

TỔNG HỢP VÀ ĐẶC TRƯNG NANO COMPOSITE PANI/ZnO ỨNG DỤNG TRONG LỚP SƠN PHỦ BẢO VỆ

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PANI/ZnO NANOCOMPOSITE
FOR APPLICATION IN PROTECTIVE COATING

Thái Thu Thủy¹, Đào Duy Mạnh², Lê Diễm Quỳnh²,
Đỗ Thu Chiêu², Đàm Xuân Thắng²,
Phạm Thị Thắm², Nguyễn Thùy Dương^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huinh5804.2025.204>

TÓM TẮT

Vật liệu lai hữu cơ/vô cơ ngày càng được quan tâm nhờ kết hợp các tính chất ưu việt của từng thành phần. Polyaniline (PANI) và oxit kẽm (ZnO) đã được ứng dụng riêng lẻ trong các lớp phủ để gia cường khả năng chống ăn mòn. Nghiên cứu này tập trung vào tổng hợp và đặc trưng nano composite PANI/ZnO nhằm ứng dụng trong lớp sơn phủ bảo vệ nền thép. Nano ZnO được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa, sau đó kết hợp với PANI qua phương pháp trùng hợp hóa học. Cấu trúc hình thái của PANI/ZnO tổng hợp được bằng phổ hồng ngoại (FT-IR) và kính hiển vi điện tử quét (SEM). Tính chất bảo vệ của lớp phủ polyuretan (PU) chứa PANI/ZnO với nồng độ 1% được đánh giá bằng các phương pháp như đo bám dính, đo độ bền va đập, khả năng chịu mài mòn và tổng trở điện hóa (EIS). Kết quả thu được cho thấy PANI/ZnO đã được tổng hợp thành công và sự có mặt của PANI/ZnO đã cải thiện tính chất cơ lý và khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho lớp phủ PU.

Từ khóa: PANI/ZnO, polyurethane, bảo vệ chống ăn mòn, tổng trở điện hóa (EIS).

ABSTRACT

Organic/inorganic hybrid materials are gaining increasing interest due to the combination of superior properties of each component. Polyaniline (PANI) and zinc oxide (ZnO) have been applied individually in coatings to enhance corrosion resistance. This study focuses on the synthesis and characterization of PANI/ZnO nanocomposites for application in protective coatings for steel substrates. ZnO nano was synthesized by the co-precipitation method, then combined with PANI through chemical polymerization. The morphological structure of the synthesized PANI/ZnO was determined by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and scanning electron microscopy (SEM). The protective properties of the polyurethane (PU) coating containing 1% PANI/ZnO were evaluated by methods such as adhesion test, impact strength, abrasion resistance and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The results showed that PANI/ZnO was successfully synthesized and the presence of PANI/ZnO improved the mechanical properties and anti-corrosion protection of the PU coating.

Keywords: PANI/ZnO, polyurethane, corrosion resistance, electrochemical impedance spectroscopy (EIS).

¹Viện Khoa học vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: ntd0801@gmail.com

Ngày nhận bài: 24/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 17/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. MỞ ĐẦU

Ăn mòn kim loại là một vấn đề nghiêm trọng trong công nghiệp, gây thiệt hại lớn về kinh tế và ảnh hưởng đến độ bền của kết cấu, thiết bị kim loại. Theo thống kê

của Tổ chức Ăn mòn Thế giới (WCO), thiệt hại hàng năm do ăn mòn gây ra chiếm khoảng 3,1 - 3,3% tổng thu nhập quốc dân toàn cầu, tương đương hàng nghìn tỷ USD. Trong các ngành công nghiệp như hàng không, dầu khí,

