

## EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON THE CORROSION POTENTIAL OF AISI 1040 STEEL IN THE SEAWATER

Nguyen Ngoc Minh, Nguyen Ngoc Lan\*

School of Materials Science and Engineering - Hanoi University of Science and Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 04/02/2025	Carbon steel is the most economical and widely used material in the world because it has a low price and good quality. However, carbon steel also has the disadvantage of being susceptible to corrosion, especially in highly corrosive environments such as seawater. Steel can be heat treated to slow down the destruction process and increase corrosion resistance. In this study, the corrosion potential of steel was evaluated based on heat-treated samples, including annealed, normalized, quenched, and tempered samples working in seawater. The results showed that the quenched sample obtained a solid solution structure with the highest corrosion resistance compared to the annealed and normalized samples. The corrosion potential of the sample after quenching was achieved at -0.604 V, while the corrosion potential of the samples after annealing and normalizing was -0.77 V and -0.758 V, respectively. The tempering temperature also showed an effect on the corrosion potential. In the tempering temperature range from 200 °C to 500 °C, the corrosion potential value decreased from -0.57 V to -0.64 V as the tempering temperature increased.
<b>Revised:</b> 28/02/2025	
<b>Published:</b> 28/02/2025	

### KEYWORDS

Heat treatment  
Corrosion behavior  
AISI 1040  
Corrosion potential  
Carbon steel

## ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN ĐIỆN THẾ ẮN MÒN CỦA THÉP AISI 1040 TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC BIỂN

Nguyễn Ngọc Minh, Nguyễn Ngọc Lan\*

Trường Vật liệu - Đại học Bách khoa Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 04/02/2025	Thép cacbon là loại vật liệu kinh tế và được sử dụng nhiều nhất trên thế giới do nó có giá thành thấp và chất lượng tốt. Tuy nhiên, thép cacbon cũng có nhược điểm là dễ bị ăn mòn, đặc biệt là những môi trường có tính xâm thực mạnh như nước biển. Để làm chậm quá trình phá hủy, thép có thể được mang đi xử lý nhiệt để tăng khả năng bền ăn mòn. Trong nghiên cứu này, điện thế ăn mòn thép được thực hiện đánh giá dựa trên các mẫu đã qua xử lý nhiệt bao gồm mẫu sau ủ, mẫu sau thường hóa, mẫu sau tôi và ram làm việc trong môi trường nước biển. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng mẫu sau tôi nhận được tổ chức dung dịch rắn cho khả năng bền ăn mòn cao nhất khi so sánh với mẫu sau ủ và thường hóa. Điện thế ăn mòn của mẫu sau tôi đạt được tại -0,604 V trong khi điện thế ăn mòn của các mẫu sau ủ và thường hóa lần lượt là -0,77 V, -0,758 V. Nhiệt độ ram cũng đã cho thấy có ảnh hưởng đến điện thế ăn mòn. Trong khoảng nhiệt độ ram từ 200 °C đến 500 °C, giá trị điện thế ăn mòn giảm từ -0,57 V đến -0,64 V khi nhiệt độ ram tăng.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 28/02/2025	
<b>Ngày đăng:</b> 28/02/2025	

### TỪ KHÓA

Xử lý nhiệt  
Ứng xử ăn mòn  
AISI 1040  
Điện thế ăn mòn  
Thép cacbon

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11958>

\* Corresponding author. Email: lan.nguyennhoc1@hust.edu.vn

## 1. Giới thiệu

Thép cacbon là hợp kim quan trọng được sử dụng rất nhiều trong các ngành công nghiệp như dầu mỏ, hóa chất, xây dựng do độ bền phù hợp, khả năng hàn và tạo hình tốt [1], [2]. Tuy nhiên, vật liệu này rất dễ bị ăn mòn khi sử dụng trong môi trường tự nhiên, đặc biệt là trong các môi trường có tính xâm thực cao như nước biển [2] – [4]. Điều này sẽ dẫn đến tổn thất lớn về kinh tế [5], [6]. Để giảm thiểu được thiệt hại do ăn mòn, có nhiều phương pháp có thể được sử dụng như bảo vệ điện hóa, tạo lớp phủ bảo vệ, dùng chất ức chế ăn mòn hay xử lý nhiệt [7], [8]. Trong đó, xử lý nhiệt là một phương pháp hiệu quả để làm thay đổi cấu trúc tế vi của thép, qua đó dẫn đến kết quả là cải thiện được tính chất bao gồm cả việc làm tăng tính bền ăn mòn.

