

MỘT SỐ KẾT QUẢ KHẢO SÁT TÍNH CHẤT CƠ LÝ VÀ KHẢ NĂNG CHỐNG HÀ CỦA SƠN EPOXY KẾT HỢP NANOCOMPOSITE Cu/SiO₂

SOME EVALUATION RESULTS OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES AND ANTIFOULING OF EPOXY PAINT USING NANOCOMPOSITE Cu/SiO₂

ĐỖ ĐÌNH TRUNG^{1*}, NGUYỄN NGỌC LINH^{2*}

¹Viện Độ bền Nhiệt đới, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

²Khoa Dược, Trường Đại học Thành Đô

*Email liên hệ: ¹trungdodinh@mail.ru; ²nnlinh@thanhdowni.edu.vn

Tóm tắt

Đối với ngành hàng hải, thiệt hại từ những mảng lớn hà bám trên các vỏ tàu thuyền cũng như các công trình trên biển là vô cùng lớn. Hà bám trên bề mặt vỏ tàu làm tăng lực cản của nước biển lên thân tàu, giảm tính cơ động và hiệu suất hoạt động của tàu. Bài báo trình bày một số kết quả khảo sát tính chất cơ lý và khả năng chống hà của lớp phủ epoxy trên cơ sở nhựa epoxy (YD-128) và chất đóng rắn (G-5022) kết hợp nanocomposite Cu/SiO₂. Các tính chất cơ lý và thử nghiệm khả năng chống ăn mòn của lớp phủ epoxy được xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam, thử nghiệm khả năng chống hà được tiến hành theo ASTM D3623-78a. Kết quả nghiên cứu cho thấy, lớp phủ epoxy kết hợp với 1,0% nano Cu/SiO₂ làm tăng độ bám dính lên 14,57%, độ bền va đập tăng 9,09%, độ cứng màng sơn tăng 9,69%, độ mài mòn giảm 20,00%, độ gỉ đạt mức S0 sau 30 chu kỳ thử nghiệm mù muối. Sau 6 tháng thử nghiệm trong môi trường biển, phân bậc bám bẩn sinh học được đánh giá ở Bậc 4.

Từ khóa: Sơn chống hà, nhựa epoxy YD-128, chất đóng rắn G-5022, nanocomposite Cu/SiO₂, thử nghiệm mù muối.

Abstract

For the maritime industry, the damage from large plaques on the hulls of ships as well as structures at sea is enormous. Growth of fouling on a hull's surface increases the resistance of sea water to the ship, reduces the maneuverability and performance of the ship. This paper examined the influence of Cu/SiO₂ nanoparticles on physico-mechanical properties and antifouling of epoxy paint which combined epoxy resin YD-128 and hardener G-5022 with additive of nanocomposite Cu/SiO₂. The physico-mechanical properties and anticorrosion test of epoxy coating are determined

according to Vietnam standards, antifouling test of coating is carried out according to ASTM D3623-78a. The survey results showed that, the epoxy coating with additive of 1.0% Cu/SiO₂ nanoparticles, adhesion increased by 14.57%, impact resistance increased by 9.09%, hardness of epoxy coating increased by 9.69%, abrasion resistance decreased by 20.0%, the degree of rusting reached S0 after 30 cycles of salt fog testing. After 6 months of natural testing in the marine environment, the biofouling classification is assessed at level 4.

Keywords: Antifouling paint, epoxy resin YD-128, hardener G-5022, nanocomposite Cu/SiO₂, salt spray test..

