôn được sử dụng công nghệ hàn hồ quang điện cực nóng chảy trong môi trường khí hoạt tính bảo vệ Metal Active Gas (MAG). Hàn MAG được thực hiện với dây hàn 1,2mm hàn một từ một phía có lót sứ.

Cường độ dòng hàn được xác định theo [12]:

$$I = 150 + (30 \times d) (\text{A}) \quad (5)$$

Cường độ dòng hàn tính theo (5) áp dụng cho tư thế hàn bằng, với hàn leo (rơi) và hàn ngang I giảm từ 10-15%, giảm 15-20% khi hàn trần. Với hàn góc và các lớp hàn tiếp theo tăng 10-15%. Với hàn MAG thì

cường độ dòng hàn và hiệu điện thế hàn còn được xác định theo đồ thị tối ưu [13].

$$I = 75 \div 225 (\text{A}), \quad U = 18 \div 27 (\text{V})$$

Tốc độ hàn, diện tích kim loại đắp cho một lớp hàn được xác định theo (3) và (4).

$$\text{Trong đó } N = (2 \div 5) \cdot 103 (\text{A.m/h}).$$

Với mối hàn giáp mối thì hình dạng mối hàn đóng vai trò rất quan trọng đến chất lượng liên kết hàn, nó được xác định thông qua hệ số ngẫu (tỉ lệ giữa chiều rộng và chiều sâu mối hàn) [12].

$$\psi = \frac{w}{h} \quad (6)$$

Trong đó: w : Chiều rộng mối hàn; h : Chiều cao mối hàn. $\psi = 0,8 \div 4$ (tối ưu $1,2 \div 2$).

Để mối hàn đảm bảo chất lượng thì kích thước mối hàn sẽ xác định theo hệ số ngẫu, còn kiểu vát mép thì được xác định theo quy định của Đăng kiểm. Mép hàn được chuẩn bị theo Bảng 8.1 và 8.2 [11].

2.5. Với mối hàn góc

Kết cấu của phân đoạn 201 (Hình 2) như trình bày ở 2.1 rất nhiều mối hàn khác nhau. Trong nghiên cứu này mối hàn góc được thiết lập quy trình thực hiện cho các mối hàn kết cấu với tôn và kết cấu với kết cấu. Theo điều kiện thực tế của Damen với mối hàn góc trong nghiên cứu này được thực hiện bằng công nghệ hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí hoạt tính bảo vệ MAG (Metal Active Gas) với dây hàn có đường kính 1,2mm. Kích thước (tiết diện) mối hàn góc mỗi một tổ chức đăng kiểm đều có quy định. Kích thước mối hàn góc được xác định theo chiều dày kết cấu và vị trí của kết cấu. Bảng 1 đưa ra ví dụ về hệ số hàn cho sườn thường với tôn mạn [6-10]. Kích thước mối hàn xác định theo hệ số hàn là chiều cao mối hàn (throat thickness) theo [6-9].

Bảng 1. Hệ số hàn theo Đăng kiểm

Kết cấu	BV	Lloy	ABS	Rina	NK
Sườn					
thường tôn	0,3	0,16	0,25	0,13	0,4t+1
mạn					

t: Chiều dày kết cấu, với NK: Kích thước chân mối hàn

Chế độ hàn của mối hàn góc bằng hàn MAG dây hàn 1,2mm được xác định theo 2.4.

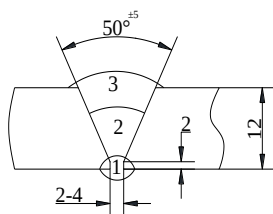
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Quy trình hàn

Bảng 2, 3 đưa ra quy trình hàn cho hàn giáp mối

Bảng 2. WPS cho hàn giáp mối (hàn một phía không lót)*

Kiểu vát mép và thứ tự thực hiện:



Tư thế	Lớp	Dòng điện (A)	Điện áp (V)	Tốc độ hàn (cm/min)	Phương pháp hàn
Hàn bằng	1	160÷180	20÷25	13÷19	MAG
	2	450÷550	25÷35	40÷42	SAW
	3	550÷650	32÷37	40÷45	SAW

*Hàn xong lớp 1, lật mặt hàn lớp 2 và 3

Bảng 3. WPS cho hàn giáp mối (hàn một phía có lót sứ)*

Tư thế	Lớp	Dòng điện (A)	Điện áp (V)	Tốc độ hàn (cm/min)	Phương pháp hàn
Hàn leo, hàn ngang	1	150÷170	20÷25	13÷19	MAG
	2	170÷190	22÷27	18÷25	MAG
	3	170÷190	22÷27	18÷25	MAG
	4	170÷190	22÷27	18÷25	MAG