hóa chất và sản xuất máy móc, hiện tượng ăn mòn không chỉ làm giảm thời gian sử dụng của thiết bị mà còn ảnh hưởng đến an toàn vận hành [1]. Một trong những phương pháp phổ biến để bảo vệ kim loại là sử dụng lớp phủ polyme [2]. Do đó, đã có rất nhiều nghiên cứu về vật liệu nano nhằm tạo ra lớp phủ nano composite với các đặc tính chống ăn mòn cao [3, 4]. Trong số đó, các oxit nano kim loại như ZnO được sử dụng rộng rãi nhờ đặc tính bán dẫn, kháng khuẩn, chống tia cực tím và tăng cường độ bám dính. Nano composite polyaniline (PANI)/oxit kẽm (ZnO) là một hệ vật liệu tiềm năng, kết hợp giữa tính dẫn điện, khả năng chống ăn mòn của PANI và các đặc tính ưu việt của ZnO. PANI có thể tạo lớp thụ động bảo vệ trên bề mặt kim loại nhờ tính oxy hóa khử, giúp giảm tốc độ ăn mòn [5]. Tuy nhiên, lớp phủ chứa PANI đơn thuần có nhược điểm là độ xốp cao, dễ dẫn đến khuếch tán chất điện phân, làm giảm hiệu suất bảo vệ. Việc kết hợp PANI với ZnO giúp cải thiện khả năng chống ăn mòn, tăng độ bền cơ lý và ổn định nhiệt của lớp phủ. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng vật liệu PANI/ZnO có thể đạt hiệu suất bảo vệ lên đến 99,99% tại nồng độ 60% khi được sử dụng trên nền nhôm AA-2024 trong dung dịch NaCl 3,5%. Độ chống thấm nước của màng composite cũng được cải thiện [6]. Khi tích hợp vào lớp phủ polyuretan, vật liệu này giúp tăng cường độ bền hóa chất, khả năng chống bám bẩn và giảm tác động của bức xạ tử ngoại. Tuy nhiên, nghiên cứu về ứng dụng PANI/ZnO trong lớp phủ bảo vệ nền thép vẫn còn hạn chế. Do đó, nghiên cứu này tập trung vào việc tổng hợp và đặc trưng nano composite PANI/ZnO để ứng dụng trong lớp phủ bảo vệ nền thép. Cụ thể, nghiên cứu hướng đến việc tổng hợp nano PANI/ZnO bằng phương pháp trùng hợp hóa học, đồng thời chế tạo và đánh giá các tính chất của lớp phủ polyuretan chứa nano PANI/ZnO, bao gồm tính chất cơ lý và hiệu quả chống ăn mòn trên nền thép trong môi trường khắc nghiệt. Việc phát triển lớp phủ polyme nano composite với PANI/ZnO không chỉ giúp cải thiện khả năng chống ăn mòn mà còn hướng tới giải pháp thân thiện với môi trường. Trước đây, hợp chất cromat VI được sử dụng rộng rãi nhờ hiệu quả chống ăn mòn cao, nhưng do tính độc hại, các nghiên cứu hiện nay đang tìm kiếm các vật liệu thay thế an toàn hơn. Sự kết hợp giữa PANI và ZnO trong lớp phủ polyuretan giúp tạo ra hệ vật liệu có độ bền cao, ổn định trong môi trường ăn mòn, đồng thời giảm thiểu tác động xấu đến môi trường.

Từ những công trình công bố trước đây [7-11] cho thấy tại nồng độ thấp, các hạt nano đã có hiệu ứng gia cường tính chất bảo vệ cho các lớp phủ nên trong nghiên cứu này, nhóm đã tổng hợp PANI/ZnO và đưa vào lớp phủ

PU với nồng độ 1% để nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hạt nanocomposite này tới tính chất bảo vệ của lớp phủ PU. Đặc trưng cấu trúc của các hạt (ZnO và PANI/ZnO) được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ hồng ngoại (IR). Tính chất cơ lý của lớp phủ PU chứa PANI/ZnO được đánh giá bằng các phương pháp đo độ bám dính, độ bền va đập và khả năng chịu mài mòn. Khả năng bảo vệ chống ăn mòn của lớp phủ được đánh giá bằng phương pháp tổng trở điện hóa.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất

Kẽm nitrat hexahydrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (độ tinh khiết 98%) của Trung Quốc, natri hydroxit (NaOH) (độ tinh khiết 98 %) của Trung Quốc, anilin hydrochloride ($\text{C}_6\text{H}_7\text{N} \cdot \text{HCl}$) (độ tinh khiết 99,5%) của Trung Quốc, ammonium persulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) (APS) (độ tinh khiết 98%) của Trung Quốc, nước cất phòng thí nghiệm, ethanol (độ tinh khiết 99,7%) của Trung Quốc và xylen kỹ thuật của Trung Quốc; nhựa polyurethane (PU) của hãng Bayer gồm nhựa Polyol: Desmophen-A 160X, loại polyacrylat mang nhóm hydroxyl, khối lượng đương lượng là 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 $0,98\text{g/cm}^3$ và chất đóng rắn Desmodur N75, loại polyisocyanat mạch thẳng có khối lượng đương lượng là 250, hàm lượng nhóm NCO $16,5 \pm 0,3\%$, độ nhớt động học ở 23°C là $150 \pm 60\text{mPa.s}$.

2.2. Phương pháp và thiết bị

Hình thái, cấu trúc các hạt ZnO và PANI/ZnO: hình thái và cấu trúc mặt của các hạt tổng hợp được xác định bởi máy quang phổ hồng ngoại - Nicolet iS10, Thermo Scientific - Mỹ và kính hiển vi điện tử quét (FESEM) trên thiết bị Hitachi S-4800, Nhật Bản tại Viện Khoa học vật liệu (VAST).

