

Mối quan hệ giữa khả năng bảo vệ chống ăn mòn và chịu bong tróc catốt của màng sơn epoxy-phốt phát kẽm

Phạm Đức Linh¹, Trịnh Anh Trúc¹, Thái Thu Thủy¹, Vũ Kế Oánh¹, Nguyễn Thùy Dương¹, Phạm Thu Thùy¹, Đàm Xuân Thắng², Phạm Gia Vũ^{1*}

¹Viện Kỹ thuật nhiệt đới – Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

TỪ KHOÁ

Sơn epoxy
Phốt phát kẽm
Bong tróc catốt
Chống ăn mòn

TÓM TẮT

Màng sơn epoxy với tỉ lệ phốt phát kẽm $[Zn_3(PO_4)_2]$ thay đổi từ 0, 10, 20 và 30 % được chế tạo và nghiên cứu độ bám dính ướt, tính chất bảo vệ chống ăn mòn và khả năng chịu bong tróc catốt. Tính chất bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn được khảo sát và đánh giá bằng các phương pháp tổng trở điện hóa và phương pháp thử nghiệm mù muối. Các kết quả nghiên cứu cho thấy rằng tỉ lệ phốt phát kẽm 20 và 30 % làm gia tăng vai trò chống ăn mòn, gia tăng độ bám dính ướt và chống bong tróc do dòng bảo vệ catốt đối với màng sơn epoxy. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng khả năng ức chế chống ăn mòn của phốt phát kẽm có liên quan đến khả năng chống bong tróc catốt do hình thành phức chất làm giảm dòng bảo vệ catốt tại các vị trí khuyết tật của màng sơn.

KEYWORDS

Epoxy coating
Zinc phosphate
Cathodic disbonding
Corrosion resistance

ABSTRACT

Epoxy coating containing zinc phosphate $[Zn_3(PO_4)_2]$ ratios varying from 0, 10, 20 and 30 % were prepared and studied for wet adhesion, anti-corrosion and cathodic disbonding resistance. The coating anti-corrosion properties were investigated and evaluated by Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and salt spray test. The results show that pigment zinc phosphate ratio of 20 % and 30 % improved the anti-corrosion, wet adhesion strength and cathodic disbonding resistance for epoxy coating. The study also showed that the anti-corrosion inhibitory ability of zinc phosphate is related to the resistance to cathodic disbonding due to the formation of complex films that reduce the cathodic protection current at the defect of the coating.

1. Giới thiệu

Bảo vệ catốt là phương pháp hiệu quả, an toàn để bảo vệ chống ăn mòn thép trong môi trường xâm thực. Hầu hết các cấu trúc sắt thép ngầm hoặc nhúng trong nước biển thường sử dụng kết hợp lớp phủ hữu cơ và bảo vệ catốt để chống ăn mòn [1]. Sử dụng các lớp phủ hữu cơ là phương pháp bổ sung lý tưởng cho bảo vệ catốt. Do lớp phủ có điện trở cao, nên dòng catốt áp đặt chỉ tập trung ở các khuyết tật của lớp phủ, nơi lộ ra kim loại nền, và các điểm yếu của lớp phủ. Vì vậy, khi có lớp phủ, dòng điện ngoài cần thiết để bảo vệ sẽ giảm đáng kể, kéo dài tuổi thọ của công trình, nâng cao hiệu quả kinh tế (làm giảm tiêu hao khối lượng anot hy sinh).

Trong trường hợp lớp phủ lý tưởng, không có các khuyết tật thì dung dịch điện ly sẽ không tiếp xúc được với nền kim loại, khi đó thì dòng điện bảo vệ catốt sẽ bằng 0. Trong thực tế, các lớp phủ hữu cơ có thể có các khuyết tật trong quá trình thi công hoặc vận chuyển như các lỗ xốp, vết nứt và các hư hỏng vật lý khác. Quá trình ăn mòn sẽ bắt đầu tập trung ở các khuyết tật, làm bong lớp phủ và thúc đẩy quá trình hư hỏng lớp phủ hữu cơ. Vì vậy để tránh ảnh hưởng của các khuyết tật,

các lớp phủ hữu cơ kết hợp với bảo vệ catốt thường rất dày (trên 300 μm) [2]

Nhược điểm của việc sử dụng kết hợp hai kỹ thuật này là dòng điện bảo vệ catốt làm gây ra sự bong tróc các lớp phủ, tức là sự mất kết dính giữa lớp phủ và nền kim loại do phản ứng catốt diễn ra tại ranh giới giữa lớp phủ và bề mặt kim loại tạo ra khí Hydro và môi trường kiềm. [3]

