

SO SÁNH TÍNH CHẤT LỚP PHỦ ĐIỆN HÓA PANI VÀ CU VỚI VAI TRÒ BẢO VỆ THÉP KẾT CẤU AH36 KHỎI ĂN MÒN TRONG NƯỚC BIỂN NHÂN TẠO

NGUYỄN VĂN CHI ⁽¹⁾, CAO NHẬT LINH ⁽¹⁾, LÊ HỒNG QUÂN ⁽¹⁾, NÔNG QUỐC QUẢNG ⁽¹⁾,
ĐỒNG VĂN KIÊN ⁽¹⁾, NGUYỄN ĐỨC ANH ⁽¹⁾, NGUYỄN VĂN HÒA ⁽²⁾

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thép hợp kim kết cấu được ứng dụng rộng rãi trong môi trường nước biển như thân vỏ tàu, các ống dẫn dầu, trụ cột cầu và các kết cấu ngoài khơi khác... thường bị ăn mòn và có tỷ lệ sự cố nghiêm trọng, chi phí ước tính đến khoảng 3% GDP toàn cầu, dao động từ 1 đến 5% GNP cho bất kỳ quốc gia nào [1-3]. Tác động của ăn mòn còn liên quan đến an toàn và thiệt hại về tính mạng. Trong số các loại thép kết cấu, AH36 là mác thép được ứng dụng khá phổ biến cho các mục đích nêu trên [4].

Trong số lớp phủ bảo vệ thép khỏi ăn mòn, polymer dẫn điện được áp dụng như là lớp phủ ức chế ăn mòn nhờ khả năng hoạt động oxy hóa khử của chúng [5-7]. Lớp màng polyanilin (PANI - một loại polyme dẫn điện phổ biến) có thể bảo vệ kim loại khỏi ăn mòn dựa trên một hoặc vài khía cạnh sau: (1) tạo ra rào cản ngăn cách các ion xâm thực vào nền; (2) tạo ra lớp màng thụ động tại giao diện lớp phủ/kim loại vì polyme dẫn điện có tính hoạt hóa điện có thể kích hoạt hoạt động xúc tác để tạo thành lớp thụ động trên kim loại; (3) nâng thế ăn mòn của vật liệu tới giá trị cao hơn để giảm động học ăn mòn nhờ trong đó chứa các nhóm phân cực; và (4) phân tán điện tích trên bề mặt được phủ tránh sự hình thành các vùng anod hoặc catod cục bộ thường tạo ra sự ăn mòn [5,8-11]. Bên cạnh đó, đồng (Cu) là một kim loại thụ động được đánh giá có độ bền cao trong môi trường trung tính chứa Cl^- [12-14]. Lớp mạ điện hóa đồng trên bề mặt thép cũng được báo cáo có độ bám dính cao, đồng đều và dễ kiểm soát [12-14]. Điều này được thể hiện ở chỗ nó kết hợp nhiều đặc trưng độc đáo như: Độ dẫn nhiệt cao ($394 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$), điện trở suất thấp ($16,78 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$), độ uốn khả dĩ cao, độ dẻo tốt, màu sắc hấp dẫn, khả năng tái chế và đặc tính chống ăn mòn hợp lý [15,16]. Điều này được giải thích là do Cu^+ được hình thành ở dạng các ion phức (ví dụ: CuCl_2^-) ổn định nhiệt động trong nước. Bề mặt đồng trong môi trường chứa Cl^- (ví dụ như nước biển) cũng dễ tạo lớp màng thụ động Cu_2O giúp bảo vệ cho lớp kim loại bên trong khỏi bị ăn mòn [12,17].

Bài báo trình bày kết quả đánh giá so sánh một số tính chất của lớp phủ PANI và lớp mạ đồng được tạo cùng bằng phương pháp điện hóa như là những đối tượng bảo vệ thép kết cấu đóng tàu AH36 khỏi ăn mòn trong nước biển nhân tạo.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu, hóa chất

Acid oxalic ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 98%), anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$, 99 %), xút (NaOH , $\geq 97\%$), đồng sulphat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\geq 98\%$), EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\geq 95\%$), hexamin ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$, $\geq 99\%$), acid hydrochloric (HCl , 37%). Tất cả các hóa chất đều được mua từ hãng Sigma-Aldrich.