Các tính chất cơ lý: độ bám dính của màng sơn được đo bằng máy Adhesion tester model 525 của hãng Erichsen, tại Viện Khoa học vật liệu 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 Khoa học vật liệu. Khả năng chịu mài mòn của màng sơn được xác định bằng máy Taber 5750 Linear Abraser, Mỹ tại Viện Khoa học vật liệu.

Tính chất bảo vệ chống ăn mòn: đánh giá bởi phương pháp tổng trở điện hóa được đo trên máy Metrohm DropSens μStat 400 tại Viện Khoa học vật liệu. Các phép đo đặt ở chế độ quét tự động trong dải tần số từ 100kHz đến 10mHz.

2.3. Tổng hợp ZnO

Tổng hợp hạt nano ZnO bằng phương pháp đồng kết tủa, sử dụng hóa chất kẽm nitrat và natri hydroxit. Trong thí nghiệm này, cân 7,3g $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pha trong 100ml nước cất, sau đó khuấy từ trong 30 phút. Tiếp theo, cân 10 gam NaOH pha trong 500ml nước cất, khuấy từ trong 50 phút. Nhỏ từ từ từng giọt NaOH chậm vào thành bình (~100ml) vào dung dịch $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ đồng thời khuấy từ trong 1 giờ (chú ý điều chỉnh pH = 6,7 - 7). Sau khi kết thúc phản ứng, để dung dịch lắng xuống và để kín để qua đêm. Tách cẩn thận dung dịch nổi phía trên, dung dịch còn lại đem ly tâm 15 phút (5000v/p). Chất rắn thu được bằng cách lọc rửa ly tâm 3 lần với hỗn hợp nước cất và cồn (1:1) và 1 lần với ethanol. Sấy chất rắn thu được ở 100°C trong vòng 24 giờ.

2.4. Tổng hợp PANI/ZnO

Sử dụng phương pháp trùng hợp hóa học để tổng hợp nano composite PANI/ZnO. Cho 200ml nước cất hai lần vào 5g anilin hydrochloride, khuấy 30 phút sau đó để hỗn hợp trong bể nước đá trong 3 giờ. Thu được dung dịch A. Dùng bột nano ZnO đã tổng hợp phân tán vào dung dịch A. Hòa tan 10g APS trong 50ml nước cất hai lần giữ trong 3 giờ ở bể đá thu được dung dịch B. Thêm từng giọt dung dịch B vào dung dịch A, khuấy liên tục trong 5 giờ. Hỗn hợp phản ứng có màu xanh lá cây. Giữ dung dịch ổn định trong 24 giờ để tạo kết tủa, lọc lấy kết tủa xanh lá cây đậm, sấy chất rắn thu được ở nhiệt độ 50°C trong 48 giờ.

2.5. Chế tạo màng sơn polyuretan (PU) chứa PANI/ZnO

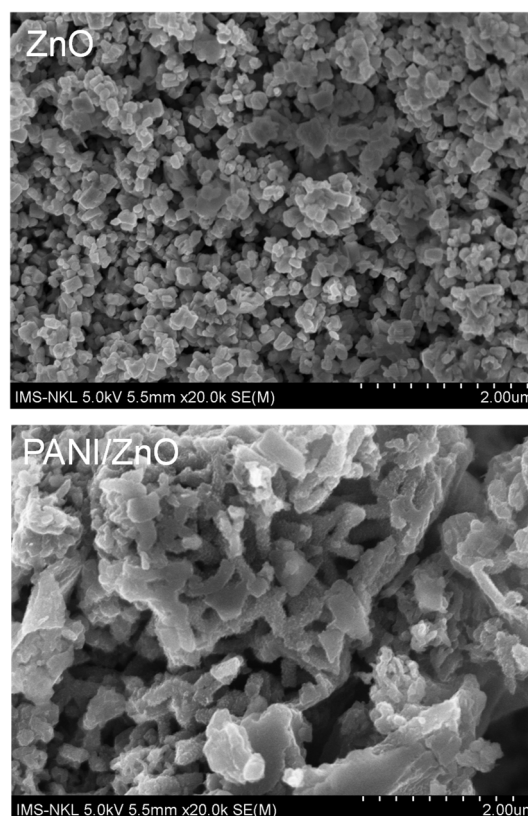
Màng sơn polyuretan (PU) chứa PANI/ZnO được chế tạo bằng cách trộn PANI/ZnO với nhựa tại nồng độ 1% và dung môi xylen bằng máy nghiền trong 24 giờ. Sau đó trộn hỗn hợp thu được với chất đóng rắn Desmodur N75 với tỉ lệ tương ứng là 6/1 và được điều chỉnh độ nhớt bằng dung môi xylen. Màng sơn được phủ 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. Hình thái cấu trúc của nanocomposite PANI/ZnO và ZnO