Có nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến sự phồng rộp cho các lớp phủ ví dụ như điện thế phân cực, nhiệt độ, nồng độ của các cation, nồng độ oxy hòa tan, các loại chất tạo màng, các loại pigment, nồng độ, các chất ức chế ăn mòn, điều kiện gia công và chiều dày lớp phủ. Tính chất che chắn và các pigment ức chế ăn mòn trong lớp phủ là hai yếu tố chính ảnh hưởng đến sự suy giảm độ bám dính và dẫn đến sự phồng rộp của lớp phủ. Sanja Martinez và các cộng sự [4] đã xây dựng phương pháp nghiên cứu và đánh giá nguyên nhân phồng rộp dưới tác động của dòng bảo vệ catốt của lớp phủ epoxy không dung môi ở điều kiện thế bảo vệ catốt trong khoảng -0,8 và -1,1V. Kết quả nghiên cứu cho thấy với chiều dày khoảng 62 μm , điện trở màng khoảng 10³-10⁵ $\Omega.cm^2$ màng chỉ ổn định được khoảng 15 ngày. M. Mahdavian và các cộng sự [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của các phụ gia chống ăn

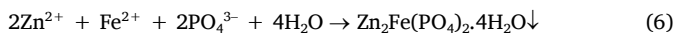
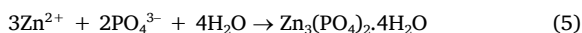
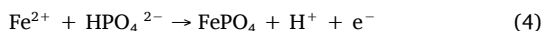
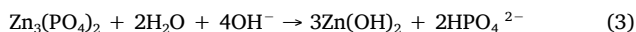
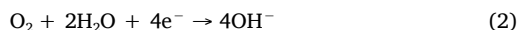
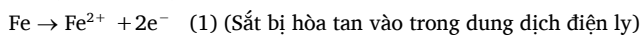
*Liên hệ tác giả:

Nhận ngày 12/04/2023, sửa xong ngày 15/05/2023, chấp nhận đăng 11/06/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2023.486>

mòn trên cơ sở hợp chất azole đến khả năng bong tróc của màng epoxy. Kết quả cho thấy sự có mặt của các hợp chất azole có thể giảm sự bong tróc catốt. Các hợp chất azole hoạt động trên cơ chế làm tăng điện trở của màng và giảm tốc độ phản ứng của dòng bảo vệ catốt do các chất ức chế hấp thụ trên bề mặt của lớp phủ làm giảm độ thấm nước và oxy. R. Naderi [6] đã nghiên cứu vai trò các pigment chống ăn mòn nhôm, kẽm phát ảnh hưởng đến khả năng chống bong tróc catốt của lớp phủ epoxy bằng phương pháp phổ tổng trở điện hóa. So sánh khả năng chống ăn mòn và chống bong tróc catốt cho thấy phát phát kẽm có khả năng bảo vệ chống ăn mòn và chống bong tróc catốt tốt hơn so với nhôm phát phát ở cùng nồng độ khảo sát.

Như vậy, trong điều kiện bảo vệ catốt, tại các vùng khuyết tật của lớp phủ, nền thép được bảo vệ bởi dòng catot. Ảnh hưởng của các tác nhân ức chế ăn mòn được giải phóng vào vùng khuyết tật tạo nên các rào cản, ngăn sự chuyển dịch của các ion, điện tử nên chúng ngăn cản quá trình ăn mòn xảy ra dẫn đến làm giảm các sản phẩm ăn mòn (hydro, môi trường kiềm...) dẫn đến giảm sự phồng rộp của lớp phủ. Cơ chế ức chế ăn mòn thép của Zn₃(PO₄)₂ tạo thành các màng phức có khả năng bịt các lỗ khuyết tật trong màng epoxy trong điều kiện làm việc trong môi trường ăn mòn như sau [7,8]:



Phản ứng (3), (5) và (6) tạo thành các cặn oxit, hydroxit và màng phức đặc xít có tác dụng bịt lỗ ngăn cho quá trình hòa tan sắt (1) và quá trình xâm nhập oxy (2) tiếp tục gây ra phản ứng ăn mòn thép.