Thép AH36 (50×70×3 mm) được chuẩn bị làm mẫu thử như Bảng 1. Mẫu được tẩy cơ học bề mặt bằng giấy nhám SiC, rửa sạch trong bể siêu âm và rửa lại bằng nước cất. Sau đó mẫu được ngâm trong dung dịch acid loãng HCl 0,5 M và hexamine trong khoảng 30 phút. Mẫu được rửa sạch bằng nước cất, sấy khô ở điều kiện phòng rồi bảo quản trong tủ hút ẩm trước khi tạo lớp phủ.

Bảng 1. Thành phần nguyên của thép đóng tàu AH36, % max (Fe còn lại):

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo	P	S	Nb	Ti	Al
0,180	0,500	0,900	0,200	0,050	0,400	0,080	0,350	0,035	0,020	0,020	0,015

2.2. Thiết bị

Máy điện hóa AutoLab PGSTAT 204N được sử dụng để tạo các lớp phủ PANI và Cu. Hệ đo 3 điện cực: Điện cực đối là tấm platin 8x8 mm; Điện cực so sánh là Ag/AgCl trong KCl bão hòa và điện cực làm việc là mẫu thép AH36 để mạ, phủ.

2.3. Chế tạo các lớp phủ

PANI được polymer điện hóa trên bề mặt mẫu thép trong dung dịch chứa acid oxalic 0,5 M và anilin 0,1 M. Lớp phủ được chế tạo bằng phương pháp quét thế vòng (cyclic voltammetry - CV) trong khoảng thế từ -0,5 đến 1,6 V ở tốc độ quét thế 10 mV/s với số vòng lần lượt là 3, 5 và 8 (ký hiệu tương ứng là PANI-1, PANI-2 và PANI-3) (Hình 1a).

Lớp mạ đồng được tạo trên bề mặt mẫu thép bằng kỹ thuật dòng-thời gian (chronoamperometry - CA) với điện thế áp dụng là -1,1 V trong dung dịch chứa NaOH 0,3 M, EDTA 0,15 M và CuSO₄ 0,02 M tại pH 8 trong thời gian 180, 360 và 720 giây (ký hiệu lần lượt là Cu-1, Cu-2 và Cu-3) (Hình 2b).

Các mẫu sau đó được rửa bằng nước cất, sấy khô ở nhiệt độ khoảng 40°C và lưu trữ trong tủ hút ẩm để tiến hành các nghiên cứu tiếp theo.

2.4. Nghiên cứu tính chất các lớp phủ

Cấu trúc hóa học của lớp phủ PANI được nghiên cứu bằng phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR, Nicolet iS10, Thermo Scientific) với dải số sóng từ 500 đến 4000 cm⁻¹ tại độ phân giải 16 cm⁻¹ với 32 vòng quét. Lớp phủ PANI được tách khỏi mẫu, nghiền mịn sau đó trộn với chất thử kali bromid để tiến hành tạo màng rồi đưa vào thiết bị để đo.

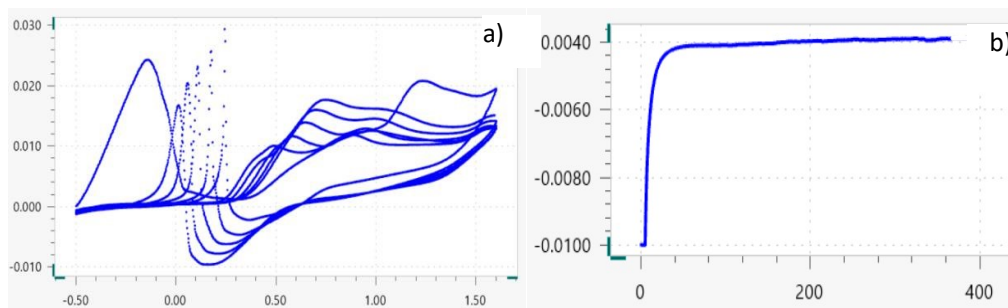
Hình thái bề mặt, thành phần, cấu trúc tinh thể của lớp phủ được xác định bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM, Hitachi, S-4800), giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD, PANalytical, X'Pert-PRO MPD) và phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS).

