

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO LỚP PHỦ POLYURETHANE KẾT HỢP VỚI NANO GRAPHENE BẢO VỆ CHỐNG ẪN MÒN CHO NỀN THÉP CACBON

RESEARCH ON POLYURETHANE COATING CONTAINING NANO GRAPHENE CORROSION RESISTANCE
FOR CARBON STEEL

Phạm Gia Vũ¹, Vũ Kế Oánh¹, Thái Thu Thủy¹, Nguyễn Thị Thảo¹,
Đàm Xuân Thắng², Phạm Gia Khánh³, Phạm Đức Linh^{1*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.181>

TÓM TẮT

Màng sơn Polyurethane/Graphene nanocomposite đã được chế tạo với các tỉ lệ graphene là 0; 0,5; 1 và 1,5% về khối lượng. Cấu trúc màng sơn được đánh giá bằng phổ hồng ngoại IR, kính hiển vi điện tử quét (FESEM). Ảnh hưởng của nồng độ graphene tới các tính chất của màng sơn được khảo sát và đánh giá bởi các phương pháp đo độ bám dính, độ bền va đập và tổng trở điện hóa (EIS). Kết quả cho thấy nano graphene có khả năng tăng cường tính chất cơ lý và khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho màng sơn polyurethane. Trong nghiên cứu này, nồng độ graphene tối ưu là 1%, việc tăng nồng độ nano graphene giúp cải thiện tính chất của màng sơn tuy nhiên khi tăng nồng độ graphene quá cao (trong báo cáo là 1,5%) thì tính chất của màng bị suy giảm do sự phân tán không đều của graphene.

Từ khóa: Màng sơn polyurethane, graphene, bảo vệ chống ăn mòn, tổng trở điện hóa (EIS).

ABSTRACT

Polyurethane/Graphene nanocomposite coating films have been fabricated with graphene ratios of 0; 0.5; 1 and 1.5% weight. The coating structure is evaluated by infrared spectroscopy, scanning electron microscopy (FESEM). Investigate the effect of graphene concentration on the properties of the coating are studied and evaluated by adhesion test, impact resistance and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). The results show that nanographene has the ability to enhance the mechanical properties and corrosion resistance of polyurethane coating. In this report, the optimal graphene concentration is 1%, increasing the concentration of nanographene improves the properties of the coating, however, when the graphene concentration is too high (1.5% in the report), the coating quality significantly reduced.

Keywords: Polyurethane coating, graphene, corrosion resistance, electrochemical impedance spectroscopy (EIS).

¹Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Trường Đại học Khoa học Ứng dụng München, Đức

*Email: linh0866561929@gmail.com

Ngày nhận bài: 03/7/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/10/2023

1. MỞ ĐẦU

Lớp phủ hữu cơ bảo vệ kim loại được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp bởi chúng có khả năng ngăn cách kim loại ra khỏi môi trường xâm thực bằng lớp phủ bám dính tốt, không thấm và kín khí, không bị ăn mòn hoặc bị ăn mòn với tốc độ yếu hơn tốc độ ăn mòn cần bảo vệ, có độ bền cao, dễ thi công và giá thành rẻ. Trên thực tế, không có loại màng sơn nào có thể che chắn được hoàn toàn và lượng nước ngấm đến bề mặt kim loại luôn luôn đủ lớn để gây nên ăn mòn [1]. Sự ngấm nước có thể ảnh hưởng đến tính chất bám dính của màng sơn, hiện tượng này được Funke định nghĩa là "bám dính ướt". Theo Funke, khả năng bám dính ướt cao giữa màng và bề mặt kim loại là tính chất quan trọng nhất của lớp phủ. Trên thực tế, khó có thể xác định được sự mất bám dính dẫn đến tăng ăn mòn hay hiện tượng ăn mòn gây nên mất bám dính. Trong những năm gần đây, nhiều loại chất độn nano đã được sử dụng để tạo ra các lớp phủ polyurethane nano composite. Việc kết hợp các chất phụ gia nano và sử dụng vật liệu nano trong sơn polyurethane có thể gây ra những thay đổi tích cực trong cấu trúc của polyurethane. Khả năng kháng hóa chất ăn mòn, độ ẩm, nhiệt, kháng UV, chống thấm môi trường là các đặc tính cải tiến của lớp phủ polyurethane nano composite. Do đó, đã có rất nhiều nghiên cứu về vật liệu nano nhằm tạo ra lớp phủ nanocomposit có hiệu suất cao với các đặc tính chống ăn mòn [2, 3].