Phụ gia Zn₃(PO₄)₂ còn có khả năng làm giảm sự bong tróc và phá hủy lớp phủ do quá trình bảo vệ catốt bằng dòng ngoài gây ra. Cụ thể là phản ứng điện hóa tại catốt làm phát sinh ra anion OH⁻, tạo ra môi trường kiềm tác động đến các nhóm chức của nhựa epoxy gây ra bong tróc màng sơn. Phản ứng (3) và (6) của cation Zn²⁺ với anion OH⁻ giúp làm giảm pH tại vùng khuyết tật bị xâm thực vừa tạo ra kết tủa bịt lỗ khuyết tật giảm yếu tố phá hủy màng, giúp màng nhựa epoxy vẫn giữ được độ bền, không bị bong tróc.

Trong nghiên cứu này nghiên cứu mối quan hệ giữa khả năng ức chế ăn mòn và khả năng chống bong tróc catốt của màng sơn epoxy. Cơ chế chống bong tróc catốt của chất ức chế chống ăn mòn phát phát kẽm được thảo luận.

2. Thử nghiệm

2.1. Hóa chất, nguyên liệu

- Mẫu thép (10 cm × 8 cm × 0,2 cm), với thành phần hóa học (% trọng lượng) của C (0,19), Mn (1,39), S (> 0,005), Si (0,42), Cu (0,04), Cr (0,03), Mo (0,02), Co (0,06) và Fe.

- Bột Fe₂O₃, Cathaycoat™, Trung Quốc
- Bột Zn₃(PO₄)₂, Hàn Quốc.

- Nhựa Epoxy EPON™ Resin YD 128 KUKDO, Hàn Quốc. Độ nhớt 11.500 -13.500 cP, khối lượng phân tử trung bình 184-190g.
- Chất đóng rắn Ancamine 2228 của hãng Evonik. Độ nhớt 450 cP, giá trị amin 20 mgKOH/g. Phân tử lượng trung bình 182g
- Tỷ lệ đóng rắn YD 128/Ancamine 2228 là 2/1.
- Dung môi hữu cơ xylen, butyl axetat công nghiệp.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- *Phương pháp đo tính chất cơ lý*: độ bám dính theo tiêu chuẩn TCVN-2097-77.

- *Phương pháp tổng trở*: nghiên cứu khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn, sử dụng hệ 3 điện cực, điện cực làm việc là tấm thép phủ màng sơn, điện cực so sánh là điện cực calomel bão hòa, điện cực đối là lưới platin. Các phép đo được thực hiện trên máy Autolab PG30 (Hà Lan) tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới.

- *Phương pháp thử nghiệm mù muối*: nghiên cứu khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn theo TC ASTM-B117.

- *phương pháp bóc tách catốt*: nghiên cứu khả năng chống bóc tách ca tốt của màng sơn theo TCVN 9881.

- *Phương pháp tạo màng ly tâm*: tạo ra màng có chiều dày màng sau khi khô khoảng 30 μm để nghiên cứu các tính chất cơ lý và điện hóa.

2.3. Chế tạo mẫu

- Các mẫu sơn được chế tạo bằng phương pháp nghiền bi. Bột Fe₂O₃ và Zn₃(PO₄)₂ được cân tỉ lệ với khối lượng nhựa Epoxy là 1/1, thành phần tỉ lệ bột, ký hiệu các mẫu theo Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần tỉ lệ bột Fe₂O₃ và Zn₃(PO₄)₂ trong sơn epoxy.

STT	Mẫu sơn	Tỉ lệ bột Fe ₂ O ₃ (%)	Tỉ lệ bột Zn ₃ (PO ₄) ₂ (%)
1	M0	100	0
2	M1	90	10
3	M2	80	20
4	M3	70	30

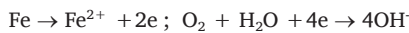
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ phát phát kẽm đến độ bám dính ướt của màng sơn

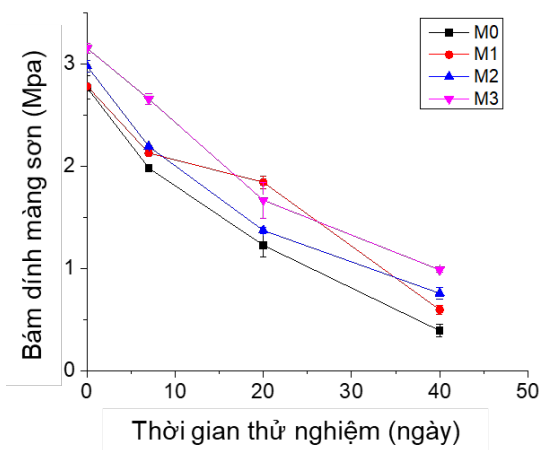
Độ bám dính của màng sơn là thông số rất quan trọng đặc trưng cho độ bền và khả năng chống ăn mòn của màng sơn. Nhìn chung các màng sơn trên cơ sở chất tạo màng hữu cơ khi ngâm trong nước ít nhiều đều bị trương nở. Nước có thể ngấm dần qua màng sơn thông qua các khuyết tật dẫn đến giảm độ bám dính, thậm chí có thể gây ra sự phồng rộp hoặc ăn mòn kim loại. Độ bám dính của màng sơn càng cao thì khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn càng tốt.