Tính chất điện hóa của các lớp phủ được đánh giá trong nước biển nhân tạo được chuẩn bị theo ASTM D 1141 - 98 (2003) bằng thiết bị AutoLab PGSTAT 204N với cùng hệ điện cực như quá trình tạo lớp phủ, diện tích đánh giá 3,46 cm². Các thông số điện hóa được xác định bằng phần mềm Nova 2.0 đồng bộ với thiết bị.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

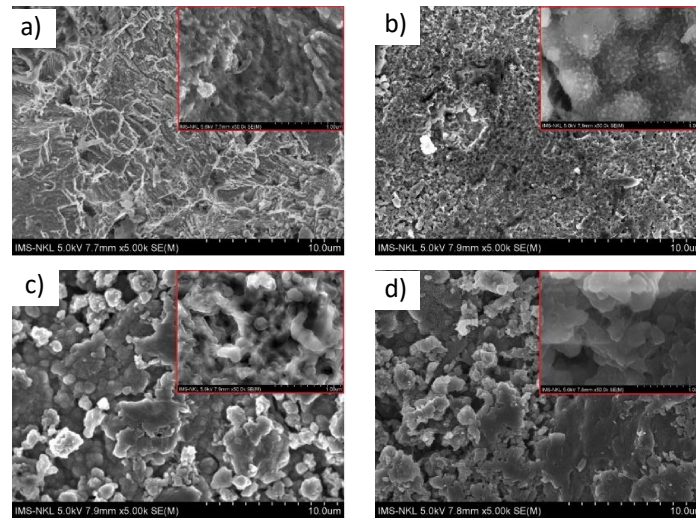
3.1. Hình thái học lớp màng PANI và Cu trên thép AH36

Đường CV đại diện của quá trình polime điện hóa lớp phủ PANI và mạ đồng thể hiện trên Hình 1. Ở Hình 1a, theo chiều thuận ở vòng 1, lúc đầu dòng điện tăng nhanh theo chiều tăng của thế điện cực, điều này có thể được giải thích do hiện tượng tan của điện cực thép. Sau đó đường cong đi xuống, ổn định chứng tỏ acid oxalic đã làm thụ động bề mặt. Ở điện thế khoảng 1,25 V, xuất hiện 1 đỉnh anot có thể gán cho việc xuất hiện các radical. Đến chiều quét ngược, dòng điện giảm theo chiều giảm của điện thế và hình thành các đỉnh catot. Tại đây, các radical liên kết để tạo thành các oligome. Ở các vòng tiếp theo, chỉ xuất hiện các đỉnh phía trên (tương ứng với quá trình oxy hóa) và các đỉnh phía dưới (tương ứng với quá trình khử). Sự xuất hiện của các đỉnh oxy hóa khử từ trong các vòng CV (Hình 1a) nằm trong khoảng từ 0,0 đến 0,3 chứng tỏ có phản ứng polyme hóa xảy ra để tạo PANI chủ yếu ở dạng bazơ emeraldin - trạng thái oxy hóa của PANI được đánh giá có khả năng bảo vệ ăn mòn tốt nhất. Còn Hình 1b cho thấy, điện thế điện cực tăng rất nhanh trong khoảng 50 giây đầu sau đó tương đối ổn định.

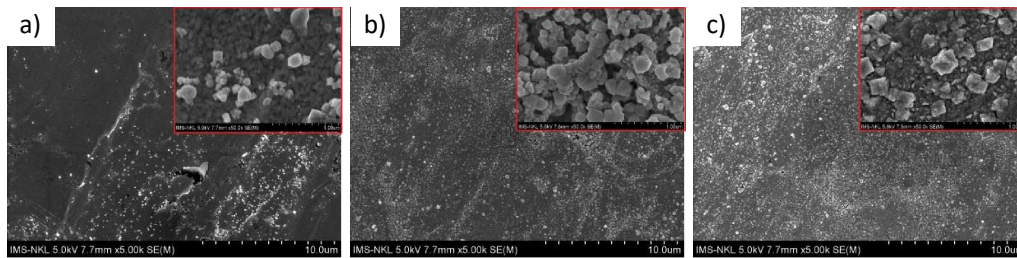


Hình 1. Đường CV của quá trình mạ điện hóa lớp phủ PANI trên nền thép AH36 với 5 vòng (a) và đường cường độ dòng-thời gian khi phủ lớp Cu trong thời gian 360 giây (b)