Kể từ lần đầu tiên được chế tạo năm 2004 thông qua phân tách cơ học lớp graphite, graphene đã thu hút được sự chú ý đáng kể do sự kết hợp độc đáo của các tính chất điện tử, quang học và cơ học phi thường. Ngoài các ứng dụng tiềm năng trong pin, transistor, pin mặt trời, màn hình, cảm biến và vật liệu composite, còn có rất nhiều sự quan tâm đến ứng dụng của graphene như một vật liệu phủ hoặc như một chất phụ gia để cải thiện hiệu năng của các công nghệ sơn phủ khác nhau. Đặc biệt, đã có một số phương pháp tiếp cận để phát triển các lớp phủ chống ăn mòn dựa trên graphene. Tính kỵ nước, khả năng tương hợp với lớp phủ hữu cơ và tính

chất cơ học tuyệt vời của graphene là những tính chất tiềm năng cho các lớp phủ bảo vệ chống ăn mòn. Một số nghiên cứu gần đây về lớp phủ graphene đang được tập trung nghiên cứu và phát triển. Với độ dày vài nanomet, nano graphene có tỷ lệ bề mặt cao, chúng có khả năng che chắn tốt và lan truyền độ cứng dọc bề mặt lớp phủ. Chất phụ gia nano graphene là một lựa chọn hấp dẫn bởi vì chúng có thể cải thiện đáng kể tính chất của lớp phủ trong khi tải trọng rất thấp. Lớp sơn phủ có chứa một lượng nhỏ nano graphene đã cải thiện được khả năng chống thấm nước, chống thấm thấu oxy, hydro và chống ăn mòn. Hiệu quả đạt được thông qua việc tăng cường tính chất rào cản và góc tiếp xúc với nước mà không ảnh hưởng đến quá trình bảo dưỡng hoặc tính bám dính [4]. Applied Graphene Materials (AGM), được tài trợ thông qua việc niêm yết trên thị trường chứng khoán AIM của Anh, đã phát triển công nghệ sản xuất có thể mở rộng cho một loạt các tấm graphene nanoplatelets (A-GNPs), qua quá trình tổng hợp liên tục. Để hỗ trợ tập trung phát triển sự phân tán graphene cho ngành công nghiệp, AGM đã hợp tác với Hiệp hội Nghiên cứu Sơn của Anh để thử nghiệm các lớp phủ polyurethane và epoxy. Kết quả ban đầu cho thấy dựa trên việc thêm một lượng nhỏ của AGNP10, đã cho thấy những cải thiện về tính chất cơ học như chống xước, giảm mạnh tỷ lệ truyền hơi ẩm và nâng cao hiệu suất chống ăn mòn. Theo AGM thì trong thử nghiệm phun muối theo chu kỳ, thì cần gấp 3 thời gian thí nghiệm mới có thể phá hủy được lớp sơn này[5]. Trong bài báo này, chúng tôi chế tạo và nghiên cứu lớp phủ polyurethane/graphene nano composite bảo vệ chống ăn mòn trên nền thép carbon. Ảnh hưởng của hàm lượng nano graphene tới tính chất cơ lý và khả năng bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn được khảo sát và đánh giá.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất

Bột graphene nanoplatelets công nghiệp 98% (Trung Quốc); cồn tuyệt đối của nhà máy hóa chất Đức Giang, NaCl loại tinh khiết (Trung Quốc); dung môi xylen kỹ thuật (Trung Quốc); nhựa polyurethane (PU) của hãng Bayer gồm nhựa Polyol: Desmophen-A 160X, loại polyacrylat mang nhóm hydroxyl, khối lượng phân tử khoảng 1065, hàm lượng nhóm OH là $1,6 \pm 0,3\%$, dạng lỏng có độ nhớt động học ở 23°C khoảng $1800 \pm 500\text{mPa.s}$, khối lượng riêng khoảng $0,98\text{g/cm}^3$ và chất đóng rắn Desmodur N75, loại polyisocyanat mạch thẳng có khối lượng phân tử khoảng 250, hàm lượng nhóm NCO $16,5 \pm 0,3\%$, độ nhớt động học ở 23°C $150 \pm 60\text{mPa.s}$.