Hình 1 là đồ thị biểu diễn mối quan hệ của độ bám dính ướt của màng sơn trên nền thép cacbon theo thời gian ngâm trong nước. Giá trị độ bám dính của các mẫu sơn thay đổi rõ rệt theo thời gian ngâm trong

nước sau 40 ngày. Độ bám dính của mẫu sơn M0 không chứa photphát kẽm có giá trị thấp nhất, sau 40 ngày ngâm trong dung dịch độ bám dính chỉ còn khoảng 0,4 Mpa. Giá trị độ bám dính sau 40 ngày ngâm trong nước của màng sơn chứa photphát kẽm với các tỉ lệ khác nhau M1, M2 và M3 tương ứng là 0,7, 0,9 và 1,2 Mpa. Như vậy với nồng độ photphát kẽm trong khoảng khảo sát, hàm lượng photphát kẽm càng cao thì khả năng duy trì bám dính của màng sơn càng tốt. Nguyên nhân sự suy giảm độ bám dính ở đây có thể là do nước đã ngấm qua màng sơn và đã có phản ứng ăn mòn thép xảy ra tạo ra các sản phẩm phụ của quá trình ăn mòn làm giảm độ bám dính của màng sơn ví dụ tạo ra môi trường kiềm (OH⁻) làm suy giảm các liên kết của nhựa epoxy với nền thép [7]. Nước phản ứng với nền thép và oxy hòa tan theo phản ứng sau:



Mẫu M3 chứa hàm lượng photphát kẽm cao có khả năng ức chế ăn mòn làm chậm quá trình ăn mòn (tạo ra màng phức tại vị trí khuyết tật) tạo ra ít các sản phẩm ăn mòn (OH⁻) hơn nên độ bám dính màng sơn bị suy giảm ít hơn.



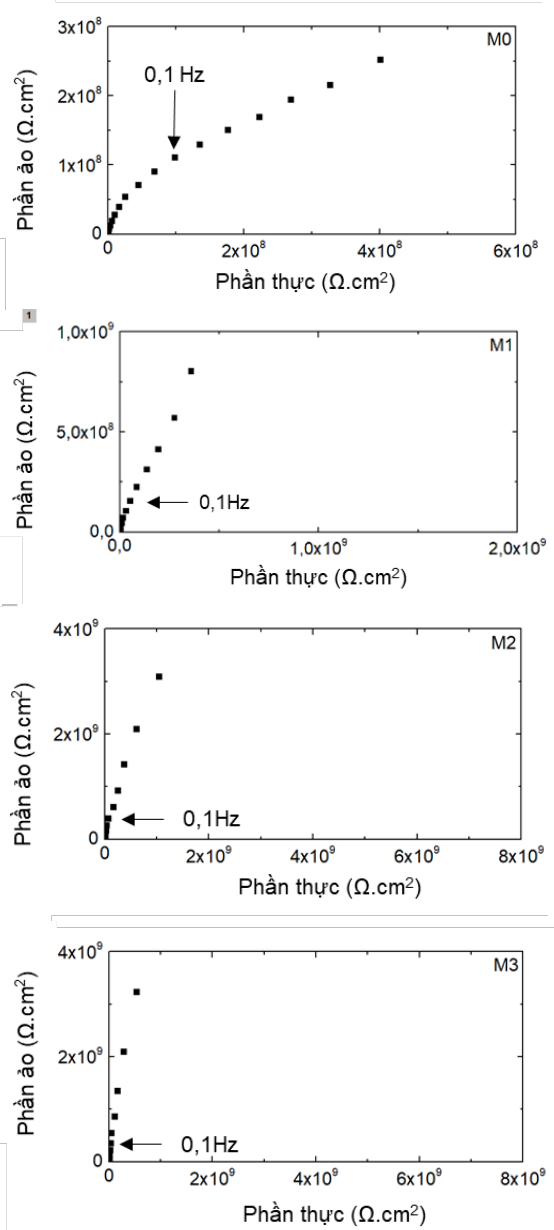
Hình 1. Độ bám dính của màng sơn theo thời gian ngâm trong nước.