Xử lý nhiệt bao gồm các phương pháp như thường hóa, ủ, tôi và ram đều cho thấy có tác động nhiều đến khả năng bền ăn mòn cho thép [5]. Với thép cacbon trung bình, nhiệt độ nung sẽ được lựa chọn trên nhiệt độ  $A_{c3}$  tương ứng với hàm lượng cacbon có trong thành phần. Quá trình giữ nhiệt sau đó có tác dụng phân hủy các hợp chất như xêmentít, cacbít, v.v. để hòa tan và làm đồng đều thành phần trong dung dịch rắn austenit trước khi làm nguội hợp lý sẽ nhận được tổ chức có ảnh hưởng đến tính bền ăn mòn của thép. Đã có nhiều nghiên cứu chứng minh được tầm quan trọng của quá trình nhiệt luyện đến việc cải thiện độ bền ăn mòn cho thép [9]. Tuy nhiên, với mỗi mác thép có thành phần khác nhau, thông số cụ thể của quá trình nhiệt luyện cũng sẽ phải thay đổi để tối ưu hóa được độ bền ăn mòn của thép. Do đó, việc nghiên cứu chi tiết để tìm ra được thông số phù hợp ứng với từng thành phần đặc trưng là cần thiết.

Trong nghiên cứu này, thép AISI 1040 được mang đi ủ tại 840 °C, thường hóa tại 860 °C, tôi ở 860 °C và kết hợp ram trong khoảng nhiệt độ (200-500) °C. Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy, chế độ nhiệt luyện có ảnh hưởng đến tổ chức tế vi, qua đó ảnh hưởng đến độ bền ăn mòn của thép.

## 2. Thực nghiệm

Thực hiện nghiên cứu này, thép AISI 1040 sử dụng có thành phần hóa học được biểu diễn trong Bảng 1.

**Bảng 1. Bảng thành phần hóa học của thép AISI 1040**

Nguyên tố	C	Si	Mn	P	S	Fe
% Khối lượng	0,38	0,34	0,81	0,03	0,04	98,40

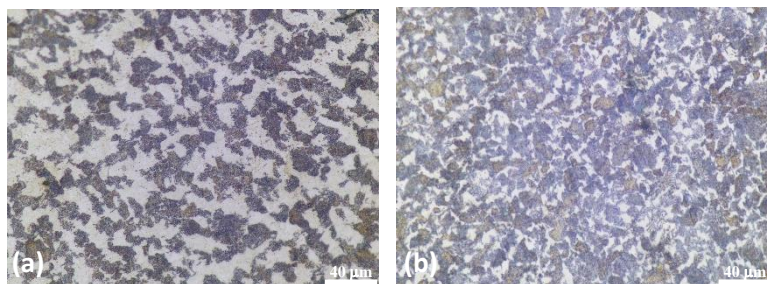
Để thực hiện được việc đánh giá về ảnh hưởng của chế độ nhiệt luyện đến tổ chức và tính bền ăn mòn, thép được cắt thành các mẫu khối nhỏ có kích thước ( $\Phi 15 \times 10$ ) mm. Tất cả các mẫu đều được nung trong môi trường bảo vệ nhằm đảm bảo bề mặt mẫu không bị oxy hóa hay thoát cacbon trong quá trình nung. Điều này giúp cho dữ liệu thu được khi quan sát có mức độ tin cậy tốt hơn. Chế độ xử lý nhiệt theo đó được thực hiện bằng lò điện trở có điều khiển (Nabertherm, model N11/H) như sau: mẫu ủ và thường hóa lần lượt được thực hiện tại các nhiệt độ theo thứ tự 840 °C và 860 °C. Với mẫu tôi, nhiệt độ tôi thực hiện tại 860 °C trước khi tiến hành ram tại các nhiệt độ 200 °C, 300 °C, 400 °C và 500 °C trong thời gian 1 giờ.