Ảnh chụp bề mặt các lớp phủ PANI với số vòng khác nhau và mạ Cu với các thời gian khác nhau thể hiện trên Hình 2 và Hình 3. Quan sát kết quả cho thấy rằng, hình thái bề mặt các lớp phủ phụ thuộc nhiều vào thời gian điện hóa. Đối với lớp phủ PANI, khi quét với 3 vòng (Hình 2b) thì hình thái bề mặt hầu như không có nhiều thay đổi so với nền (Hình 2a), chỉ ở chế độ phóng đại rất cao mới thấy được sự hình thành lớp phủ rất mỏng, còn có nhiều khoảng trống (Hình 2a,b). Các khoảng trống này có thể tạo ra con đường dẫn ẩm, ion xâm thực và gây ra sự ăn mòn do thép tiếp xúc trực tiếp với môi trường bên ngoài. Lớp phủ dày hơn ở 5 vòng quét (Hình 2c) và phủ kín toàn bộ bề mặt ở 8 vòng quét (Hình 2d). Hình 2c,d cũng cho thấy cấu trúc đặc trưng của lớp phủ PANI có dạng vô định hình, cấu trúc rỗ xốp [7, 18]. Sự hình thành lớp màng này cho phép dự đoán khả năng tạo ra cơ chế bảo vệ barie cũng như bảo vệ anốt [10, 19]. Kết quả hình thành lớp mạ Cu cũng tương tự. Ban đầu là các hạt Cu rời rạc kết tụ trên bề mặt mẫu nền (Hình 2a so với Hình 1a) sau đó dần phủ kín trên toàn bề mặt (Hình 2b,c) [20].

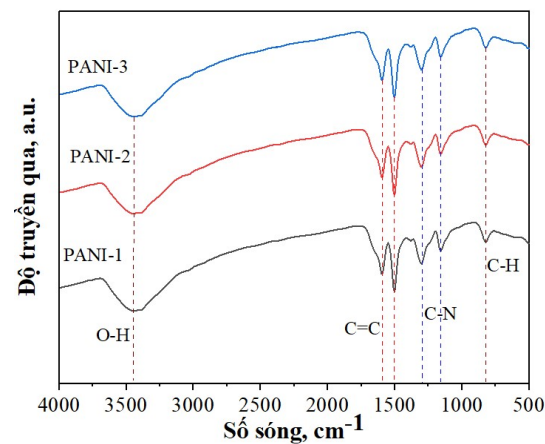


Hình 2. Ảnh SEM bề mặt thép AH36 không được phủ (a) và được phủ PANI với số vòng quét là 3 (b), 5 (c) và 8 (d)



Hình 3. Ảnh SEM bề mặt thép AH36 được phủ Cu với số thời gian mạ là 180s (a), 360s (b) và 720s (c)

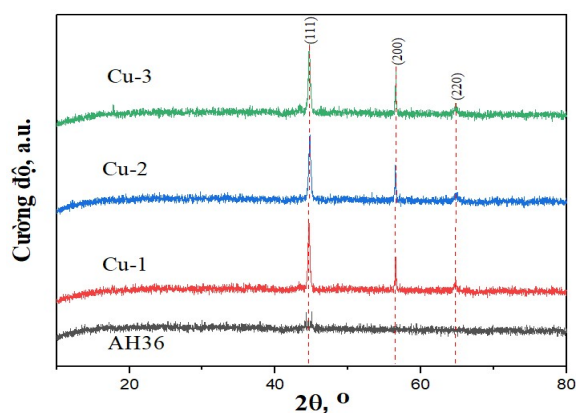
3.2. Đặc trưng tính chất lớp màng PANI và Cu trên thép AH36