3.2. Khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn

3.2.1. Nghiên cứu khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn bằng phương pháp phổ tổng trở điện hóa

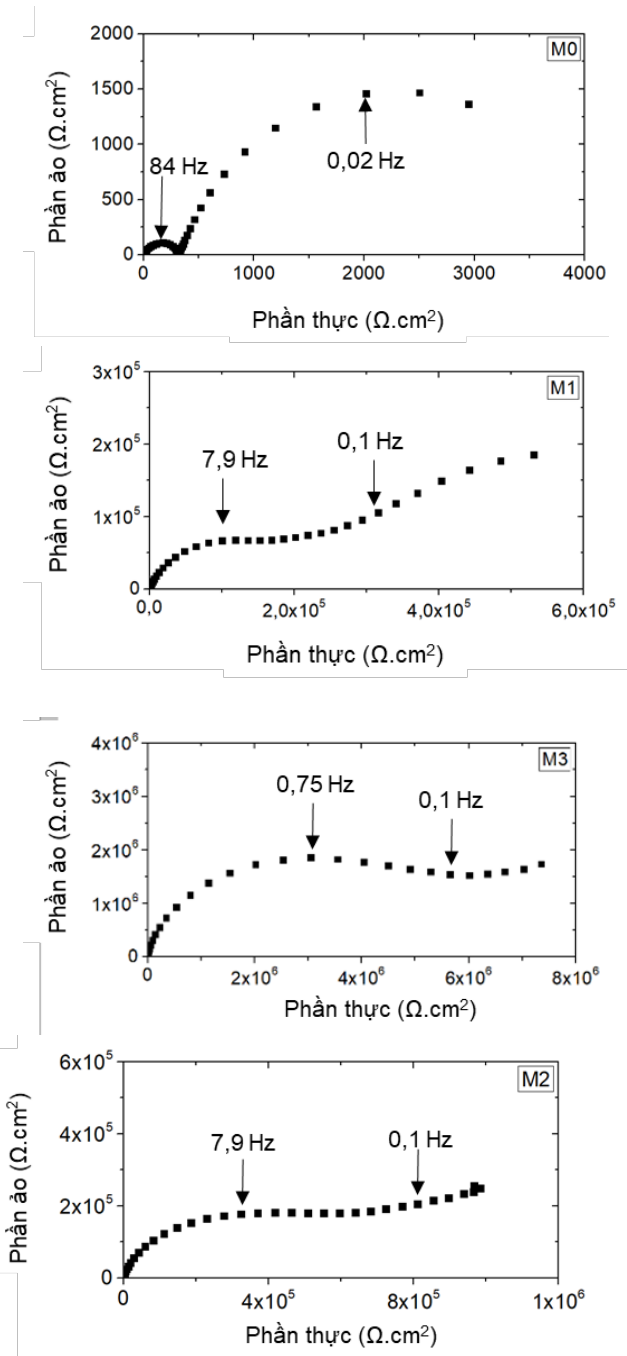
Khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn được đánh giá bằng phương pháp tổng trở điện hóa. Đây là một trong các phương pháp nghiên cứu không phá hủy mẫu để nghiên cứu các quá trình ăn mòn điện hoá xảy ra trên bề mặt phân chia pha màng sơn/kim loại. Đây cũng là phương pháp hiện đại cho kết quả có độ tin cậy cao, có thể xác định được chính xác các thông số của màng sơn như: điện trở màng, điện dung của màng và dự đoán được quá trình ăn mòn.

Hình 2 là phổ tổng trở dạng Nyquist của các màng sơn epoxy và epoxy chứa photphát kẽm với các tỉ lệ khác nhau tương ứng là M0, M1, M2 và M3 sau 1 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3 %.



Hình 2. Phổ tổng trở dạng Nyquist của màng sơn sau 1 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3 %.

Phổ tổng trở của mẫu M0 có dạng 1 cung tròn với giá trị tổng trở xác định được khoảng $6 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$. Điều này chứng tỏ rằng chất điện ly đã bắt đầu ngấm đến bề mặt kim loại thông qua các lỗ hoặc khuyết tật trên bề mặt màng. Phổ tổng trở của các mẫu M1, M2, M3 có dạng đường thẳng, chưa hình thành một cung xác định, điều này cho thấy các màng sơn M1, M2 và M3 chứa phụ gia photphát kẽm vẫn có khả năng ngăn cách tốt. Điều này có thể là do các phụ gia photphát kẽm đã phát huy vai trò ức chế, tạo ra các phản ứng bịt lỗ các khuyết tật của màng sơn làm cho chất điện ly vẫn chưa ngấm qua màng sơn đến bề mặt nền thép.