Để quan sát và đánh giá được sự thay đổi trong cấu trúc, các mẫu khối sau nhiệt luyện được cắt ngang, tiếp đó mài phẳng, đánh bóng và tẩm thực trước khi quan sát dưới kính hiển vi quang học (Olympus GX53). Để xác định sự thay đổi cấu trúc trong quá trình ram, các mẫu được kiểm tra cấu trúc bởi giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) trên thiết bị (XRD, ARL EQUINOX 5000). Các mẫu đo điện thế ăn mòn trong môi trường nước biển (được lấy trực tiếp tại khu vực biển Cồn Vành, Tiền Hải, Thái Bình) đều được làm sạch bề mặt và kiểm tra trên thiết bị đo thông số điện hoá (PGSTAT302N). Giá trị được phân tích và ghi lại trên phần mềm điều khiển, việc tính toán hoàn toàn tự động.

### 3. Kết quả và bàn luận

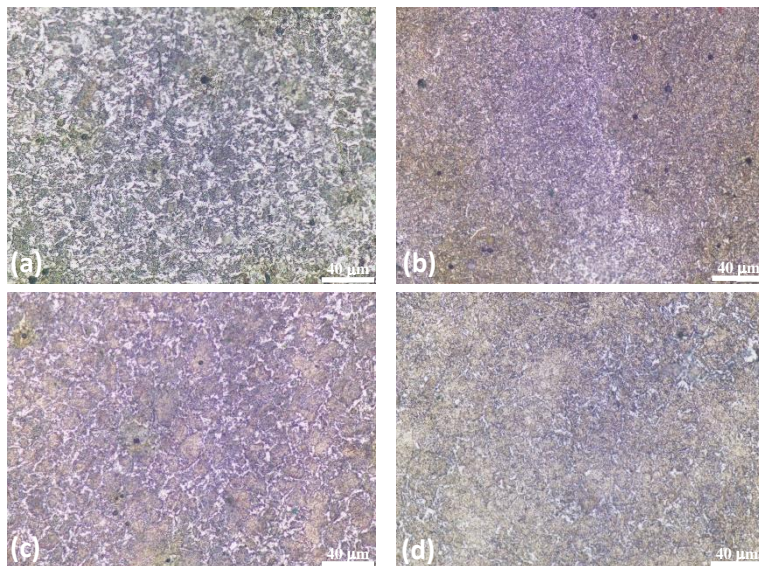
#### 3.1. Kết quả quan sát trên kính hiển vi quang học

Hình ảnh tổ chức tế vi của các mẫu trên kính hiển vi quang học được thể hiện như trên Hình 1 và Hình 2. Với các mẫu sau ủ và thường hóa, tốc độ nguội khác nhau đã thể hiện rõ qua việc quan sát kích thước các hạt tinh thể với cùng độ phóng đại. Mẫu ủ (Hình 1a), tốc độ nguội chậm cho phép các hạt sắt nhập làm tăng kích thước trong khi đối với mẫu thường hóa (Hình 1b), việc nguội ngoài không khí tĩnh có tốc độ nguội cao hơn cho phép giữ được kích thước hạt nhỏ mịn hơn.



**Hình 1.** Ảnh tổ chức tế vi của các mẫu thép ở độ phóng đại  $\times 500$ : (a) mẫu sau ủ; (b) mẫu sau thường hóa

Với các mẫu sau tôi và ram ở các nhiệt độ khác nhau, tổ chức mactensit nhỏ mịn khi ram ở nhiệt độ thấp (Hình 2a) và hỗn hợp bao gồm cácbít  $\epsilon$  và ferit khi ram ở nhiệt độ cao hơn (Hình 2b-d) như thể hiện trên Hình 2. Trên tất cả các mẫu sau ram đều quan sát thấy có sự tiết ra cácbít  $\epsilon$  là các hạt nhỏ màu sáng, và chúng có xu hướng tăng dần kích thước khi nhiệt độ ram tăng. Mặc dù vậy, việc đánh giá này cũng chưa thực sự rõ ràng do hạn chế về mức độ phóng đại của kính hiển vi quang học sử dụng.