2.2. Phương pháp và thiết bị

Các tính chất cơ lý: độ bám dính của màng sơn được đo bằng máy ADHESION TESTER model 525 của hãng Erichsen, tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới theo tiêu chuẩn ATSM D-4541 (bám dính giật - pull off). Độ bền va đập của màng sơn được đo theo tiêu chuẩn TCVN-2100, trên máy Erichsen model 304 tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới.

Tính chất bảo vệ chống ăn mòn: đánh giá bởi phương pháp tổng trở điện hóa được đo trên máy AUTOLAB PG30 tại

Viện Kỹ thuật nhiệt đới. Các phép đo đặt ở chế độ quét tự động trong dải tần số từ 100kHz đến 10MHz.

Cấu trúc màng sơn: cấu trúc mặt cắt ngang của màng sơn được xác định bởi kính hiển vi điện tử quét (FESEM) được đo trên thiết bị Hitachi S-4800 của Hitachi, Nhật Bản tại Viện Khoa học vật liệu. Phương pháp đo phổ hồng ngoại được đo bằng máy quang phổ hồng ngoại - Nicolet iS10, Thermo Scientific - Mỹ tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới.

2.3. Chế tạo lớp phủ polyurethane/graphene nano composite

2.3.1. Chế tạo dung dịch sơn polyol/graphene

Graphene được nghiền với 1 lượng nhỏ nhựa polyol trong 1 giờ trước khi đưa vào màng sơn polyurethane. Để khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ graphene tới tính chất cơ lý và khả năng bảo vệ chống ăn mòn, các mẫu sơn polyurethane được chế tạo với nồng độ graphen tăng dần là 0%, 0,5%, 1% và 1,5%.

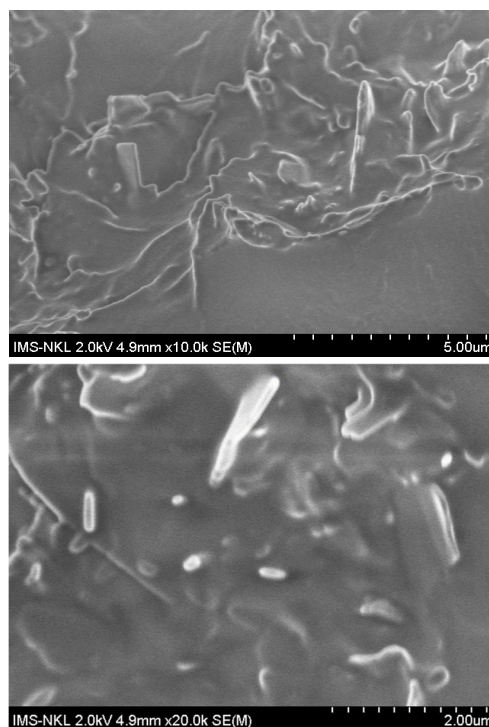
2.3.2. Chế tạo màng sơn PU/Graphene

Màng sơn (PR1, PR2, PR3 và PR4) được chế tạo bằng cách trộn các mẫu polyol chứa 0; 0,5; 1 và 1,5% graphene đã được chế tạo với chất đóng rắn Desmodur N75 với tỉ lệ tương ứng là 6/1 và được điều chỉnh độ nhớt bằng dung môi xylen. Màng sơn được phủ trên mặt mẫu bằng phương pháp tạo màng ly tâm trên thiết bị Filmfuge 1110N (Sheen, Anh) với tốc độ quay 500 vòng/phút. Thời gian quay mỗi mẫu là 30 giây. Chiều dày màng sau khi khô khoảng 25 - 30µm.

3. KẾT QUẢ THẢO LUẬN

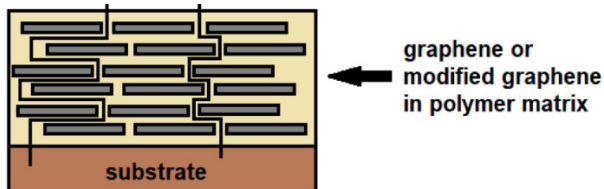
3.1. Nghiên cứu cấu trúc của màng polyurethane/graphene nanocomposite

3.1.1. Hình thái cấu trúc



Hình 1. Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (FESEM) bề mặt cắt ngang của màng sơn polyurethane/graphene nanocomposite với nồng độ graphene là 1%