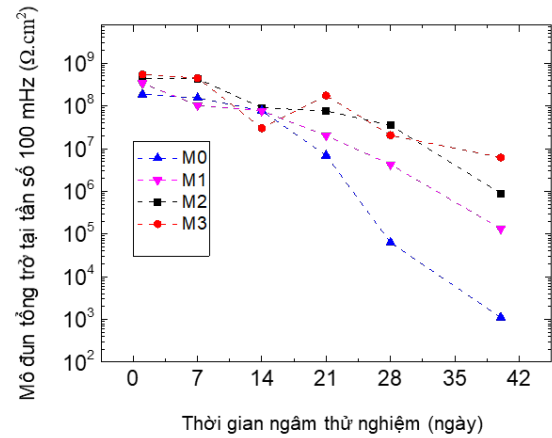


Hình 3. Phổ tổng trở dạng Nyquist của màng sơn sau 40 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3 %.

Hình 3 là phổ tổng trở của màng sơn M0, M1, M2 và M3 sau 40 ngày thử nghiệm ngâm trong dung dịch NaCl 3 %. Sau 40 ngày phổ tổng trở của các màng sơn đã có hình dạng và giá trị tổng trở khác nhau.

Phổ tổng trở của mẫu sơn epoxy M0 đã có dạng 2 cung, cung thứ nhất ở tần số cao đặc trưng cho tính chất của màng, cung thứ 2 ở tần số thấp đặc trưng cho các quá trình ăn xảy ra trên bề mặt kim loại. Như vậy ở mẫu M0 quá trình ăn mòn thép đã xảy ra. Mẫu M1 cung thứ hai bắt đầu có dạng đoạn thẳng đặc trưng cho quá trình khuếch tán qua

lớp kép. Vận tốc của phản ứng điện hóa lúc này được quyết định bởi quá trình khuếch tán của các chất điện ly. Mẫu M3 và M4 hình thành 1 cung chứng tỏ chất điện ly cũng đã ngấm đến bề mặt thép, nhưng quá trình ăn mòn thép vẫn chưa diễn ra. Như vậy, mẫu sơn epoxy M2 và M3 chứa hàm lượng phot phốt kẽm cao hơn (trong khoảng 20-30 %) có khả năng bảo vệ chống ăn mòn tốt hơn.

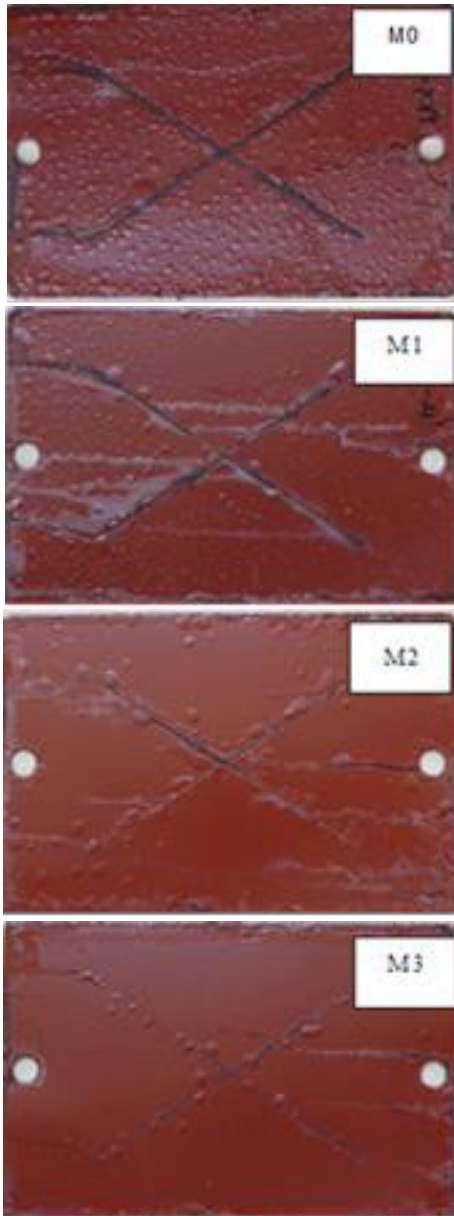


Hình 4. Mô đun tổng trở tại 100 mHz của các mẫu sơn theo thời gian ngâm trong dung dịch NaCl 3 %.