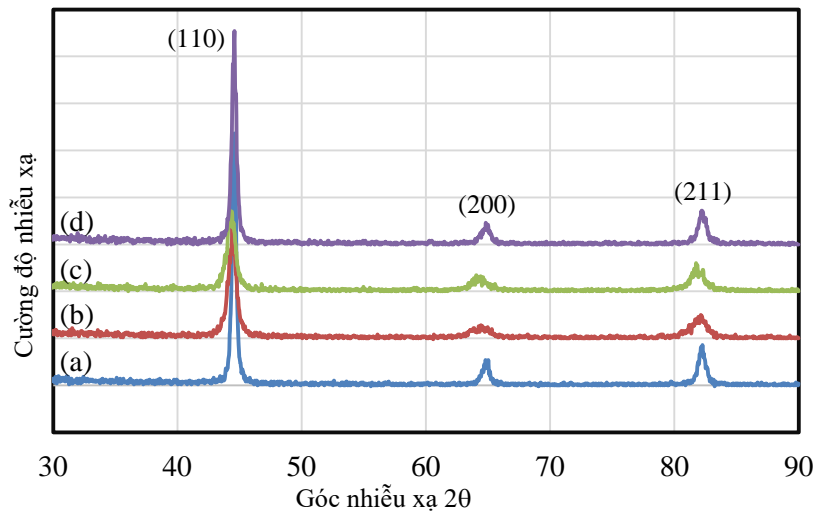
**Hình 2.** Ảnh tổ chức tế vi của các mẫu thép sau tôi và ram ở các nhiệt độ khác nhau với độ phóng đại  $\times 500$ : (a) sau ram tại  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; (b) sau ram tại  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; (c) sau ram tại  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; (d) sau ram tại  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### 3.2. Kết quả XRD

Kết quả kiểm tra nhiễu xạ Ron ghen đối với một số mẫu bao gồm: mẫu sau ủ, mẫu sau tôi và mẫu sau tôi kết hợp ram, kết quả như thể hiện trên Hình 3. Các đỉnh nhiễu xạ chính lần lượt theo thứ tự từ góc nhiễu xạ thấp lên cao được xác định là (110), (200) và (211). Đây chính là các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của sắt alpha ( $\text{Fe}_{\alpha}$ ) [10]. Mặc dù vậy, trên tất cả các giản đồ XRD của mẫu sau

ram, vẫn không quan sát thấy có sự xuất hiện vạch nhiễu xạ đặc trưng của các pha cacbít  $\epsilon$  tiết ra trong quá trình ram. Điều này có thể do hàm lượng cacbít  $\epsilon$  vẫn còn khá nhỏ nên tín hiệu ron ghen không đủ để xác nhận.

Với mẫu sau ủ (Hình 3a), kết quả XRD cũng đã phản ánh được tổ chức thép như khẳng định trong phần kết quả khi quan sát dưới kính hiển vi quang học bao gồm chủ yếu là ferit. Với mẫu sau tôi (Hình 3b), vị trí các vạch nhiễu xạ hơi dịch sang trái so với mẫu sau ủ. Nguyên nhân là do trong quá trình tôi, việc nung trên nhiệt độ  $A_{c3}$  giúp hòa tan nhiều vào trong nền austenit. Do đó kết quả là làm tăng hằng số mạng tinh thể dẫn đến việc giảm góc nhiễu xạ  $2\theta$ .



**Hình 3.** Giản đồ nhiễu xạ tia X: (a) mẫu sau ủ; (b) mẫu sau tôi; (c) mẫu sau tôi và ram ở 200 °C; (d) mẫu sau tôi và ram ở 500 °C

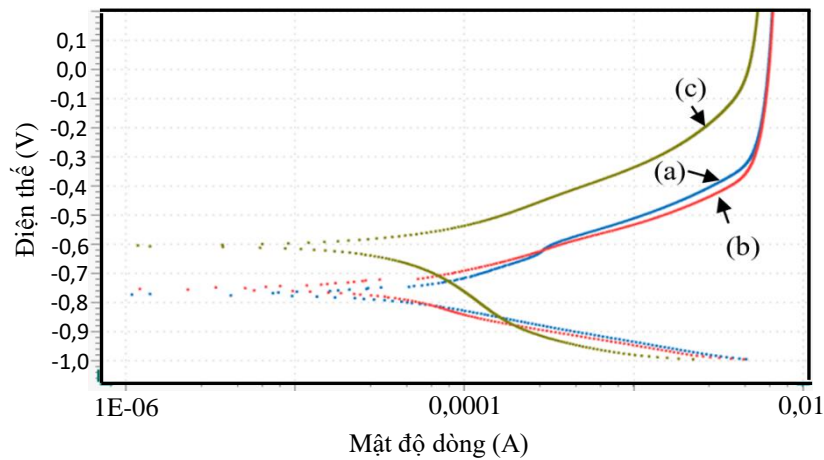
Với các mẫu sau ram (Hình 3c-d), vị trí các đỉnh nhiễu xạ chính trên giản đồ XRD so sánh với của mẫu sau tôi thì lại có xu hướng chuyển dần sang phải (theo chiều tăng góc nhiễu xạ  $2\theta$ ). Nhiệt độ ram càng cao, mức độ dịch chuyển càng lớn. Nguyên nhân là do khi tăng nhiệt độ ram, các nguyên tố hợp kim đang hòa tan trong mactensit có xu hướng di chuyển nhiều hơn ra khỏi nền. Kết quả là làm giảm mức độ xô lệch mạng và giảm hằng số mạng tinh thể. Hệ quả là làm tăng góc nhiễu xạ  $2\theta$ .