Đã xác định hình thái cấu trúc của các mẫu bột ZnO và PANI/ZnO tổng hợp được, kết quả nhận được trình bày trong hình 1. Quan sát hình 1 có thể thấy, các hạt ZnO tổng hợp được có dạng tinh thể, kích thước khoảng 200 - 300nm. Đối với vật liệu PANI/ZnO, có thể quan sát thấy cả

cấu trúc dạng ống của PANI với đường kính khoảng 200nm và cấu trúc của ZnO.



Hình 1. Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của ZnO và PANI/ZnO

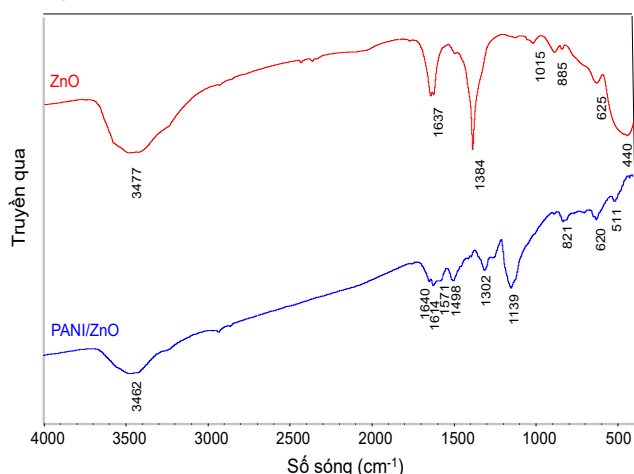
3.2. Phổ hồng ngoại của nanocomposite PANI/ZnO và ZnO

Đã xác định đặc trưng cấu trúc của các hạt ZnO và PANI/ZnO bằng phương pháp chụp phổ hồng ngoại (FT-IR), kết quả nhận được trình bày trong hình 2.

Phổ FT-IR của vật liệu ZnO (hình 2) cho thấy một dải hấp thụ đặc trưng trong vùng số sóng từ 400 đến 600 cm^{-1} , tương ứng với dao động kéo dãn của liên kết Zn-O trong cấu trúc tinh thể ZnO. Điều này xác nhận sự hiện diện của ZnO với cấu trúc mạng tinh thể đặc trưng. Các đỉnh tại khoảng 1400 - 1600 cm^{-1} có thể là sự hiện diện của dao động C=O hoặc C-O do các chất cặn trong quá trình tổng hợp.

Đối với các hạt nanocomposite PANI/ZnO, phổ FT-IR của vật liệu lai cho thấy sự hiện diện các pic đặc trưng của cả hai thành phần ZnO và PANI, và sự thay đổi rõ rệt về cường độ và vị trí của một số đỉnh so với phổ của ZnO. Các dải hấp thụ đặc trưng của PANI [12] như pic tại 511 cm^{-1} đặc trưng cho nhóm C-N-C trong vòng thơm, pic tại 821 cm^{-1} đặc trưng cho C-H trong vòng benzenoid, pic tại 1498 cm^{-1} liên quan đến dao động C-N trong cấu trúc benzenoid và pic tại 1571 cm^{-1} liên quan