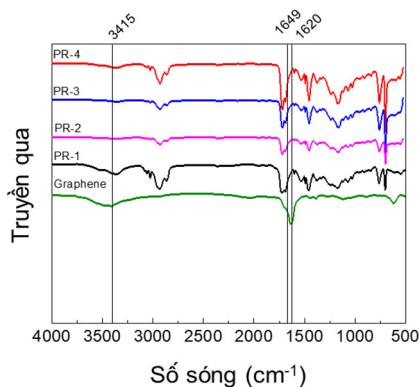
Hình 1 là ảnh FESEM chụp mặt cắt của màng sơn PU-Graphene với tỉ lệ là 1% trọng lượng (PR3). Trong mặt cắt ngang của màng sơn, có thể quan sát thấy một phần của các tấm nano graphene phân tán xen lớp trong mạng polyurethane. Các tấm graphene đan xen vào mạng lưới polyurethane tạo thành mạng lưới polyurthane nanocomposite với nền là polyurethane các cốt là các tấm graphene, sự phân bố của tấm graphene xen lớp trong nền polyurethane được minh họa như hình 2.



Hình 2. Sự phân bố của các tấm graphene trong mạng polyurethane [6]

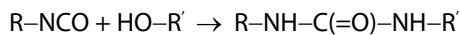
Khả năng tương tác (sự bám dính) giữa tấm graphen và mạng polyurethane có thể gia cường tính chất cơ lý và tăng cường khả năng che chắn của hệ. Đây là mô hình để giải thích các cơ chế gia cường và che chắn chống thấm nước qua màng polyurethane nanocomposite.

3.1.2. Phổ hồng ngoại



Hình 3. Phổ hồng ngoại FT-IR của các mẫu PR0, PR1, PR2, PR3, PR4 và graphene

Hình 3 cho thấy, vật liệu polyurethane không thấy sự xuất hiện của các peak NCO ở 2230cm⁻¹, điều này cho thấy các nhóm isocyanate đã phản ứng hoàn toàn với polyol, ngoài ra sự có mặt của các dao động liên kết của nhóm N-H ở 3415 - 3419cm⁻¹ và đỉnh peak (pic) ở dao động 1646cm⁻¹ đặc trưng cho dao động của nhóm C=O đã xác nhận sự hình thành của polyurethane theo phương trình phản hóa học [7]:



Đối với vật liệu graphene có đỉnh peak dao động ở 1620cm⁻¹ được quy cho anken (C=C) mạch chính của cấu trúc graphene [8].

3.2. Tính chất cơ lý

Kết quả cho thấy các mẫu chứa graphene đều có độ bền va đập cao hơn so với mẫu polyurethane không chứa graphene. Điều này cho thấy nano graphene có khả năng gia cường cho màng sơn polyurethane. Độ bám dính của màng sơn polyurethane chứa hàm lượng graphene khác nhau cũng được khảo sát. Với màng sơn polyurethane graphene độ bám

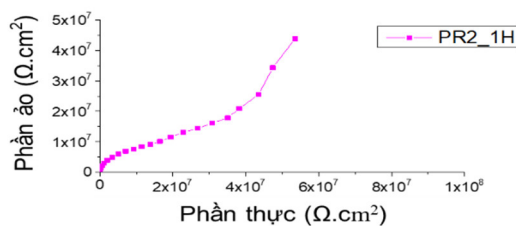
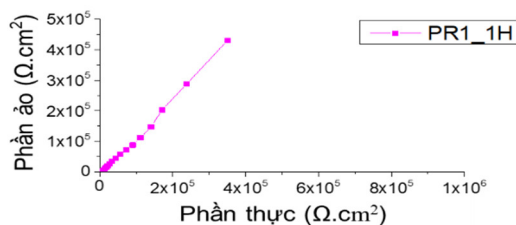
dính của màng đạt 1,52MPa. Màng sơn polyurethane 0,5, 1 và 1,5% graphene có độ bám dính tương ứng là 1,63, 1,84 và 1,61MPa. Như vậy hàm lượng graphene có ảnh hưởng đến độ bám dính của màng sơn polyurethane, với hàm lượng nano graphene là 0,5 và 1%, độ bám dính của màng tăng, tuy nhiên khi hàm lượng nano graphene tăng cao (1,5%) thì độ bám dính của màng sơn polyurethane lại bị suy giảm nhẹ. Nguyên nhân là do nano graphene đã tạo thành mạng composite với polyurethane, nano graphene có vai trò gia cường cho màng polyurethane làm cho độ bám dính của màng tăng. Tuy nhiên, khi hàm lượng nano graphene >1,5% thì độ bám dính của màng polyurethane lại suy giảm vì với hàm lượng nano graphene cao, lượng nhựa polyurethane có thể không bao bọc được hết các hạt graphene dẫn đến các hạt graphene kết tụ lại với nhau trong màng polyurethane làm cho cấu trúc của màng không chặt chẽ làm giảm độ bám dính của màng sơn. Cũng tương tự như vậy, màng sơn chứa 1% graphene có độ bền va đập cao hơn so với màng sơn polyurethane, với màng sơn chứa 1,5% graphene độ bền va đập của màng cũng bị suy giảm nhẹ. Như vậy, có thể thấy được rằng các tính chất cơ lý của màng sơn có chứa phụ gia graphen đều tốt hơn so với màng sơn polyurethane nguyên chất. Kết quả này chứng minh khả năng gia cường của graphen đối với màng sơn polyurethane. Các tấm graphene có cấu trúc nano đan xen vào mạch polyurethane làm gia tăng độ chặt chẽ của màng và có vai trò gia cường cho màng.