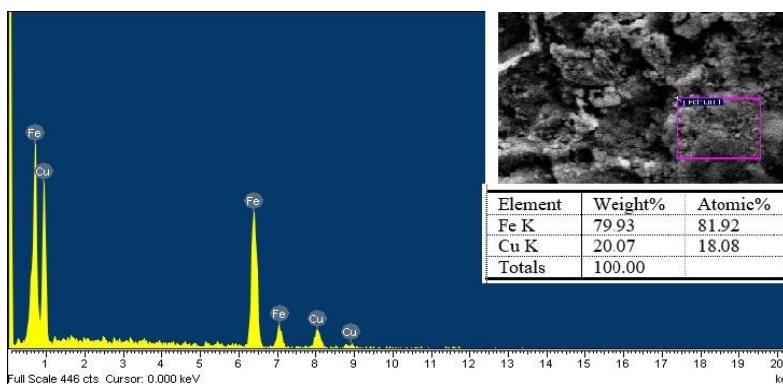
Hình 4. Phổ hồng ngoại của thép AH36 được phủ PANI với số vòng lần lượt là 3(–), 5(–) và 8(–)

Phổ hồng ngoại của lớp phủ PANI với số vòng khác nhau thể hiện cấu trúc hóa học của lớp phủ PANI trên Hình 4. Các pic ở số sóng 1594 and 1505 cm^{-1} (đặc trưng cho sự có mặt của liên kết $\text{C}=\text{C}$ trong vòng benzenoid và quinoid. Các pic tại 1304 và 1145 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết $\text{C}-\text{N}$ trong nhóm amin thứ cấp. Hai pic tại 1234 và 805 cm^{-1} phù hợp với liên kết $\text{C}-\text{H}$ có trong PANI. Ngoài ra, một pic rộng tại 3442 cm^{-1} có thể đại diện cho liên kết $\text{O}-\text{H}$.

Giản đồ nhiễu xạ tia X của lớp mạ Cu trên nền thép AH36 thể hiện trên Hình 5. Đối với nền (Hình 5a), có một vài pic ở góc 2θ là $44,3^\circ$ đặc trưng cho Fe có trong thép kết cấu AH36 (JCPDS file No. 00-006-0696). Hình 5b-d có các pic tương tự nhau ở các góc 2θ lần lượt là $44,8^\circ$; $56,7^\circ$ và $64,9^\circ$. Sự đồng nhất về giản đồ này cho thấy ngay sau 180 giây, Cu đã được mạ trên bề mặt của mẫu thép. Các giá trị 2θ này cũng chứng tỏ cho sự hình thành lớp mạ đồng (JCPDS file No. 03-065-9743) với các mặt phẳng mạng lần lượt là (111), (200) và (220).



Hình 5. Giản đồ XRD của AH36 không được phủ và đã được phủ Cu với các thời gian mạ lần lượt là 180s, 360s và 720s