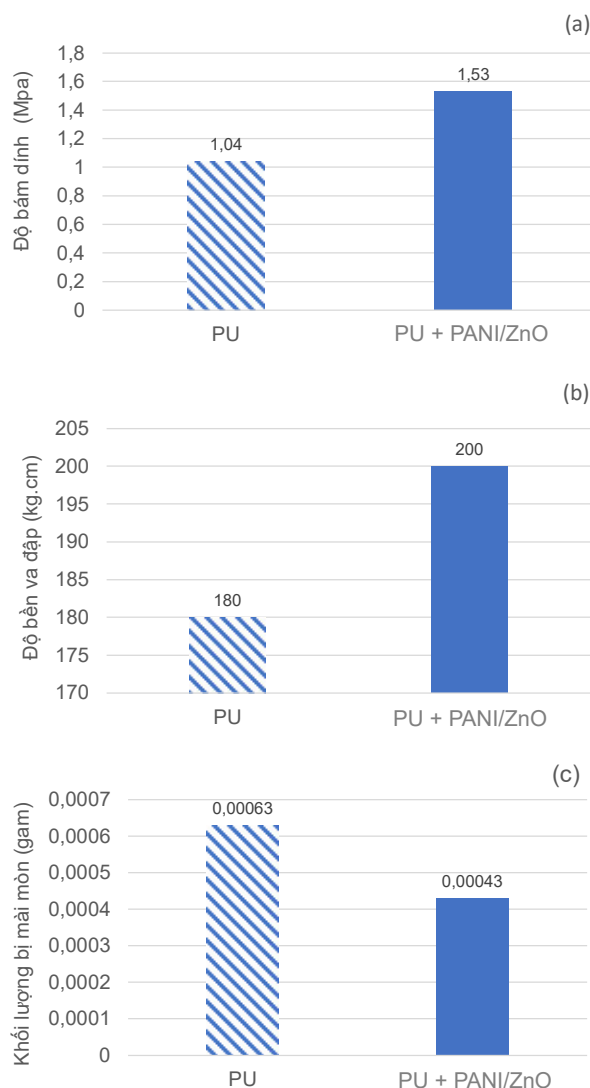
đến dao động C=N trong cấu trúc quinoid, 1614cm^{-1} tương ứng với dao động C=C trong vòng benzenoid, vẫn được bảo tồn nhưng có sự dịch chuyển nhẹ về phía số sóng thấp hơn, chỉ ra sự tương tác giữa ZnO và PANI. Đồng thời, dải hấp thụ tại vùng $400 - 600\text{cm}^{-1}$ của ZnO cũng được giữ nguyên, khẳng định sự tồn tại của ZnO trong cấu trúc lai. Hơn nữa, trong nanocomposite PANI/ZnO còn xuất hiện pic tại 3462cm^{-1} đặc trưng cho liên kết H-N, liên kết này có thể là tương tác giữa ZnO và PANI do sự hình thành liên kết hydro giữa H-N và O trên bề mặt của ZnO [12].



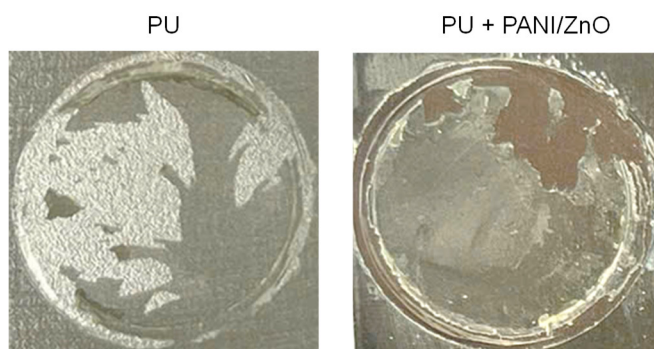
Hình 2. Phổ hồng ngoại FT-IR của ZnO và PANI/ZnO

3.3. Tính chất cơ lý

Các mẫu màng PU và PU chứa 1% PANI/ZnO được đánh giá các tính chất cơ lý và các kết quả được trình bày ở hình 3. Kết quả cho thấy sự có mặt của PANI/ZnO đã cải thiện tính chất cơ lý của màng PU. Hình 3c cho thấy, khi có mặt PANI/ZnO thì khối lượng bị mài mòn của lớp phủ khoảng 0,43mg thấp hơn so với lớp phủ PU ban đầu (0,63mg). Khả năng chịu mài mòn của lớp phủ chứa PANI/ZnO đã tăng lên khoảng 32% so với lớp phủ PU ban đầu. Ảnh hưởng của PANI/ZnO cũng thể hiện trên khả năng chịu va đập và độ bám dính của màng sơn (hình 3a và 3b). Khi có mặt PANI/ZnO thì độ bền va đập của màng PU tăng từ 180 kg.cm lên 200kg.cm và độ bám dính tăng từ 1,04MPa lên 1,53MPa. Quan sát ảnh chụp bề mặt (hình 4) của các mẫu sau bám dính cho thấy bề mặt của mẫu PU có diện tích bong tróc lớn hơn so với mẫu PU có chứa PANI/ZnO. Kết quả thu được cho thấy PANI/ZnO có khả năng gia cường tính chất cơ lý cho lớp phủ PU. Điều này có thể do PANI/ZnO có thể tương tác với mạch PU thông qua liên kết hydro hoặc tương tác tĩnh điện [13], đan xen vào mạch PU, gia cường tính chất cho lớp phủ, làm cho độ bền va đập cũng như làm tăng khả năng bám dính của lớp phủ.