1. Mở đầu

Hiện nay, các công trình biển được sơn phủ bằng lớp sơn epoxy đã nâng cao được hiệu quả chống ăn mòn và phá hủy của nước biển, tăng độ bền cho vật liệu kết cấu [1, 2]. Đối với tàu thuyền hoạt động trên biển, vỏ tàu được chế tạo từ vật liệu thép chiếm tỷ lệ lớn trong số các loại tàu biển nên chịu những tác hại vô cùng to lớn của hà biển bám trên bề mặt, hình thành những mảng bám lớn làm tăng lực cản của nước biển lên thân tàu [3]. Sử dụng lớp sơn phủ là giải pháp hữu hiệu để bảo vệ vỏ tàu, thuyền là vật liệu thép hạn chế được sự ăn mòn và khả năng chống hà bám, đồng thời đáp ứng yêu cầu bảo vệ môi trường sinh thái luôn là vấn đề cấp thiết hiện nay. Các loại sơn chống hà được các trung tâm nghiên cứu hay các hãng sơn lớn sản xuất liên tục nghiên cứu phát triển nhằm đáp ứng được nhu cầu thực tiễn đặt ra. Cơ chế chống hà có thể được chia thành các loại chính sau: i) Dựa trên sự khuếch tán của các độc tố có trong nguyên liệu tự nhiên hoặc đã qua sơ chế (nhựa các loại cây có chứa độc tố hay nhựa đường) có tác dụng gây độc cho hà và các động vật biển khác khi chúng bám vào vỏ tàu hay các công trình biển; ii) Dựa trên sự thủy phân của các độc chất trong thành phần màng sơn như tributyl thiếc (TBT), các hợp chất của

đồng,...; iii) Cơ chế hydrat hóa: Màng sơn phản ứng với nước để giải phóng độc tố, do đó màng sơn bị mài mòn dần; iv) Cơ chế không bám dính: Dựa trên độ phẳng gần như tuyệt đối và độ đàn hồi của màng sơn silicon, nên hà biển không thể bám trên bề mặt; v) Cơ chế tĩnh điện: Dựa trên sự cùng dấu điện tích âm giữa màng sơn và hà mà hà không thể bám được vào bề mặt sơn. Cơ chế này dựa trên các nghiên cứu có đến trên 90% loại hà biển trên thế giới đều mang điện âm [4, 5]. Trước kia, hợp chất hữu cơ của thiếc (Tributyl tin - TBT) được sử dụng rất hiệu quả trong thành phần sơn chống hà. Tuy nhiên, những nghiên cứu đã chỉ ra tác hại của TBT là gây rối loạn nội tiết, giảm khả năng bám của sinh vật biển. Vì thế, theo Công ước Quốc tế, từ năm 2003 TBT bị cấm sử dụng trong thành phần của sơn chống hà [4, 6]. Hiện nay, các loại sơn chống hà thường sử dụng Cu_2O là độc chất gây độc đối với hà [4]. Trong lĩnh vực vật liệu nano, nhóm nghiên cứu Sarkar D. [7] và Behzadinasab S. [8] đã nghiên cứu khả năng chống vi khuẩn, chống nấm, khử trùng và làm sạch bề mặt vật liệu của một số Nanocomposite. Các nghiên cứu về khả năng chống sinh vật biển thường sử dụng nhựa epoxy, acrylic,... làm chất tạo màng [9].

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu, hóa chất và dụng cụ

Nhựa epoxy mác YD-128X90 (Công ty Kukdo, Hàn Quốc); chất đóng rắn mác G-5022X70 (Công ty Kukdo, Hàn Quốc); nanocomposite Cu/SiO_2 (kích thước hạt $\text{Cu} < 100\text{nm}$, kích thước hạt $\text{Cu}/\text{SiO}_2 < 10\mu\text{m}$; được tổng hợp tại Học viện Kỹ thuật quân sự, Việt Nam); xylene AR (Xilong, Trung Quốc); butyl acetate AR (Xilong, Trung Quốc); acetone AR (Xilong, Trung Quốc); thép tấm Ct-3 (Việt Nam); tấm hợp kim nhôm (Việt Nam).

Súng phun sơn (Lanest, Japan); bể siêu âm S10 (Elma, Đức); cân phân tích (ACE, Đức); cân kỹ thuật PR2202/E (Ohaus, Hoa Kỳ); cốc thủy tinh 100ml (Schott-Duran, Germany); đĩa thủy tinh (Trung Quốc).

2.2. Chuẩn bị dung dịch sơn

Nano Cu/SiO_2 được phân tán vào dung môi Butyl acetate trong bể siêu âm. Dung dịch nhựa epoxy được thêm từ từ vào hỗn hợp trên và tiếp tục được đưa vào bể siêu âm khoảng 30 phút đến khi tạo hỗn hợp đồng nhất.