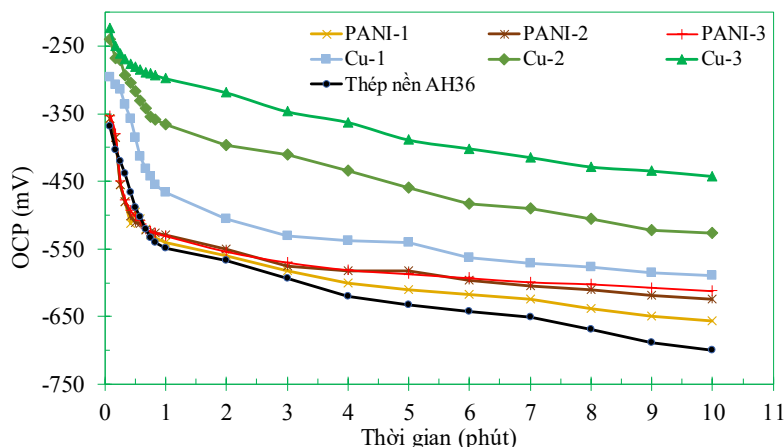


Hình 6. Phổ nhiễu xạ năng lượng tia X của lớp phủ Cu/AH36 khi mạ trong 360s

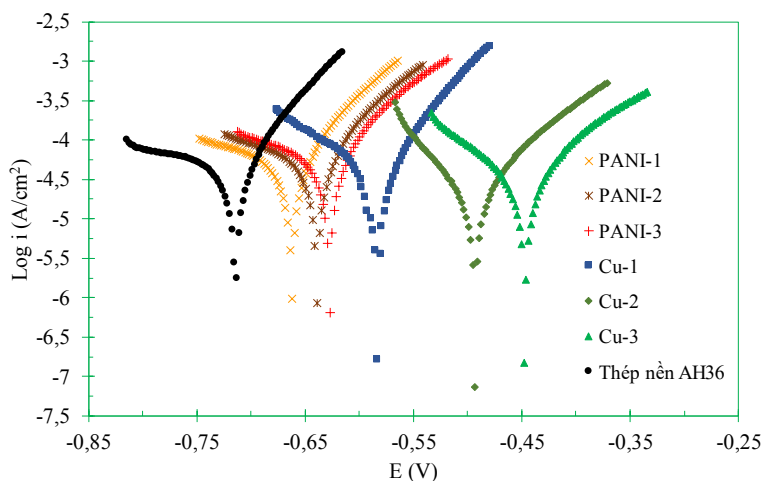
Phổ tán xạ năng lượng EDS trên Hình 6 xác nhận thêm sự hình thành lớp mạ Cu trên thép AH36 với nguyên tố chính xác định được là Cu và Fe. Tỷ lệ Fe/Cu khá cao cũng cho thấy lớp mạ Cu này là rất mỏng.

3.3. Đặc trưng điện hóa và bảo vệ thép khỏi ăn mòn

Biến thiên thế mạch hở và đường cong phân cực của các lớp phủ PANI, Cu thể hiện trên Hình 7, 8.



Hình 7. Biến thiên thế mạch hở các lớp phủ trong 10 phút đầu tiên trong môi trường nước biển nhân tạo.



Hình 8. Đường cong phân cực các lớp phủ sau 10 phút trong môi trường nước biển nhân tạo

Biến thiên thế mạch hở trên Hình 7 cho thấy, với cả mẫu nền và các lớp phủ, điện thế dịch chuyển rất nhanh về phía âm hơn trong vòng 1 phút đầu sau đó chậm dần và có xu hướng ổn định. Không có sự khác biệt nhiều giữa các lớp phủ PANI so với nền nhưng lại thấy sự khác biệt rõ nét với các lớp mạ Cu. Mặc dù vậy, điện thế mạch hở của các mẫu được phủ có giá trị dương hơn cho phép giả thiết rằng xu hướng trao đổi điện tích ở mức độ giảm hơn so với thép nền. Các thông số điện hóa ngoại suy từ đường cong phân cực Hình 8 trình bày trong Bảng 2. Giá trị điện trở phân cực

tăng và mật độ dòng ăn mòn giảm đáng kể khi các lớp phủ được hình thành dần trên bề mặt thép AH36. Lấy số liệu mật độ dòng ăn mòn để đánh giá thì đối với lớp phủ PANI hiệu quả bảo vệ ăn mòn tăng lần lượt là khoảng 10,5 %; 28,5 % và 31,9 %; tương tự là khoảng 46,5 %; 58,7 % và 66,9 % đối với lớp mạ Cu. Kết quả này chứng tỏ khi thời gian mạ điện hóa tăng lên thì hiệu quả bảo vệ ăn mòn cũng tăng theo. Trong chế độ thực nghiệm này, hiệu quả bảo vệ ăn mòn của Cu cao hơn của PANI. Điều này có thể xuất phát từ đặc tính bên trong môi trường trung tính của đồng [12,14,17] và mức độ rỗ xốp của lớp phủ PANI đã hạn chế cơ chế bảo vệ barie [5].

Bảng 2. Thông số điện hóa ăn mòn ngoại suy từ Hình 7

Thông số	Nền AH36	PANI-1	PANI-2	PANI-3	Cu - 1	Cu - 2	Cu - 3
Thế ăn mòn (mV)	-713	-660	-635	-622	-589	-528	-447
Mật độ dòng ăn mòn ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	17,2	15,4	12,3	11,7	9,2	7,1	5,7
Điện trở phân cực (Ω)	362	390	457	530	607	652	697
Độ dốc anot β_a (mV/dec)	393	218	209	205	177	129	115
Độ dốc catot β_c (mV/dec)	-66	-71	-67	-68	-64	-65	-62

4. KẾT LUẬN

- Lớp phủ PANI và lớp mạ Cu đã được chế tạo trên bề mặt thép kết cấu AH36. Lớp phủ PANI với các thành phần liên kết phức tạp đặc trưng cho cấu trúc đa dạng về trạng thái oxy hóa khử đồng thời tạo hình thái vô định hình, cấu trúc rỗ xốp trên bề mặt. Trong khi đó, lớp mạ Cu có cấu trúc hạt, xếp lớp dày đặc và tinh khiết trên nền thép.