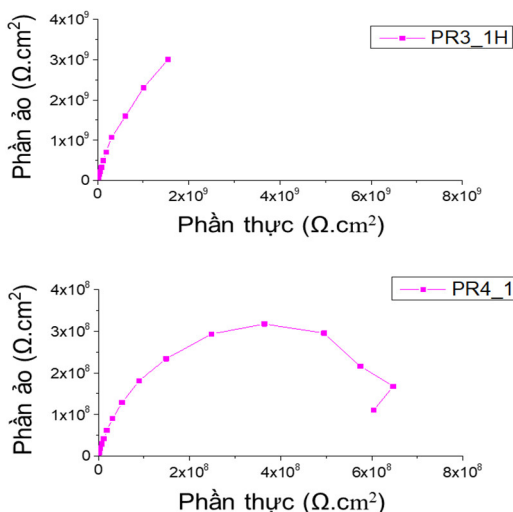
Bảng 1. Kết quả đo tính chất cơ lý

Mẫu	Độ bám dính (MPa)	Độ bền va đập (kg.cm)
PR1	1,52	180
PR2	1,63	185
PR3	1,84	190
PR4	1,61	185

3.3. Khả năng bảo vệ chống ăn mòn

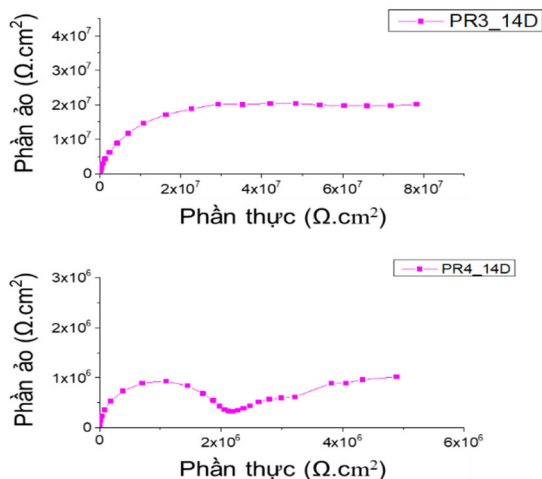
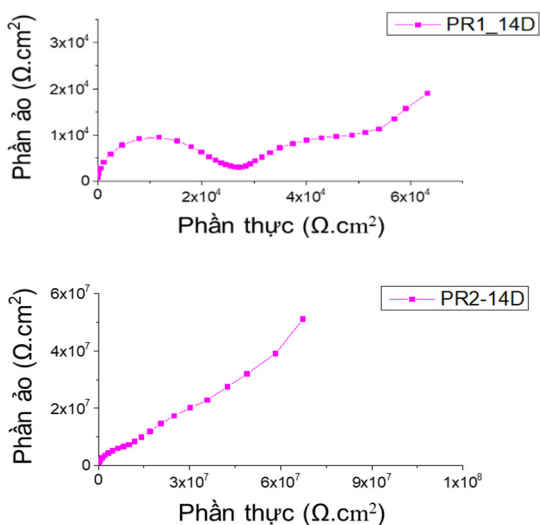
Trên hình 4 là phổ tổng trở dạng Nyquist của các màng sơn PR1, PR2, PR3 và PR4 sau thời gian 1 giờ ngâm trong dung dịch NaCl 3%. Phổ tổng trở đánh giá khả năng ngăn cách của màng sơn với dung dịch điện ly. Giá trị tổng trở của màng sơn càng cao thì khả năng ngăn cách của màng sơn càng lớn.