Bảng 1. Số liệu thủy lý, thủy hóa nước biển trung bình và sinh khối bám bẩn [20]

Thông số	Nhiệt độ, °C	Độ mặn, ‰	Độ pH	Nồng độ O_2 hòa tan, mg/l	Sinh khối bám bẩn, g/m ² /năm
Giá trị	25,1 - 28,3	32 - 34	8,1 - 8,4	5,55 - 6,95	66,7 - 344,4

Bảng 2. Thành phần các mẫu sơn khảo sát (phần khối lượng)

Ký hiệu mẫu	Nhựa epoxy YD-128	Chất đóng rắn G-5022	Nanocomposite Cu/SiO_2
KT00	50,00	50,00	0,00
1KT01	49,95	49,95	0,10
1KT05	49,75	49,75	0,50
1KT10	49,50	49,50	1,00

Bảng 3. Một số tính chất cơ lý của lớp phủ epoxy

Ký hiệu mẫu	Độ bóng, GU	Độ bám dính, MPa	Độ bền va đập, kg.cm	Độ cứng	Độ mài mòn, mg
KT00	110,5	4,46	110	0,53	0,025
1KT01	110,8	4,66	110	0,53	0,025
1KT05	111,9	4,90	115	0,55	0,023
1KT10	111,1	5,11	120	0,58	0,022

Bảng 4. Một số tính chất cơ lý khác của lớp phủ epoxy

Ký hiệu mẫu	Độ bền uốn, mm	Độ dày lớp sơn, μm
KT00	1	41,2
1KT01	1	38,8
1KT05	1	42,1
1KT10	1	39,5

Nhựa epoxy YD-128 và chất đóng rắn G-5022 được chuẩn bị theo tỷ lệ nhựa epoxy YD-128/chất đóng rắn G-5022 = 1,0/1,3 (phần khối lượng) [9]. Dung dịch sơn bao gồm nhựa epoxy YD-128, chất đóng rắn G-5022, nano Cu/SiO₂ và dung môi. Hỗn hợp này được khuấy trộn ở nhiệt độ phòng đến khi tạo dung dịch đồng nhất trước khi phủ lên bề mặt các tấm mẫu thép Ct-3 và tấm hợp kim nhôm.

2.3. Chuẩn bị mẫu thử nghiệm

Các mẫu sơn khảo sát chống hà được sơn phủ trực tiếp một lớp và phủ một lần lên bề mặt các tấm thép Ct-3 (độ dày các lớp phủ được xác định và tổng hợp trong Bảng 4).

Các tấm thép Ct-3 với kích thước L x W x H = 150mm x 75mm x 2mm được phủ lớp sơn epoxy để thực hiện đánh giá độ bóng, độ cứng, độ bám dính, độ bền va đập, khả năng chống ăn mòn và chống hà.

Các tấm thép với kích thước L x W x H = 100mm x 100mm x 2 mm được phủ lớp sơn epoxy để thực hiện đánh giá độ mài mòn trên thiết bị Taber, sử dụng bánh mài CS-17.

Các tấm hợp kim nhôm với kích thước L x W x H = 150mm x 10mm x 0,2mm được phủ lớp sơn epoxy để đánh giá độ bền uốn.

Lớp phủ epoxy được làm khô tại nhiệt độ phòng trong ít nhất 7 ngày, sau đó các mẫu sơn này được đánh giá các chỉ tiêu cơ lý và các tính chất khác.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Độ bóng lớp sơn được xác định theo TCVN 2101:2016, với góc đo 60° trên thiết bị Rhopoint 3 góc đo 20/60/85 [11].

Độ dày lớp sơn được xác định bằng phương pháp siêu âm theo TCVN 9760:2013 trên thiết bị Positector 6000 [12].

Độ cứng lớp sơn được xác định là độ cứng tương đối, được thực hiện bằng phép thử dao động tắt dần của con lắc Persoz theo TCVN 2098:2007 [13].

Độ bám dính của lớp sơn được xác định bằng phương pháp kéo pull-off trên thiết bị Positest AT-A theo ISO 4624:2016 [14].

Độ bền va đập của lớp sơn được xác định theo phương pháp trọng tải rơi với mũi ấn diện tích lớn theo TCVN 2100-1:2013 [15].

Độ bền uốn được xác định theo phương pháp trực tiếp hình trụ theo TCVN 2099:2013 [16].