Hình 3. Tính chất cơ lý của màng sơn PU và PU chứa PANI/ZnO

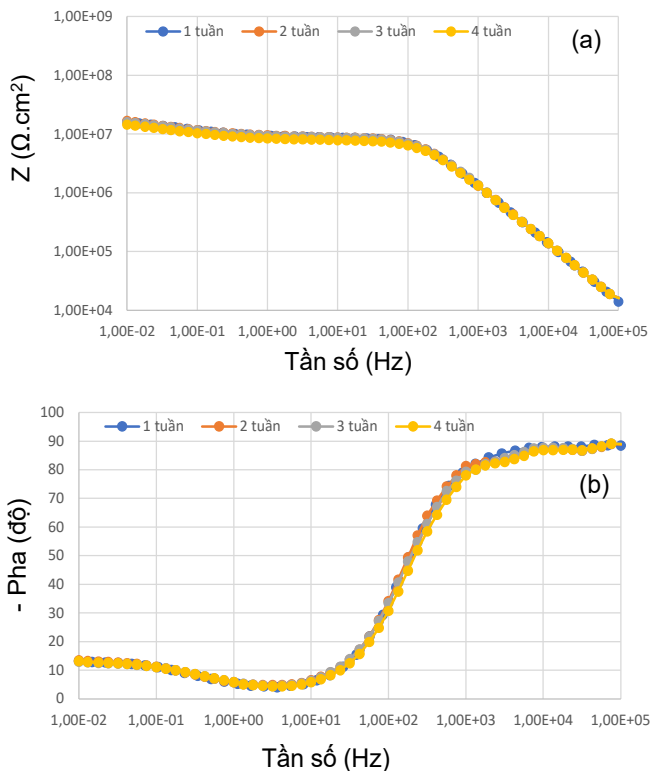


Hình 4. Ảnh chụp bề mặt mẫu sơn PU và PU chứa PANI/ZnO sau đo bám dính

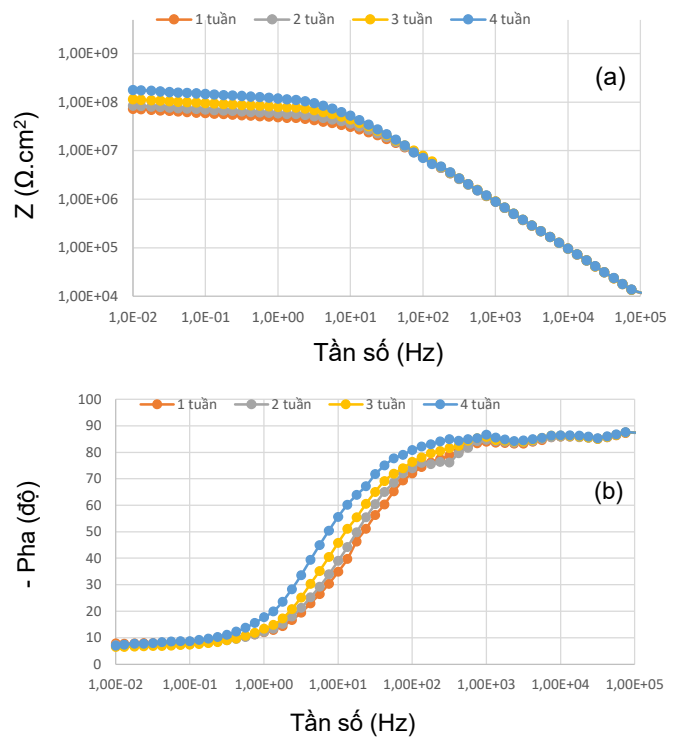
3.4. Khả năng bảo vệ chống ăn mòn

Khả năng bảo vệ chống ăn mòn của các mẫu được đánh giá bằng phương pháp tổng trở điện hóa. Hình 5 và 6 trình bày phổ tổng trở dạng Bode của các màng sơn PU và PU chứa PANI/ZnO sau các thời gian thử nghiệm trong