### 3.3. Kết quả thử điện thế ăn mòn

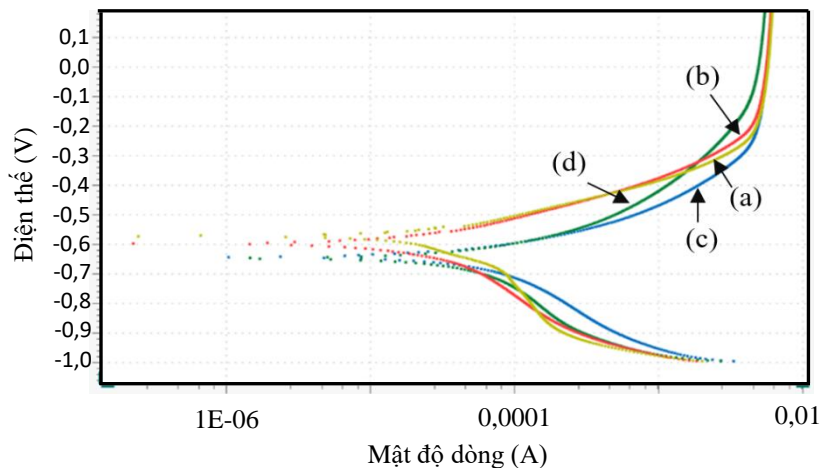
Ảnh hưởng của phương pháp nhiệt luyện đến điện thế ăn mòn của thép trong môi trường nước biển như thể hiện trên Hình 4.

Trên Hình 4 có thể thấy, đường cong phân cực mẫu sau ủ (Hình 4a) có điện thế ăn mòn thấp nhất ( $\sim -0,77$  V, kém bền ăn mòn nhất). Điều này là do quá trình ủ, thời gian giữ nhiệt dài làm tăng khả năng tiết pha trên nền dẫn đến việc hình thành nhiều cặp vi pin hơn. Do đó tốc độ ăn mòn của mẫu sau ủ lớn nhất. Với mẫu sau thường hóa (Hình 4b), tốc độ nguội cao hơn nên hạn chế được việc tiết pha hóa bền, điều này cho phép mẫu có điện thế ăn mòn cao hơn so với mẫu sau ủ. Điện thế ăn mòn vào khoảng  $-0,758$  V. Sau cùng, mẫu sau tôi (Hình 4c) đã chỉ ra rằng: tổ chức chỉ gồm 1 pha mactensit là dung dịch rắn sẽ luôn có độ bền ăn mòn cao nhất [11]. Điều này đã được thể hiện qua điện thế ăn mòn của mẫu sau tôi đo được vào khoảng  $-0,604$  V.

Ảnh hưởng của chế độ ram ở các nhiệt độ khác nhau đến điện thế ăn mòn của thép trong môi trường nước biển như thể hiện trên Hình 5.



**Hình 4.** Đường cong điện phân cực trong nước biển của các mẫu: (a) mẫu sau ủ; (b) mẫu sau thường hóa; (c) mẫu sau tôi;



**Hình 5.** Đường cong điện phân cực trong nước biển của các mẫu: (a) sau ram tại 200 °C; (b) sau ram tại 300 °C; (c) sau ram tại 400 °C; (d) sau ram tại 500 °C.

Kết quả phân tích trên các đường cong phân cực đối với các mẫu sau ram (Hình 5) cho thấy: trong khoảng nhiệt độ nghiên cứu, độ bền ăn mòn có xu hướng giảm khi tăng nhiệt độ ram. Giá trị điện thế ăn mòn lớn nhất đạt được là của mẫu ram tại 200 °C vào khoảng -0,57 V (Hình 5a) trong khi giá trị này có xu hướng giảm xuống mức thấp nhất là -0,64 V (Hình 5d) khi ram ở 500 °C. Điều này có thể hiểu được là do khi nhiệt độ ram tăng, xu hướng đẩy mạnh việc tiết pha hóa bền ở nhiệt độ cao làm tăng khả năng ăn mòn của thép. Do đó làm giảm giá trị điện thế ăn mòn.