Độ mài mòn của màng sơn được xác định theo TCVN 10061-1:2013, thiết bị Taber sử dụng bánh mài CS-17, tốc độ quay 60 vòng/phút. Độ mài mòn được

tính toán sau 300 vòng [17].

Thử nghiệm gia tốc mù muối được tiến hành theo TCVN 8792:2011 [18], với thử nghiệm phun mù muối trung tính (NSS), nồng độ dung dịch NaCl 5%, pH 6,5 - 7,2, nhiệt độ buồng thử 35°C, tốc độ phun 200 mL/giờ.

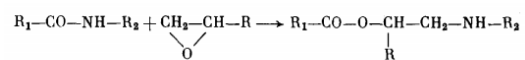
Thử nghiệm chống hà được thực hiện theo ASTM D3623-78a [19], tại địa điểm Trạm thử nghiệm biển Đàm Báy (Tp. Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa) với các thông số thủy lý, thủy hóa nước biển và sinh khối bám bản được tổng hợp trong Bảng 2.

3. Kết quả và thảo luận

Tỷ lệ khảo sát nano Cu/SiO₂, nhựa epoxy YD-128 và chất đóng rắn G-5022 được đưa ra trong Bảng 2.

3.1. Khảo sát các tính chất cơ lý của lớp phủ

Những tính chất ưu việt của vật liệu epoxy là khả năng bám dính tốt, chịu va đập và độ mài mòn thấp so với các loại vật liệu khác, là do phản ứng hóa học mở vòng nhóm epoxy (trong nhựa epoxy YD-128) bởi nhóm amide (trong chất đóng rắn G-5022). Phản ứng không tạo ra các sản phẩm phụ (như H₂O, CO₂,...) nên vật liệu epoxy có độ co ngót thấp, độ bền cao,... Phản ứng hóa học giữa nhóm epoxy và nhóm amide được mô tả trong Hình 1 [21].

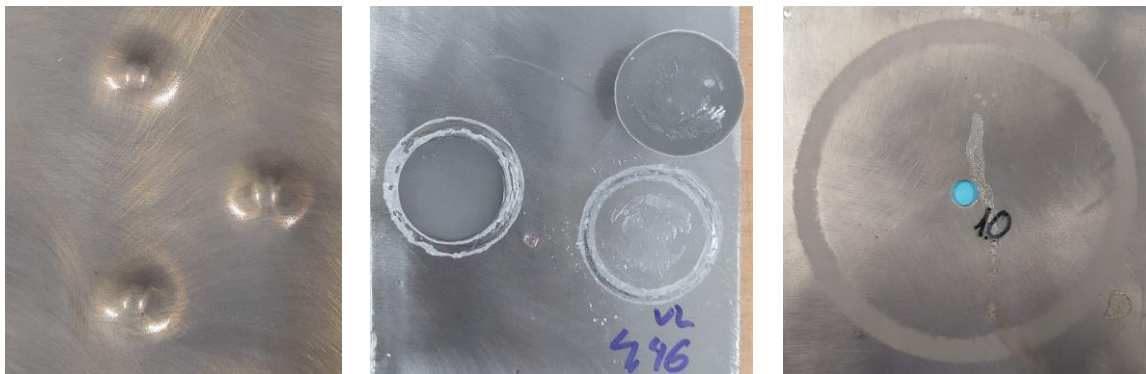


Hình 1. Phản ứng giữa nhóm epoxy và nhóm amide

Trong nghiên cứu này đã khảo sát một số tính chất cơ lý của lớp phủ epoxy kết hợp với nano Cu/SiO₂. Các tính chất đó là: Độ bóng, độ bám dính, độ bền va đập, độ cứng và độ mài mòn của lớp phủ epoxy. Các kết quả xác định được tổng hợp trong Bảng 3.

Các kết quả trong Bảng 3 cho thấy, với hàm lượng 0,1% nano Cu/SiO₂, độ bóng lớp sơn epoxy có sự thay đổi rất nhỏ (tăng 0,27%). Với hàm lượng nano Cu/SiO₂ lớn hơn là 0,5% hay 1,0%, độ bóng lớp sơn epoxy tăng thêm 1,27% và 0,54%. Với lớp phủ epoxy chứa 0,1%, 0,5% và 1,0% nano Cu/SiO₂, độ bám dính của lớp phủ epoxy trên nền thép Ct-3 tăng lần lượt 4,48%, 9,86% và 14,57%.