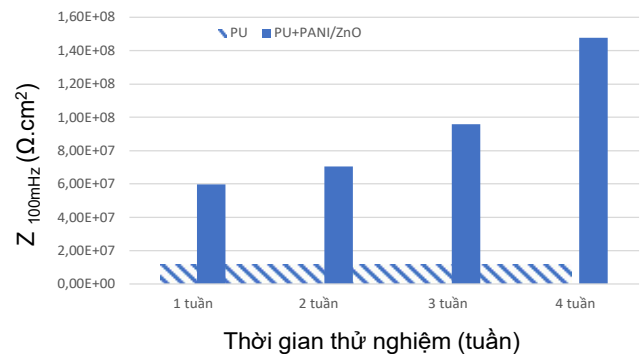
dung dịch NaCl 3%. Phổ tổng trở đánh giá khả năng ngăn cách của màng sơn với dung dịch điện ly. Giá trị tổng trở của màng sơn càng cao thì khả năng ngăn cách và bảo vệ của màng sơn càng tốt. Sau 1 tuần ngâm trong dung dịch NaCl 3%, mô đun tổng trở của mẫu PU có giá trị khoảng $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ (hình 5a) thấp hơn so với mô đun tổng trở của mẫu PU chứa PANI/ZnO ($10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$) (hình 6a). Trên giản đồ pha của mẫu PU (hình 5b), hằng số thời gian thứ nhất có thể quan sát rõ và hằng số thời gian thứ hai bắt đầu xuất hiện tuy nhiên chưa quan sát rõ. Đối với mẫu PU chứa PANI/ZnO (hình 6b) thì chỉ quan sát thấy một hằng số thời gian trên giản đồ pha và dịch chuyển về tần số thấp hơn. Điều này có thể giải thích bởi khả năng che chắn tốt hơn của màng PU chứa PANI/ZnO so với màng PU ban đầu. Khi thời gian thử nghiệm tăng lên đến 4 tuần, mô đun tổng trở của mẫu PU vẫn duy trì khoảng $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$. Đối với mẫu PU chứa PANI/ZnO thì mô đun tổng trở có tăng nhẹ (khoảng $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$) và vẫn cao hơn so với mẫu PU sau 4 tuần thử nghiệm. Hiện tượng tăng nhẹ mô đun tổng trở này có thể giải thích bởi sự ổn định hơn của lớp phủ theo thời gian thử nghiệm và làm tăng khả năng bảo vệ, do đó mô đun tổng trở tăng nhẹ. Kết quả này cũng phù hợp với một số công trình công bố về ảnh hưởng của PANI khi đưa vào lớp phủ PU. PANI có thể giúp ổn định lớp phủ và duy trì khả năng bảo vệ cho lớp khi đưa vào màng PU [14].



Hình 5. Phổ tổng trở dạng Bode của màng sơn PU sau thời gian ngâm trong dung dịch NaCl 3%



Hình 6. Phổ tổng trở dạng Bode của màng sơn PU chứa PANI/ZnO sau thời gian ngâm trong dung dịch NaCl 3%



Hình 7. Modul tổng trở Z tại tần số 100 mHz của các mẫu màng sơn PU và PU chứa PANI/ZnO sau thời gian ngâm trong dung dịch NaCl 3%

Từ phổ tổng trở, giá trị modul tổng trở tại 100mHz, $Z_{100\text{mHz}}$ được xác định để đánh giá độ bền ăn mòn của màng sơn. Hình 7 trình bày sự thay đổi giá trị $Z_{100\text{mHz}}$ theo thời gian ngâm trong dung dịch NaCl 3%. Ta thấy sau 1 tuần ngâm giá trị $Z_{100\text{mHz}}$ của mẫu PU thấp hơn so với mẫu PU chứa PANI/ZnO. Giá trị $Z_{100\text{mHz}}$ thấp hơn thể hiện khả năng bảo vệ của màng sơn kém hơn do chất điện li đã ngấm vào các lỗ rỗng của màng sơn làm giá trị này giảm đi. Khi thời gian thử nghiệm tăng lên, giá trị $Z_{100\text{mHz}}$ của mẫu PU vẫn duy trì ở giá trị thấp hơn so với mẫu PU chứa PANI/ZnO. Giá trị $Z_{100\text{mHz}}$ của mẫu PU chứa PANI/ZnO tăng nhẹ theo thời gian thử nghiệm. Các kết quả này có thể được giải thích với sự có mặt của PANI/ZnO có thể được phân tán đồng đều trong mạch PU, làm tăng khả năng

che chắn và khả năng bảo vệ chống ăn mòn cho lớp phủ. PANI/ZnO cũng có thể tương tác với mạch PU thông qua các liên kết hydro hoặc tương tác tĩnh điện nên theo thời gian làm ổn định mạch và làm tính chất bảo vệ của màng được gia cường.

Như vậy, khi đưa PANI/ZnO với nồng độ 1% vào màng PU thì các tính chất cơ lý và khả năng bảo vệ của màng PU đã tăng lên so với màng PU ban đầu.

4. KẾT LUẬN

Đã tổng hợp thành công nanocomposite PANI/ZnO và chế tạo lớp phủ PU chứa 1% PANI/ZnO. Các lớp phủ này được khảo sát tính chất cơ lý và khả năng bảo vệ ăn mòn trong môi trường NaCl 3%. Tại nồng độ 1% PANI/ZnO, độ bền va đập của màng PU đạt 200 kg.cm, độ bám dính đạt 1,53 Mpa và khả năng chịu mài mòn tăng lên 32% so với màng PU ban đầu. Khả năng che chắn của màng PU chứa PANI/ZnO vẫn đạt $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$ sau 4 tuần thử nghiệm trong môi trường NaCl 3%. Như vậy, PANI/ZnO có khả năng gia cường các tính chất cơ lý và bảo vệ chống ăn mòn cho lớp phủ polyuretan tại nồng độ 1%.