- Với lớp phủ PANI, hiệu quả bảo vệ thép AH36 khỏi ăn mòn đạt đến 31,9 % với 8 vòng quét, trong khi lớp mạ Cu trên bề mặt thép trong 720 giây đạt hiệu quả tới 66,9%. Lớp phủ PANI bảo vệ ăn mòn thép một cách đáng kể nhờ đặc tính nội tại nhưng vẫn không hiệu quả bằng phương pháp mạ Cu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. R. E. Melchers, *Chapter 6. Principles of Marine Corrosion*, in *Springer Handbook of Ocean Engineering*, Springer, 2016, p. 111-126. DOI: 10.1007/978-3-319-16649-0_6
2. J. Bhandari, F. Khan, R. Abbassi, V. Garaniya, and R. Ojeda, *Modelling of pitting corrosion in marine and offshore steel structures - A technical review*, *J. Loss Prev. Process Ind.*, 2015, **37**:39-62. DOI: 10.1016/j.jlp.2015.06.008
3. M. R. Dhanak and N. I. Xiros, *Springer handbook of ocean engineering*, Springer Handb. Ocean Eng., 2016, p.1-1345. DOI: 10.1007/978-3-319-16649-0

4. Y. A. Lu, Y.; Ding, Y.; Wang, M.; Yang, L.; Wang, *Environmentally friendly laser cleaning method to remove oceanic micro-biofoulings from AH36 steel substrate and corrosion*, Prot. J. Clean. Prod., 2021, **314**:127961-127972. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127961
5. G. Inzelt, *Corrosion protection of metals by intrinsically conducting polymers*, 2016, **20**(5).
6. Y. Ma, B. Fan, H. Liu, G. Fan, H. Hao, and B. Yang, *Enhanced corrosion inhibition of aniline derivatives electropolymerized coatings on copper: Preparation, characterization and mechanism modeling*, Appl. Surf. Sci., 2020, **514**:146086. DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.146086
7. P. Yang, G.; Liu, F.; Hou, N.; Peng, S.; He, C.; Fang, *Preparation of one-dimensional polyaniline nanotubes as anticorrosion coatings*, Materials (Basel), 2022, **15**:3192-3202. DOI: 10.3390/ma15093192
8. J. Aguirre *et al.*, *Study of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) as a coating for mitigation of biocorrosion of AISI 304 stainless steel in natural seawater*, Prog. Org. Coatings, 2017, **113**:175-184. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2017.09.009
9. Y. Zhang *et al.*, *A study on corrosion protection of different polyaniline coatings for mild steel*, Prog. Org. Coatings, 2017, **111**:240-247. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2017.06.015
10. L. Jiang, J. A. Syed, Y. Gao, H. Lu, and X. Meng, *Electrodeposition of Ni(OH)₂ reinforced polyaniline coating for corrosion protection of 304 stainless steel*, Appl. Surf. Sci., 2018, **440**:1011-1021. DOI: 10.1016/j.apsusc.2018.01.145
11. D. Deshpande, P.P.; Jadhav, N.G.; Gelling, V.J.; Sazou, *Conducting polymers for corrosion protection: A Review.*, J. Coat. Technol. Res., 2014, **11**:473-494. DOI: 10.1007/s11998-014-9586-7
12. G. Kear, B. D. Barker, and F. C. Walsh, *Electrochemical corrosion of unalloyed copper in chloride media--a critical review*, Corros. Sci., 2004, **46**(1):109-135. DOI: 10.1016/S0010-938X(02)00257-3
13. J. Elguindi, S. Moffitt, H. Hasman, C. Andrade, S. Raghavan, and C. Rensing, *Metallic copper corrosion rates, moisture content, and growth medium influence survival of copper-ion resistant bacteria*, Appl Microbiol Biotechnol, 2011, **89**(6):1963-1970. DOI: 10.1016/S0010-938X(02)00257-3
14. Y. Raghupathy, A. Kamboj, M. Y. Rekha, N. P. Narasimha Rao, and C. Srivastava, *Copper-graphene oxide composite coatings for corrosion protection of mild steel in 3.5% NaCl*, Thin Solid Films, 2017, **636**:107-115. DOI: 10.1016/j.tsf.2017.05.042
15. A. Robin, J. C. P. De Santana, and A. F. Sartori, *Characterization of copper-silicon nitride composite electrocoatings*, J. Appl. Electrochem., 2010, **40**(3):507-513. DOI: 10.1007/s10800-009-0022-0