Với hàm lượng 0,1% nano Cu/SiO₂ trong thành phần lớp phủ epoxy, độ bền va đập, độ cứng và độ mài mòn không thay đổi. Tuy nhiên, với lớp phủ epoxy kết hợp với 0,5% hay 1,0% nano Cu/SiO₂, các tính chất này có sự thay đổi rõ rệt. Với 0,5% nano Cu/SiO₂, độ bền va đập tăng 4,55%, độ cứng tăng 4,48% và độ mài



Xác định độ bền va đập

Xác định độ bám dính

Xác định độ mài mòn

Hình 2. Hình ảnh các tấm mẫu sau thử nghiệm

Bảng 5. Các kết quả đánh giá sau 30 chu kỳ thử nghiệm (720 giờ)

Ký hiệu mẫu	Độ phòng rộp	Độ gỉ	Độ rạn nứt	Độ bong tróc	Độ bám dính, MPa
KT00	S5	Ri 5	S2	S2	4,21
1KT01	S5	Ri 4	S2	S2	4,38
1KT05	S2	Ri 1	S2	S2	4,72
1KT10	S0	Ri 0	S1	S2	5,00

mòn giảm 8,00%. Với 1,0%, độ bền va đập tăng 9,09%, độ cứng tăng 9,69% và độ mài mòn giảm 20,00%

Các kết quả trên cho thấy, các tính chất cơ lý của lớp phủ epoxy đã được cải thiện rõ rệt khi kết hợp với nano Cu/SiO₂ tạo lớp phủ có độ bóng cao, tăng khả năng bám dính, độ cứng cao, độ bền va đập cao và khả năng chịu mài mòn vượt trội. Điều này có thể được giải thích như sau: Với các vật liệu hạt rắn thông thường, khi tăng hàm lượng của chúng trong lớp phủ epoxy làm giảm độ bóng, nhưng với nano Cu/SiO₂ với kích thước nano đã dễ dàng phân tán vào cấu trúc vật liệu epoxy tạo ra khối vật liệu với mật độ đặc khít, chặt chẽ hơn. Hơn nữa, nano Cu (trong nanocomposite Cu/SiO₂) cũng dễ dàng tạo liên kết với các nhóm hydroxyl trong cấu trúc mạch của nhựa epoxy tạo ra cấu trúc vật liệu bền vững hơn [22]. Bên cạnh đó, các hạt nano kim loại có độ cứng cao đã gia cường thêm tính chịu mài mòn cho lớp phủ epoxy. Do đó, các tính chất cơ lý của lớp phủ epoxy được nâng lên khi có sự kết hợp với nano Cu/SiO₂.

Ngoài việc đánh giá các tính chất cơ lý trên, nghiên cứu này đã khảo sát độ bền uốn và độ dày của lớp phủ epoxy theo các tiêu chuẩn ISO tại hệ thống Vilas 938. Các kết quả xác định được tổng hợp trong Bảng 4.

Kết quả trong Bảng 4 chỉ ra rằng, sự bổ sung nano

Cu/SiO₂ vào lớp phủ epoxy không làm thay đổi độ bền uốn, việc tạo lớp sơn epoxy bằng phương pháp phun có độ dày tương đối đồng đều.

Một số hình ảnh các tấm mẫu sau khi xác định các tính chất cơ lý được thể hiện trên Hình 2.