*Khe hở hàn từ 6÷8mm

Bảng 4. WPS cho hàn góc

Tư thế	Lớp	Dòng điện (A)	Điện áp (V)	Tốc độ hàn (cm/min)	Phương pháp hàn
Hàn bằng	1	110÷190	18÷25	23÷25	MAG
	2	110÷190	18÷25	23÷25	MAG
	3	110÷190	18÷25	23÷25	MAG
	4	110÷190	18÷25	23÷25	MAG

Bảng 5. Kích thước mối hàn*

Hạng mục	Chiều dày (mm)	Kích thước theo Đăng kiểm						Kích thước mối hàn thực tế					
		BV	Lloy	AB S	Rina	NK	VR	BV	Lloy	ABS	Rina	NK	VR
Sườn thường	6	4	4	3	4	4	4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Sườn khô	10	4	4	3	4	6	6	4.5	4.5	4.5	4.5	7.1	7.1
Sườn khô	12	4.56	4	3	4	5.6	7	7.1	4.5	4.5	4.5	7.1	7.1
Xà boong	6	4	4	3	4	4	4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Xà boong	10	4	4	3	4	6	6	4.5	4.5	4.5	4.5	7.1	7.1

*Kích thước cạnh mối hàn góc (Leg length of fillet weld)

cho thép cấp A, Bảng 4 đưa ra quy trình hàn cho mối hàn góc với vật liệu là thép cấp A. Với hàn MAG: lưu lượng khí CO₂: 15-20 (l/min), tốc độ cấp dây: 5-6 (m/min), góc mở hàn với hướng hàn: 10-15°.

Mối hàn giáp mối trong nghiên cứu này là mối hàn nổi tôn bao, tôn vách, mối hàn ngẫu toàn bộ theo quy định của các tổ chức Đăng kiểm. Mối hàn này có thể thực hiện hàn từ cả hai mặt của tôn bao, hoặc từ một mặt với mặt còn lại lót sứ. Kích thước mối hàn chỉ phụ thuộc vào hình dạng mối hàn, hệ số ngẫu.

3.2. Kích thước cạnh của mối hàn góc

Bảng 5 đưa ra kích thước cạnh của mối hàn góc.

Với phân đoạn 201 các kết cấu có chiều dày là nhỏ. Nếu kích thước tiết diện ngang mối hàn xác định theo hệ số kích thước mối hàn mà các tổ chức Đăng kiểm đưa ra thì các mối hàn được thực hiện sẽ không đảm bảo điều kiện liên kết, điều kiện làm việc. Để đảm bảo các mối hàn đủ điều kiện làm việc mà không phụ thuộc vào chiều dày kết cấu, các tổ chức Đăng kiểm đều đưa ra trị số kích thước liên kết hàn tối thiểu (xem 2.2). Trong bảng 5 đưa ra các kích thước mối hàn theo yêu cầu của các tổ chức Đăng kiểm, các kích thước này hầu hết là các kích thước tối thiểu.

Trong quá trình tính toán theo các quy phạm thể

thấy với Đăng kiểm Việt Nam trị số kích thước mỗi hàn góc chỉ phụ thuộc vào chiều dày kết cấu, trong khi đó với các tổ chức Đăng kiểm BV, ABS, Rina, Lloy, NK trị số kích thước mỗi hàn góc thay đổi theo vị trí kết cấu, chiều dày kết cấu. Việc thực hiện mỗi hàn có kích thước lớn hơn trị số yêu cầu luôn thỏa mãn yêu cầu từ Đăng kiểm, tuy nhiên cần xem xét tránh lãng phí trong quá trình công nghệ, quá trình thi công. Với liên kết hàn hợp lý sẽ tránh lãng phí vật liệu, nhân công và tiết kiệm chi phí cho cơ sở đóng tàu, ngoài ra còn cắt giảm lượng phát thải cacbon ra ngoài môi trường do quá trình sản xuất vật liệu hàn, thi công mỗi hàn.