Hình 4. Phổ tổng trở dạng Nyquist của các màng sơn PR1, PR2, PR3 và PR4 sau 1 giờ ngâm trong dung dịch NaCl 3%.

Sau 1 giờ ngâm thử nghiệm, phổ tổng trở của các mẫu sơn thu được có hình dạng và giá trị tổng trở khác nhau. Phổ tổng trở của mẫu sơn polyurethane nguyên chất PR1 có hình dạng đường thẳng, điều đó cho thấy dung dịch điện ly chưa ngấm vào màng sơn, màng sơn có sự ngăn cách tốt như một tụ điện, điều này phù hợp với tính chất của màng polyurethane trong cách điện tốt. Đối với phổ tổng trở của các mẫu chứa graphene PR3 và PR4 đều có hình dạng 1 cung. Phổ tổng trở có dạng 1 cung này được giải thích rằng dung dịch điện ly đã ngấm vào màng sơn (qua lỗ rỗ hoặc khuyết tật) và hình thành độ dẫn điện của màng sơn (điện trở màng). Giá trị tổng trở của các cung tròn này cũng khác nhau đặc trưng cho độ thấm của màng sơn. Mẫu PR3 và PR4 có giá trị tổng trở xấp xỉ bằng nhau khoảng $8.10^8 \Omega.cm^2$. Như vậy độ thấm của màng của 2 mẫu PR3 và PR4 tương đương nhau. Phổ tổng trở của mẫu PR2 có hình dạng 1 cung tròn và 1 đường thẳng đặc trưng cho sự thấm của dung dịch và có sự khuếch tán của sản phẩm ăn mòn vào dung dịch nhưng chưa xảy ra sự ăn mòn kim loại.



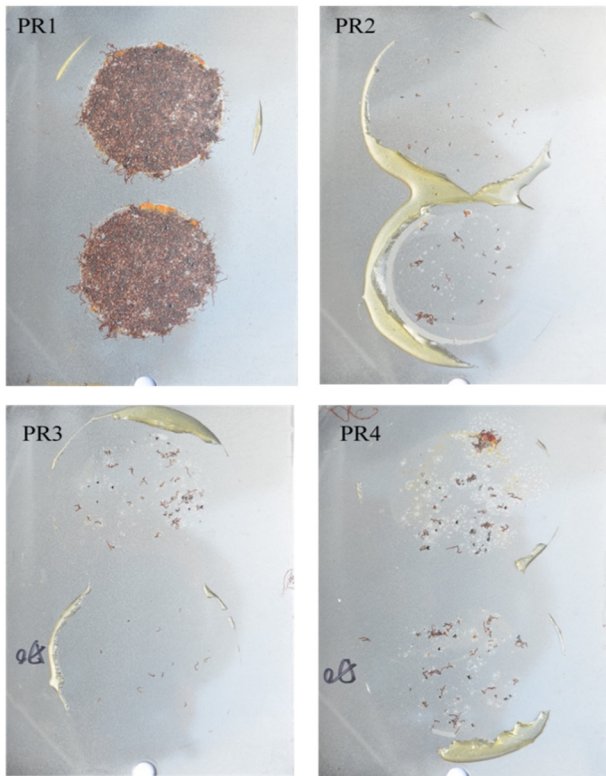
Hình 5. Phổ tổng trở dạng Nyquist của các màng sơn PR1, PR2, PR3 và PR4 sau 14 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3%.