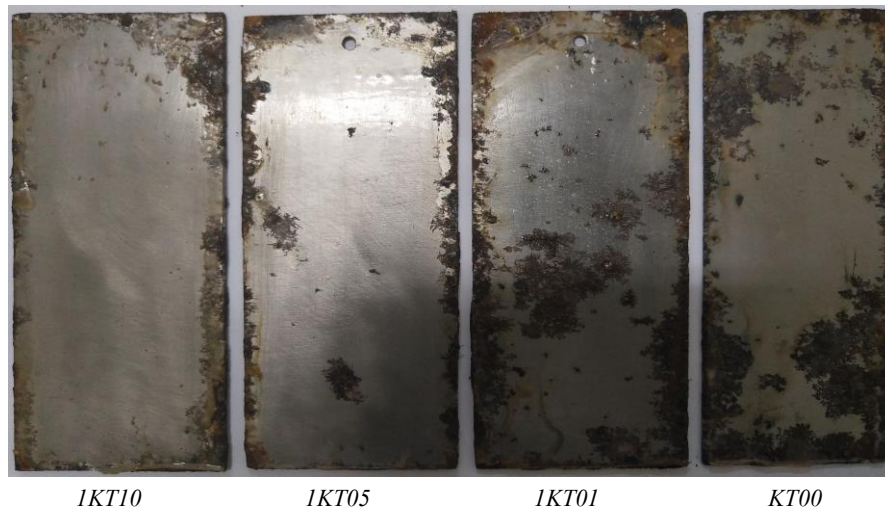
3.2. Khảo sát khả năng chống ăn mòn

Các lớp phủ đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ chống lại sự ăn mòn kết cấu thép trong điều kiện khí hậu biển nhiệt đới, vì vậy phép thử nghiệm mù muối đối với lớp phủ epoxy có ý nghĩa thực tiễn cao.

Bề mặt các tấm mẫu thử nghiệm được đánh giá theo các chỉ tiêu: Độ phòng rộp (TCVN 12005-2:2017) [23], độ gỉ (TCVN 12005-3:2017) [24], độ rạn nứt (TCVN 12005-4:2017) [25], độ bong tróc (TCVN 12005-5:2017) [26], độ bám dính (ISO 4624:2016) [27]. Đánh giá bề mặt các mẫu thử nghiệm cho thấy:

1) Sau 20 chu kỳ thử nghiệm (tương đương với 480 giờ): Độ phòng rộp, độ gỉ, độ rạn nứt, độ bong tróc trên bề mặt các tấm mẫu thử nghiệm không có sự thay đổi.

2) Sau 30 chu kỳ thử nghiệm (tương đương với 720 giờ): Độ phòng rộp, độ gỉ, độ rạn nứt, độ bong tróc của lớp phủ trên bề mặt tấm mẫu thử đã có sự thay đổi khá rõ nét đối với các lớp phủ kết hợp với 0,1% và 0,5% nano Cu/SiO₂. Tuy nhiên, với lớp phủ epoxy



Hình 3. Hình ảnh các mẫu sau 30 chu kỳ thử nghiệm



Hình 4. Bề mặt các mẫu thử nghiệm khả năng chống hà

kết hợp 1,0% nano Cu/SiO₂, độ phòng rộp và độ gỉ chưa có sự thay đổi, độ rạn nứt đạt mức S1, độ bong tróc đạt mức S2, độ bám dính trên nền thép Ct-3 giảm 2,15% so với lớp phủ epoxy không sử dụng nano Cu/SiO₂. Ở hàm lượng sử dụng nano Cu/SiO₂ thấp

hơn là 0,5% và 0,1%, độ bám dính giảm lần lượt 3,67% và 6,00%. Độ gỉ của bề mặt tấm thép được phủ thử nghiệm có thể đánh giá theo TCVN 8790:2011, đạt cấp A (với tấm mẫu 1KT05), cấp C (với tấm mẫu 1KT01 và KT00).

Những kết quả thử nghiệm mù muối trên cho thấy khả năng chống ăn mòn và chịu nước biển của lớp phủ epoxy là khá tốt. Các kết quả đánh giá được tổng hợp trong Bảng 5. Hình ảnh bề mặt các mẫu sơn thử nghiệm gia tốc mù muối được minh họa trong Hình 3.

3.3. Thử nghiệm khả năng chống hà

Với định hướng sử dụng nano Cu/SiO₂ trong lớp phủ epoxy chống hà biển, nghiên cứu đã tiến hành thử nghiệm tự nhiên chống hà biển tại trạm thử nghiệm biển Đầm Báy (TP. Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa), vị trí của trạm thử nghiệm có đặc điểm môi trường biển tương tự khu vực biển Cam Ranh, là vùng có nhiều tàu thuyền quân sự cũng như tàu thuyền dân sự neo đậu, vì thế kết quả thử nghiệm mang tính thực tiễn ứng dụng cao.