#### 4. Kết luận

Thép AISI1040 có thể cải thiện được mức độ bền ăn mòn trong môi trường nước biển bằng việc áp dụng nhiệt luyện để làm thay đổi tổ chức tế vi. Qua đó thay đổi được điện thế ăn mòn. Điện thế ăn mòn đạt được sau ủ, thường hóa và tôi lần lượt theo thứ tự là -0,77 V, -0,758 V và -0,604 V. Kết quả cho thấy ở chế độ tôi, khả năng chống ăn mòn là tốt hơn chế độ ủ và thường hóa.

Nhiệt độ ram có ảnh hưởng đến độ bền ăn mòn của thép, nhiệt độ ram tăng có xu hướng làm giảm điện thế ăn mòn. Với khoảng nhiệt độ nghiên cứu (200-500) °C, giá trị điện thế ăn mòn nằm trong khoảng -0,57 V đến -0,64 V. Kết quả cho thấy sau ram ở 200 °C cho cấu trúc tế vi có độ bền ăn mòn tốt nhất so với các chế độ ram ở nhiệt độ cao hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] B. M. Gurumurthy, M. C. Gowrishankar, S. Sharma, A. Kini, M. Shettar, and P. Hiremath, "Microstructure authentication on mechanical property of medium carbon Low alloy duplex steels," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 5105-5111, 2020.
- [2] S. O. Seidu and B. J. Kutelu, "Effect of Heat Treatments on Corrosion of Welded Low-Carbon Steel in Acid and Salt Environments," *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 95-100, 2013.
- [3] M. A. Adnan, K. E. Kee, P. B. Raja, M. C. Ismail, and S. Kakooei, "Influence of Heat Treatment on the Corrosion of Carbon Steel in Environment Containing Carbon Dioxide and Acetic Acid," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 370, 2018, Art. no. 012039.
- [4] G. I. Alsarraj and E. A. Basheer, "Effect of Heat Treatments on the Corrosion Resistance of Carbon Steel Using Salt Water," *International Journal on Engineering, Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 34-40, 2022.
- [5] D. Prabhu, J. Jomy, and P. R. Prabhu, "Influence of Different Heat Treatment Temperatures on the Microstructure and Corrosion Behaviour of Dual-Phase EN8 Steel in 0.5 M Sulphuric Acid Solution," *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, vol. 8, no. 88, pp. 1-11, 2022.
- [6] A. Wojtacha, M. Kciuk, and M. Opiela, "Effect of Heat Treatment Conditions on Corrosion Resistance of 0.28C-1.4Mn-0.3Si-0.26Cr Steel with Nb, Ti, and V Microadditions," *Materials*, vol. 14, no. 12, pp. 1-14, 2021.
- [7] S. W. Yap, N. Johari, S. A. Mazlan, S. N. A. S. Ahmad, R. Arifin, N. A. Hassan, and M. A. F. Johari, "Superhydrophobic zinc oxide/epoxy coating prepared by a one-step approach for corrosion protection of carbon steel," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 25, pp. 5751-5766, 2023.
- [8] J. Bedmar, S. G. Rodríguez, M. Roldán, B. Torres, and J. Rams, "Effects of the heat treatment on the microstructure and corrosion behavior of 316 L stainless steel manufactured by Laser Powder Bed Fusion," *Corrosion Science*, vol. 209, 2022, Art. no. 110777.
- [9] S. L. Lawal, S. A. Afolalu, T. C. Jen, and E. T. Akinlabi, "Overview of the impact of heat treatment methods on corrosion performance of metals and alloys," *E3S Web of Conferences*, vol. 390, 2023, Art. no. 05011.
- [10] D. Aryanto, T. Sudiro, and A. S. Wismogroho, "Correlations between Structural and Hardness of Fe-50%Al Coating Prepared by Mechanical Alloying," *Journal of Technical Engineering: Piston*, vol. 1, no. 2, pp 1-6, 2018.
- [11] D. Clover, B. Kinsella, B. Pejcic, and R. D. Marco, "The influence of microstructure on the corrosion rate of various carbon steels," *Journal of Applied Electrochemistry*, vol. 35, pp. 139-149, 2005.