Hình 5 là phổ tổng trở dạng Nyquist của các màng sơn PR1, PR2, PR3 và PR4 sau 14 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3%. Sau 14 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3%, phổ tổng trở của các màng sơn có sự thay đổi. Phổ tổng trở của mẫu PR1 đã hình thành 2 cung rõ ràng, cung thứ nhất đặc trưng cho giá trị điện trở của màng sơn và cung thứ hai đặc trưng cho quá trình ăn mòn trên bề mặt thép. Mặc dù giai đoạn đầu (sau 1 giờ), mẫu PR1 thể hiện khả năng ngăn cách tốt nhất nhưng sau 14 ngày dung dịch điện ly đã ngấm qua màng sơn và gây ra sự ăn mòn. Dung dịch điện ly đã ngấm qua màng sơn và gây ra sự ăn mòn do màng sơn đã hình thành các khuyết tật (lỗ) các điện tử khuếch tán qua màng vào dung dịch (sắt tan bị hòa tan vào trong dung dịch điện ly theo phương trình: $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$).

Phổ tổng trở của mẫu sơn PR3 chứa 1% graphene vẫn có hình dạng 1 cung với giá trị tổng trở $8.10^7 \Omega.cm^2$, giảm 10 lần so với giá trị tổng trở đo được sau 4 giờ ngâm trong dung dịch. Điều này cho thấy rằng sau 14 ngày ngâm trong dung dịch NaCl 3% màng PR3 có bị ngấm nhiều hơn nhưng chưa có sự khuếch tán các điện tử vào trong dung dịch. Điều này có thể là do mẫu PR3 có các tấm graphen có cấu trúc xen lớp và phân bố đều đặn hơn so với mẫu PR2 và PR4, cản trở dung dịch điện ly thấm qua màng đến bề mặt kim loại.

Phổ tổng trở của màng sơn PR2 và PR4 có dạng 1 cung, và 1 đường thẳng, cung thứ nhất ở vùng tần số cao đặc trưng cho giá trị điện trở của màng sơn và đoạn thẳng ở vùng tần số thấp đặc trưng cho khả năng khuếch tán của dung dịch điện ly qua màng sơn. Hai màng sơn này cho thấy khả năng ngăn cách với dung dịch điện ly vẫn tốt hơn so với màng sơn không chứa graphene PR1. Điều này được giải thích là do khả năng che chắn của các tấm graphene, cản trở sự khuếch tán của dung dịch điện ly qua màng sơn. Đối với màng sơn PR2 có tỉ lệ graphene thấp nên phân bố trong nền polyurethane với cấu trúc chưa chặt chẽ, tấm graphene góp phần gia tăng sự che chắn. Mẫu PR4 cũng có sự che chắn của các tấm graphen, tuy nhiên trong trường hợp này giá trị điện trở màng lại giảm hơn so với mẫu PR3 có thể là do các khuyết tật hình thành do sự

co cụm các tấm graphene khi nồng độ graphene cao vượt quá giới hạn phân bố với nền polyurethane gây ra.



Hình 6. Bề mặt mẫu sau 120 ngày ngâm thử nghiệm trong dung dịch NaCl 3%

Thử nghiệm ngâm trong dung dịch điện ly 3% vẫn tiếp tục được theo dõi và đánh giá quan sát khả năng ăn mòn của dung dịch điện ly theo thời gian. Trên hình 6 là bề mặt mẫu sau 120 ngày ngâm thử nghiệm trong dung dịch NaCl 3%. Ở mẫu PR1 ta thấy bề mặt mẫu bị gỉ hoàn toàn, chứng tỏ dung dịch điện ly đã ngấm hoàn toàn qua lớp phủ và ăn mòn toàn bộ nền thép.

Đối với các mẫu PR2, PR3, PR4 có chứa phụ gia, bề mặt các mẫu đều có xuất hiện vết gỉ nhưng ít hơn rất nhiều so với mẫu PR1, chứng tỏ dung dịch điện ly có ngấm qua nhưng chậm hơn. Màng sơn trên bề mặt các mẫu trên vẫn có độ bám dính tốt, tuy có phồng rộp quanh vết gỉ nhưng không bong tróc hoàn toàn như mẫu PR1.

Trong 3 mẫu chứa phụ gia graphene, mẫu PR4 với 1,5% graphene có bề mặt bị gỉ và phồng rộp là cao nhất (khả năng chống ăn mòn kém nhất), tiếp đến là mẫu PR2 chứa 0,5% graphene, cuối cùng là mẫu PR3 có khả năng chống ăn mòn tốt nhất với ít vết gỉ và phồng. Nguyên nhân của sự khác biệt giữa các mẫu là do tỉ lệ graphene có thể phân bố đồng đều trong màng polyurethane, từ đó hình thành mạng lưới cản trở chất điện ly ngấm qua màng sơn, làm chậm quá trình ăn mòn. Các kết quả quan sát được từ hình ảnh sau 120 ngày ngâm trong dung dịch điện ly cũng hoàn toàn phù hợp với kết quả thu được từ phép đo tổng trở.