Đánh giá khả năng chống hà biển [28], trong thời gian 6 tháng thử nghiệm cho thấy,

Sau 3 tháng thử nghiệm: Bắt đầu xuất hiện các sinh vật biển (rong, rêu,...) bám trên bề mặt mẫu, mức độ bám dày hơn ở mẫu sơn sử dụng 0,1% và 0,5% nano Cu/SiO₂, phân bậc bám bẩn sinh vật biển được đánh giá ở Bậc 3 (Từ 10% đến 20% diện tích bị sinh vật biển bám), mức độ bám thưa hơn ở mẫu sơn chứa 1,0% nano Cu/SiO₂, được đánh giá ở Bậc 5.

Sau 6 tháng thử nghiệm: Mẫu sơn không kết hợp hoặc kết hợp đến 0,5% nano Cu/SiO₂, số lượng hà bám tăng nhanh (chiếm khoảng 20% - 50% diện tích bề mặt mẫu thử), phân bậc bám bẩn ở Bậc 2. Mẫu sơn kết hợp nano Cu/SiO₂ ở hàm lượng cao hơn (1,0%), tuy chưa xuất hiện hà bám nhưng đã có một số điểm ấu trùng đang làm tổ và một vài cá thể sinh vật biển bám trên bề mặt, tương ứng với phân bậc bám bẩn sinh vật biển ở Bậc 4. Hình ảnh các tấm mẫu thử nghiệm chống hà trên Hình 4.

4. Kết luận

Đối với sơn chống hà, ngoài yêu cầu chống hà bám thì các tính chất cơ lý và khả năng chịu nước biển cũng không kém phần quan trọng. Các kết quả nghiên cứu và khảo sát trong công trình này cho thấy, với sự kết hợp 1,0% nano Cu/SiO₂ trong lớp phủ epoxy đã cải thiện rõ rệt các tính chất cơ lý, tăng khả năng chịu nước biển và tăng khả năng chống hà cho lớp phủ epoxy. Kết quả nghiên cứu góp phần định hướng ứng dụng thực tế cho sản phẩm sơn epoxy kết hợp nano Cu/SiO₂ vào việc sơn phủ bề mặt tàu vỏ thép cũng như các công trình hoạt động và khai thác trên biển, hải đảo và ven biển thuộc vùng khí hậu biển nhiệt đới Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Xvichic A. A., Ivonhin V. N. (1998), *Phân tích sự thay đổi trạng thái kỹ thuật các chi tiết kỹ thuật trong khí hậu nhiệt đới có sử dụng phương trình hồi quy tổng quát*, Tuyển tập các báo cáo khoa học, Quyển III, tr.49-54.
- [2] Osminop V. A. (1998), *Độ bền nhiệt đới và các phương pháp nhiệt đới hóa các sản phẩm chế tạo máy là hệ thống kỹ thuật phức tạp*. Trung tâm nhiệt đới Việt - Nga - Tuyển tập các báo cáo khoa học, Quyển III, tr.7-25.
- [3] Michael P. Schultz (2007), *Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering*. Biofouling, Vol. 23 (5), pp.331-341.
- [4] Marlène Lejars, André Margailan and Christine Bressy (2012), *Fouling release coatings: A nontoxic alternative to biocidal antifouling coatings*. Chemical reviews, Vol.112, pp.4347-4390.
- [5] Lê Thị Thu Hà và cộng sự (2010), *Nghiên cứu công nghệ chế tạo sơn chống hà trên cơ sở dầu vỏ hạt điều nhằm thay thế hàng nhập khẩu*, Báo cáo Tổng kết đề tài, tr.11-12, Hà Nội.
- [6] Pereira M., Ankjaergaard C. (2009), *Advances in marine antifouling coatings and technology*. Woodshead publishing: Cambridge, UK, p.240.
- [7] Sarkar D., Khare D., Kaushal A., Acharya C., Bahadu J., Prakash J. and Dasgupta K (2019), *Green and scalable synthesis of nanosilver loaded silica microparticles by spray-drying: application as antibacterial agent, catalyst and SERS substrate*. Applied Nanoscience, Vol.9, Issue.8, pp.1925-1937.
- [8] Behzadinasab S., Chin A., Hosseini M., Poon L. and Ducker W. A. (2020), *A surface coating that rapidly inactivates SARS-CoV-2*. ACS Applied Materials & Interfaces, Vol.12, Issue.21, pp.34723-34727.
- [9] Туисов А. Г., Белоусов А. М. (2007), *Исследование влияния модификация эпоксидного связующего для стеклопластиков активным разбавителем ДЭГ-1*. Ползуновский вестник № 4, стр.180-190.
- [10] Kukdo Chemical Co. Ltd, *Kukdo epoxy resins and hardeners*. [Online], Available: <http://www.lghemija.co.rs/partners/pdf/Kukdopdf.pdf>, [Accessed July 7, 2023].
- [11] TCVN 2101:2016. *Sơn và vecni - Xác định giá trị độ bóng ở 20°, 60° và 85°*.