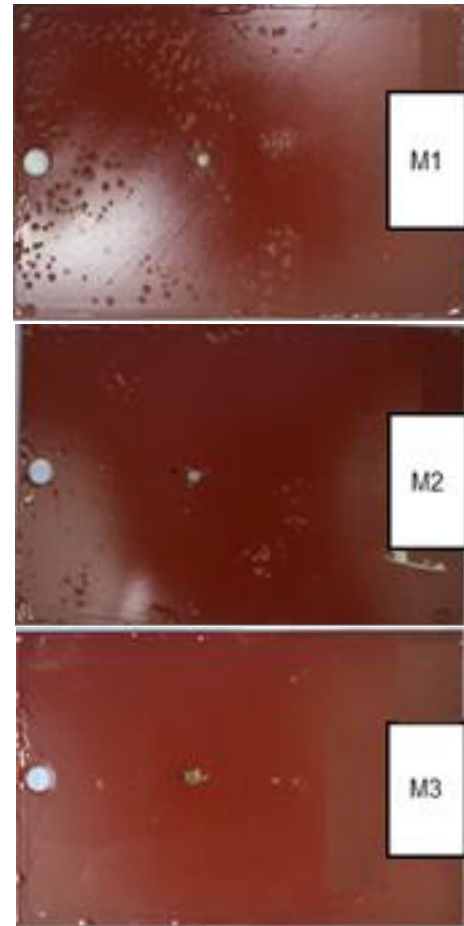
Hình 4 là giá trị mô đun tổng trở tại tần số 100 mHz sau khoảng thời gian 40 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3 %. Giá trị mô đun tổng trở này cũng được sử dụng để đánh giá xu thế bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn theo thời gian. Giá trị mô đun tổng trở của mẫu M0 bắt đầu suy giảm sau 14 ngày ngâm trong dung dịch điện ly và bị suy giảm nhanh sau khoảng 21 ngày ngâm trong dung dịch điện ly. Mô đun tổng trở tại tần số 100 mHz của mẫu sơn M1, M2 và M3 có độ suy giảm ít hơn so với sự suy giảm mô đun tổng trở của mẫu M0. Mô đun tổng trở của mẫu M2 và M3 có độ suy giảm thấp nhất. Điều này cũng cho thấy rằng, khả năng bảo vệ chống ăn mòn tương ứng lần lượt của mẫu M3 tốt hơn M2 và M1.

3.2.2. Nghiên cứu khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn bằng phương pháp thử nghiệm gia tốc mù muối.

Hình 5 là ảnh chụp mẫu sơn M0, M1, M2 và M3 sau 40 ngày thử nghiệm mù muối (theo tiêu chuẩn ASTM B117). Kết quả cho thấy rằng Mẫu M0 không chứa phot phốt kẽm có bị hỏng rộp và gỉ tại các vết rạch. Nguyên nhân có thể do tại các vết rạch, dung dịch NaCl ngấm vào ranh giới giữa bề mặt màng sơn và nền thép gây ra phản ứng ăn mòn và làm hỏng rộp màng sơn. Mẫu M1, M2 và M3 độ hỏng rộp và các điểm gỉ tại các vết rạch lần lượt giảm dần. Mẫu M3 có độ hỏng rộp ít nhất, tại các vết rạch gần như không xuất hiện các điểm gỉ. Đây có thể là do với nồng độ phot phốt kẽm này đủ để tạo các màng phức tại các vết rạch, ngăn dung dịch NaCl xâm nhập vào tại vết rạch gây phá hủy màng sơn.



Hình 5. Ảnh thử nghiệm mù muối của các màng sơn sau 40 ngày.



Hình 6. Ảnh thử nghiệm dưới tác động của dòng bảo vệ catốt của các màng sơn sau 40 ngày.

3.3.3. Nghiên cứu khả năng phòng rộp do dòng bảo vệ catốt đối với màng sơn.



Hình 6 là ảnh thử nghiệm dưới tác động của dòng bảo vệ catốt của các màng sơn sau thời gian thử nghiệm 40 ngày trong dung dịch nước muối 1 % và tạo điện áp bảo vệ khoảng 1,2V (sử dụng điện cực Mg) theo tiêu chuẩn TCVN 9881.

Quan sát trên hình cho thấy rằng, mẫu M0, không có chất ức chế phot phát kẽm bị phồng rộp nhiều nhất. Tỷ lệ chất ức chế cũng ảnh hưởng đến độ phồng rộp của các mẫu theo thứ tự $M1 > M2 > M3$. Mẫu M3 gần như không bị phồng rộp sau 40 ngày thử nghiệm. Tại các vị trí tạo khuyết tật (khoan lỗ) nền thép có ánh kim, chứng tỏ thép được bảo vệ tốt dưới tác động của dòng bảo vệ catốt.