LỜI CẢM ƠN

Công trình này được hỗ trợ bởi Nhiệm vụ Hợp tác quốc tế cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, mã số QTBY02.01/24-25.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vũ Quốc Trung và cộng sự, *Nghiên cứu hiện tượng tự bảo vệ của polypyrrole và ứng dụng làm lớp phủ thông minh chống ăn mòn*. Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp quốc gia, mã số 104.02-2013.69, Hà Nội, 2018.
- [2]. Trương Ngọc Liên, *Ăn mòn và bảo vệ kim loại - Quyển 2*. Nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội, Hà Nội, 2023.
- [3]. Halima Khatoon, Sharif Ahmad, "Vanadium Pentoxide-Enwrapped Poly-diphenylamine/Polyurethane Nanocomposite: High-Performance Anti-corrosive Coating," *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(2), 2374-2385, 2019.
- [4]. M. S. Fuhrer, C. N. Lau, A. H. MacDonald, "Graphene: materially better carbon," *MRS Bulletin*, 35(4), 289-295, 2010.
- [5]. Phạm Minh Tuấn, *Nghiên cứu tổng hợp và chế biến dẫn xuất PANI ứng dụng chế tạo vật liệu bảo vệ*. Luận án Tiến sĩ Hóa học, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự, Hà Nội, 2014.
- [6]. Swapnil G. Dhole, Satish A. Dake, Tejpunj A. Prajapati, Sangram N. Helambe, "Effect of ZnO filler on structural and optical properties of polyaniline-ZnO nanocomposites," *Procedia Manufacturing*, 20, 127-134, 2018.

[7]. To Thi Xuan Hang, Ngo Thanh Dung, Trinh Anh Truc, Nguyen Thuy Duong, Bui Van Truoc, Pham Gia Vu, Thai Hoang, Dinh Thi Mai Thanh, Marie-Georges Olivier, "Effect of silane modified nano ZnO on UV degradation of polyurethane coatings," *Progress in Organic Coatings*, 79, 68-74, 2014.

[8]. Amir Mostafaei, Farzad Nasirpour, "Epoxy/polyaniline-ZnO nanorods hybrid nanocomposite coatings: Synthesis, characterization and corrosion protection performance of conducting paints," *Progress in Organic Coatings*, 77(1), 146-159, 2014.

[9]. Boi An Tran, Huynh Thanh Linh Duong, Thi Xuan Hang To, Thanh Thao Phan, "Synthesis and characterization of polyaniline-hydrothermal-graphene oxide composite and application in polyurethane coating," *RSC Adv.*, 11, 31572-31582, 2021.

[10]. Kamalon Rajitha, Kikkeri Narasimha Shetty Mohana, Mahesh Bhaskar Hegde, Saurav Ramesh Nayak, Ningappa Kumara Swamy, "Fabrication of ZnO/rGO and ZnO/MWCNT nanohybrids to reinforce the anticorrosion performance of polyurethane coating," *FlatChem*, 24, 100208, 2020.

[11]. Abdolreza Mirmohseni, Mortaza Rastgar, Ali Olad, "Preparation of PANI-CuZnO ternary nanocomposite and investigation of its effects on polyurethane coatings antibacterial, antistatic, and mechanical properties," *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 8, 473-481, 2018.

[12]. Amir Mostafaei, Ashkan Zolriasatein, "Synthesis and characterization of conducting polyaniline nanocomposites containing ZnO nanorods," *Progress in Natural Science: Materials International*, 22(4), 273-280, 2012.

[13]. Dhonluck Manop, Chailoek Tanghengjaroen, Chatchai Putson, Panya Khaenamkaew, "The effect of polyaniline composition on the polyurethane/polyaniline composite properties: The enhancement of electrical and mechanical properties for medical tissue engineering," *AIMS Materials Science*, 11(2), 323-342, 2024.

[14]. B.N. Grgur, A.R. Elkais, M.M. Gvozdenović, S.Ž. Drmanić, T.Lj. Trišović, B.Z. Jugović, "Corrosion of mild steel with composite polyaniline coatings using different formulations," *Progress in Organic Coatings*, 79, 17-24, 2015.

AUTHORS INFORMATION

Thai Thu Thuy¹, Dao Duy Manh², Le Diem Quynh², Do Thu Chieu², Dam Xuan Thang², Pham Thi Tham², Nguyen Thuy Duong¹

¹Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

²Hanoi University of Industry, Vietnam