3.3. Kích thước cạnh mỗi hàn góc theo WPS

Theo sơ đồ đề xuất về xác định kích thước mỗi hàn cho mỗi hàn góc (Hình 3) có thể thấy, kích thước tiết diện ngang mỗi hàn được xuất phát từ yêu cầu của Đăng kiểm. Kích thước mỗi hàn đạt được thông qua thực hiện quy trình hàn, như vậy trong thực tế việc tính toán xác định kích thước mỗi hàn xuất phát từ yêu cầu của Đăng kiểm và được hiệu chỉnh theo quy trình hàn. Các kết quả tính toán trong nghiên cứu này chỉ ra kích thước mỗi hàn trong quá trình tính toán để thỏa mãn yêu cầu từ Đăng kiểm và theo số lớp hàn thì kích thước mỗi hàn bao giờ cũng lớn hơn trị số yêu cầu.

Trị số kích thước tiết diện ngang mỗi hàn trong thực tế theo các hồ sơ thiết kế công nghệ của các tàu đã được đóng mà nhóm nghiên cứu tiếp cận được đều lớn hơn trị số yêu cầu từ Đăng kiểm. Điều này có thể được giải thích với các cơ sở đóng tàu khi thực hiện thiết kế công nghệ, tính toán kích thước tiết diện ngang mỗi hàn (mỗi hàn góc) ngoài thỏa mãn yêu cầu từ Đăng kiểm có tính theo số lớp hàn.

Kích thước tiết diện ngang mỗi hàn tính theo công thức (4) cho lớp thứ nhất sẽ đạt kích thước cạnh mỗi hàn là 4,5mm và lớp thứ 2 sẽ là 7,1mm.

4. Kết luận

Việc tính toán thiết kế quy trình hàn cho phân đoạn 201 đã được thực hiện. Quy trình hàn được tính toán thỏa mãn yêu cầu của các tổ chức đăng kiểm về kích thước và dạng ngẫu của mỗi hàn.

Với mỗi hàn giáp mỗi khi thiết kế quy trình chỉ cần chú ý sự tương quan về hình dạng mỗi hàn, hệ số ngẫu liên kết hàn.

Với mỗi hàn góc có thể thấy rằng kích thước mỗi hàn ngoài yêu cầu của đăng kiểm thì kích thước tiết diện mỗi hàn được xác định theo quy trình hàn.

Hướng phát triển tiếp theo của nghiên cứu này là lập ra chương trình thiết kế WPS và có kết quả kiểm tra quy trình hàn WPQR (welding procedure

qualification record) để tiến tới lập thư viện quy trình hàn được các tổ chức đăng kiểm công nhận giúp phần giảm bớt công sức và thời gian cho các xưởng, nhà máy đóng và sửa chữa tàu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học sinh viên năm học 2024-2025, Mã số: **SV24-25.18**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đăng kiểm Việt Nam(2020), *Tập 4 phần 6 Hàn*.
- [2] A. Alonso (2022), *Request for Information to Support AWS Standard Welding Procedure Specifications*, Welding Journal, Vol.101, pp.88-89.
- [3] Triển vọng Việt Nam lọt top 5 quốc gia đóng tàu biển hàng đầu thế giới, 2023.
[Online] <https://baovephapluat.vn/kinh-te/dung-hang-viet/trien-vong-viet-nam-lot-top-5-quoc-gia-dong-tau-bien-hang-dau-the-gioi-143290.html>.
- [4] Việt Nam đứng đầu Đông Nam Á và thứ 6 toàn cầu về đóng tàu, 2024
[Online] <https://www.vietnamplus.vn/viet-nam-dung-dau-dong-nam-a-va-thu-6-toan-cau-ve-dong-tau-post954604.vnp>.
- [5] Đăng kiểm Việt Nam(2020), *Phần 2A, Chương 1*, Viet Nam.
- [6] BV (2024), *Design of weld joints* (Pt B, Ch13, Sec 3).
- [7] ABS(2023), *ABS RULES FOR BUILDING AND CLASSING MARINE VESSELS*, Pt 3, Ch 2, Sec 19
- [8] Lloy's Register(2024), *Welding and Structural Details* (Ch 10).
- [9] Rina (2024), *RINA Rules 2024* (Pt B, Ch12, Sec 1).
- [10] ClassNK (2017), *Welding* (Pt M, Ch 11, Sec 2).
- [11] IACS (2021), IACS Rec. 1996/Rev.10 2021.
- [12] Đỗ Quang Quận (2020), *Hàn và cắt kim loại trong đóng tàu*, NXB Hàng Hải, Hải Phòng.
- [13] L. Jeffus (2017), *Welding Principles and Applications*, Cengage Learning USA.

Ngày nhận bài:	16/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	26/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	16/05/2025
Ngày duyệt đăng:	20/05/2025