Như vậy, tỉ lệ 1% graphene là tỉ lệ tối ưu nhất trong các tỉ lệ được khảo sát trong màng sơn polyurethane. Với tỉ lệ là 1%, graphene phân tán đồng đều nhất trong màng sơn

polyurethane tạo ra mạng lưới bảo vệ che chắn tốt. Tuy nhiên, khi tỉ lệ graphene cao hơn có thể đã dẫn đến sự co cụm tạo nên các khuyết tật trong màng sơn. Những khuyết tật đó là con đường cho dung dịch điện ly thấm qua màng sơn dẫn đến sự ăn mòn kim loại.

4. KẾT LUẬN

Đã nghiên cứu chế tạo được màng polyurethane/graphene có cấu trúc nanocomposite dạng xen lớp và khảo sát tính chất cơ lý, khả năng bảo vệ chống ăn mòn của chúng. Với tỉ lệ graphene là 1%, tính chất cơ lý của màng sơn đạt giá trị cao nhất tương ứng với độ bám dính 1,84MPa và độ bền va đập 190kg.cm. Đồng thời tỉ lệ này cũng tương ứng với khả năng che chắn bảo vệ chống ăn mòn của màng sơn polyurethane/graphene tốt nhất so với các mẫu đã khảo sát. Như vậy, 1% graphene có khả năng phân tán xen lớp đều đặn có khả năng gia cường các tính chất cơ lý và khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho màng sơn polyurethane.

LỜI CẢM ƠN

Công trình này được hỗ trợ của HP4 MS TĐVLTT.04/21-23, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. W. FUNKE Ed M. W. Kendig et H. Leitheiser, 2007. *Proc. Sym. On Corrosion Protection by Organic Coating*. J. Electrochem Soc, 1(2), 132-151.
- [2]. Halima Khatoun, Sharif Ahmad, 2019. *Vanadium Pentoxide-Enwrapped Poly-diphenylamine/Polyurethane Nanocomposite: High-Performance Anti-corrosive Coating*. ACS Applied Materials & Interfaces, 11(2), 2374-2385.
- [3]. M. S. Fuhrer, C. N. Lau, A. H. MacDonald, 2010. *Graphene: materially better carbon*. MRS Bulletin, 35(4), 289–295.
- [4]. Chen C., Long M., Xia M., Zhang C., Cai W., 2012. *Reduction of graphene by an in-situ photoelectrochemical method in a dye-sensitized solar cell assembly*. Nanoscale Research Letters, 7(1), 101-121.
- [5]. Gang Wen, Pengpeng Bai, Yu Tian, 2021. *A Review of Graphene-Based Materials for Marine Corrosion Protection*. Journal of Bio- and Tribo-Corrosion, 7 (1), 4897-4918.
- [6]. Ollik, Karolina, Marek Lieder, 2020. *Review of the Application of Graphene-Based Coatings as Anticorrosion Layers*. Coatings 10, no. 9: 883.
- [7]. Jasmi Fareeza, Nur Hidayah Azeman, Ahmad Ashrif A. Bakar, Mohd Saiful Dzulkefly Zan, Khairiah Haji Badri, Mohd Sukor Su'ait, 2018. *Ionic conductive polyurethane-graphene nanocomposite for performance enhancement of optical fiber Bragg grating temperature sensor*. IEEE Access 6: 47355-47363.
- [8]. Jasmi F., Azeman N. H., Bakar A. A. A., Zan M. S. D., Badri K. H., Suait M. S., 2018. *Ionic conductive polyurethane-graphene nanocomposite for performance enhancement of optical fiber Bragg grating temperature sensor*. IEEE Access, 6, 47355-47363.

AUTHORS INFORMATION

Pham Gia Vu¹, Vu Ke Oanh¹, Thai Thu Thuy¹, Nguyen Thi Thao¹, Dam Xuan Thang², Pham Gia Khanh³, Pham Duc Linh¹

¹Institute for Tropical Technology, VAST, Vietnam

²Hanoi University of Industry, Vietnam

³Munich University of Applied Sciences, Germany