Khả năng chống phồng rộp của các mẫu sơn tương ứng với khả năng chống ăn mòn của màng sơn. Các mẫu sơn có khả năng ức chế chống ăn mòn tốt thì cũng có khả năng chống phồng rộp tốt. Nguyên nhân ở đây là do các chất ức chế ăn mòn tạo ra màng phức làm giảm mật độ dòng bảo vệ catốt, giảm sự hình thành môi trường kiềm và thoát ra khí hydro.

Như vậy, mặc dù trong quá trình bảo vệ catốt, dòng điện ngoài không làm ăn mòn thép nhưng vai trò của chất ức chế ăn mòn vẫn phát huy tác dụng làm giảm quá trình ăn mòn, giảm mật độ dòng ăn mòn

do hình thành các lớp sơn phủ chứa ức chế ăn mòn vẫn có tác dụng làm giảm sự phồng rộp do dòng bảo vệ catốt gây ra. Như vậy chất ức chế ăn mòn phốt phát kẽm làm màng sơn bền hơn khi sử dụng kết hợp với bảo vệ catốt.

4. Kết luận

Đã chế tạo và nghiên cứu tính chất bám dính ướt, khả năng bảo vệ chống ăn mòn và tương thích với sự bảo vệ catốt của màng sơn epoxy sử dụng ức chế chống ăn mòn phốt phát kẽm. Kết quả cho thấy rằng với sự có mặt của phốt phát kẽm với các tỉ lệ 20, 30 % đã làm gia tăng độ bám dính ướt, khả năng ức chế chống ăn mòn và khả năng chống bong tróc catốt so với màng sơn epoxy.

Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra cơ chế bảo vệ chống ăn mòn của phốt phát kẽm có khả năng giảm sự bong tróc catốt của màng sơn epoxy do hình thành các màng phức có khả năng làm chậm các quá trình hình thành các sản phẩm ăn mòn gây phá hủy màng sơn.

Lời cảm ơn: Công trình này được hỗ trợ của Viện Kỹ thuật nhiệt đới; HP4 MS ĐĐVLTT.04/21-23. Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Ngọc Phong, Đỗ Chí Linh, Phạm Hồng Hạnh, Phạm Thy San, Ngô Thị Ánh Tuyết, “Hiệu suất của bảo vệ catot bằng dòng điện ngoài cho công trình kim loại ngầm trong môi trường đất, Khoa học Kỹ thuật và Công nghệ, Vol. 62, No. 3 (3.2020).
- [2]. J.L. Luo, C.J. Linb, Q. Yanga, S.W. Guanc, “Cathodic disbonding of a thick polyurethane coating from steel in sodium chloride solution”, Progress in Organic Coatings, Vol. 31 (1997) 289–295.
- [3]. R. Hosseinirad, M. Toorania, and A. Sabour Rouhaghdam, “Corrosion Resistance and Cathodic Disbondment of Epoxy Coating Applied on Zinc Phosphate Conversion Coating Containing Different Amounts of Cobalt Ions”, Surface Engineering and Applied Electrochemistry, Vol. 56, No. 1, (2020), pp. 112–125.
- [4]. Sanja Martinez, Lidija Valek Z`ulj, Frankica Kapor, “Disbonding of underwater-cured epoxy coating caused by cathodic protection current”, Corrosion Science Vol. 51 (2009) 2253–2258
- [5]. M. Mahdavian, R. Naderi, M. Peighambari, M. Hamdipour, S.A.Haddadi, “Evaluation of cathodic disbondment of epoxy coating containing azole compounds”, J. Ind. Eng. Chem. (2014) 1167-1173.
- [6]. R. Naderi, M.M. Attar, “The role of zinc aluminum phosphate anticorrosive pigment in Protective Performance and cathodic disbondment of epoxy coating”, Corrosion Science Vol. 52 (2010) 1291–1296.
- [7]. Khalid Abdalla, Asma Alsallai Idress, Ahmed Aleslabi, Najwa Yacou, Najla Salah, “Corrosion resistance of zinc phosphate coating formed on steel surface with different concentrations of zinc sulphate”, Conference: Third International Conference on Technical Sciences (ICST2020), 28 – 30 November 2020.
- [8]. Halid Abdalla, Asma Alsallai Idress, Najwa Yacoub, Najla Salah, Ahmed Aleslabi, Corrosion resistance of zinc phosphate coating formed on steel surface with different concentrations of zinc sulphate, Third International Conference on Technical Sciences (ICST2020), 28 – 30 November 2020, Tripoli – Libya.