16. A. Ibañez and E. Fatás, *Mechanical and structural properties of electrodeposited copper and their relation with the electrodeposition parameters*, Surf. Coatings Technol., 2005, **191**(1):7-16. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2004.05.001
17. F. Arjmand and A. Adriaens, *Influence of pH and chloride concentration on the corrosion behavior of unalloyed copper in NaCl solution: A comparative study between the micro and macro scales*, Materials (Basel)., 2012, **5**(12):2439-2464. Doi: 10.3390/ma5122439
18. A. A. Ganash, F. M. Al-Nowaiser, S. A. Al-Thabaiti, and A. A. Hermas, *Comparison study for passivation of stainless steel by coating with polyaniline from two different acids*, Prog. Org. Coatings, 2011, **72**(3):480-485. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2011.06.006
19. H. Lu, Y. Zhou, S. Vongehr, K. Hu, and X. Meng, *Electropolymerization of PANI coating in nitric acid for corrosion protection of 430 SS*, Synthetic Metals, **161**(13-14):1368-1376, 2011. DOI: 10.1016/j.synthmet.2011.05.003
20. N. N. C. Isa, Y. Mohd, M. H. M. Zaki, and S. A. S. Mohamad, *Electrodeposition and characterization of copper coating on stainless steel substrate from alkaline copper solution containing ethylenediaminetetraacetate (EDTA)*, J. Mech. Eng., 2017, **2**(1):127-138.

SUMMARY

COMPARATIVE PROPERTIES OF PANI AND Cu ELECTROCHEMICAL COATING TO PROTECT STRUCTURAL STEEL AH36 FROM CORROSION IN ARTIFICIAL SEAWATER

Fabrication of PANI coating and Cu coating on the surface of AH36 shipbuilding structural steel was carried out by electrochemical method. PANI was electropolymerized onto AH36 surface in an aqueous solution of 0.5 M oxalic acid containing 0.1 M anilines. The process was conducted by cyclic voltammetry (CV) under a potential window of $-0.5 \div 1.6$ V at a scan rate of 10 mV/s with scans of 3, 5 and 8, respectively. The electrochemical deposition of Cu particles onto the AH36 surface was performed using chronoamperometry (CA) in a solution containing 0.3 M NaOH, 0.15 M EDTA, and 0.02 M CuSO₄ at pH 8 and a constant applied potential of -1.1 V for 180s, 360s and 720s, respectively. SEM, FT-IR showed that the PANI coating with complex binding components characterizes the structure with diverse redox states while creating an amorphous, porous structure on the surface. Meanwhile, SEM, XRD, EDS spectra showed that the Cu plating has a particle structure, densely layered and pure on the steel substrate. The OCP trend and the polarization curve showed that both coatings protect the steel from corrosion by shift the potential of the coated material to a value where the kinetics of corrosion of the underlying metal are lowered. Under the survey conditions, the PANI coating has a corrosion protection efficiency of up to about 31.9% while the Cu coating -66.9%.

Keywords: AH36 structural steel, PANI coating, Cu plating, electrodepositing, thép kết cấu AH36, lớp phủ PANI, mạ Cu, mạ điện hóa.

Nhận bài ngày 10 tháng 10 năm 2022

Phản biện xong ngày 02 tháng 3 năm 2023

Hoàn thiện ngày 17 tháng 3 năm 2023

⁽¹⁾ Chi nhánh Ven Biển, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

⁽²⁾ Trung tâm Thí nghiệm Thực hành, Đại học Nha Trang

Liên hệ: Nguyễn Văn Chi

Chi nhánh Ven Biển, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

Số 30 Nguyễn Thiện Thuật, Nha Trang, Khánh Hòa

Điện thoại: 0987042345; Email: nguyenvanchirvtc@gmail.com