- [12] TCVN 9760:2013. Sơn và vecni - Xác định độ dày màng.
- [13] TCVN 2098:2007. Sơn và vecni - Phép thử dao động tắt dần của con lắc.
- [14] ISO 4624:2016. Paints and vanishes - Pull-off test for adhesion.
- [15] TCVN 2100-1:2013. Sơn và vecni- Phép thử biến dạng nhanh (độ bền va đập) - Phần 1: Phép thử tải trọng rơi, mũi ấn có diện tích lớn.
- [16] TCVN 2099:2013. Sơn và vecni - Phép thử uốn (trục hình trụ).
- [17] TCVN 11474:2016. Lớp phủ hữu cơ - Xác định độ chịu mài mòn bằng thiết bị Taber.
- [18] TCVN 8792:2011. Sơn và lớp phủ bảo vệ kim loại - Phương pháp thử mù muối.
- [19] ASTM D3623-78a. Standard test method for testing antifouling panels in shallow submergence.
- [20] Nguyễn Văn Chi, Đồng Văn Kiên, Bùi Bá Xuân, Mai Văn Minh, Phan Bá Tứ và Nguyễn Văn Triệu (2018), Thử nghiệm đánh giá hiệu quả của một số loại sơn chống hà tiêu biểu cho tàu biển, Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt đới, Số 15, tr.58-65.
- [21] Komarova L. I., Salazkin S. N., Vygodskii Ya. S. and Vinogradova S. V. (1990), *New polymers and polymeric systems based on epoxide oligomers and polyheteroarylenes - Review*. Polymer science U.S.S.R, Vol.32 (8), pp.1493-1514.
- [22] Bernabé L. Rivas, Eduardo D. Pereira and Ignacio Moreno-Villoslada (2003). *Water-soluble polymer-metal ion interactions*. Progress in polymer science. Vol.28, pp.173-208.
- [23] TCVN 12005-2:2017. Sơn và vecni - Đánh giá sự suy biến của lớp phủ - Ký hiệu số lượng, kích cỡ của khuyết tật và mức biến đổi đồng nhất về ngoại quan - Phần 2: Đánh giá độ phồng rộp.
- [24] TCVN 12005-3:2017. Sơn và vecni - Đánh giá sự suy biến của lớp phủ - Ký hiệu số lượng, kích cỡ của khuyết tật và mức biến đổi đồng nhất về ngoại quan - Phần 3: Đánh giá độ gỉ.
- [25] TCVN 12005-4:2017. Sơn và vecni - Đánh giá sự suy biến của lớp phủ - Ký hiệu số lượng, kích cỡ của khuyết tật và mức biến đổi đồng nhất về ngoại quan - Phần 4: Đánh giá độ rạn nứt.
- [26] TCVN 12005-5:2017. Sơn và vecni - Đánh giá sự suy biến của lớp phủ - Ký hiệu số lượng, kích cỡ của khuyết tật và mức biến đổi đồng nhất về ngoại quan - Phần 5: Đánh giá độ bong tróc.
- [27] ISO 4624:2016. Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion.
- [28] Гуревич Е. С., Искра Е. В. (1978), Куцевалова Е. П., *Защита морских судов от обрастания*. Ленинград Судостроение, стр.132-136.

Ngày nhận bài:	13/07/2023
Ngày nhận bản sửa:	24/07/2023
Ngày duyệt đăng:	01/08/2023