

# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO HỆ LỚP PHỦ COMPOSITE CHỐNG ẪN MÒN ĐƯỜNG ỐNG KIM LOẠI TẠI VỊ TRÍ GỐI ĐỠ

Nguyễn Thị Lê Hiền, Nguyễn Đình Dũng, Phạm Thị Hương, Đoàn Thành Đạt

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: hienntl@vpi.pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2022.05-04>

## Tóm tắt

Hệ lớp phủ bao gồm 3 lớp trên cơ sở lớp sơn lót chống ăn mòn epoxy chứa graphene, lớp keo trám MS polymer và tấm lót đường ống polyester gia cường sợi thủy tinh đã được nghiên cứu nhằm ứng dụng chống ăn mòn cho đường ống tại vị trí gối đỡ. Graphene được phân tán với hàm lượng 100 ppm trong epoxy để tạo thành lớp phủ lót composite nhằm cải thiện độ bám dính, đặc tính cơ lý và khả năng chống ăn mòn so với lớp phủ epoxy không chứa graphene. Polyester được gia cường sợi thủy tinh với hàm lượng 20% cho phép tăng độ bền và đập và tăng hiệu quả kinh tế của tấm lót đường ống. Lớp keo MS polymer chứa silicone cho phép tạo độ bám dính cao giữa tấm đỡ đường ống và đường ống đã được sơn phủ, với độ đàn hồi tốt cho phép tăng độ bền và đập của hệ phủ và cách ly hoàn toàn đường ống với môi trường, loại bỏ quá trình ăn mòn khe và ăn mòn galvanic đường ống tại vị trí gối đỡ.

**Từ khóa:** Ăn mòn đường ống tại vị trí gối đỡ, epoxy/graphene, MS polymer, polyester gia cường.

## 1. Giới thiệu

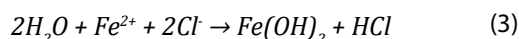
Trên các công trình dầu khí, bên cạnh quá trình ăn mòn bên trong các đường ống còn chịu tác động ăn mòn bên ngoài khá nghiêm trọng trong môi trường biển hoặc khí quyển biển, đặc biệt tại các vị trí gối đỡ. Quá trình ăn mòn đường ống tại các vị trí gối đỡ diễn ra chủ yếu theo cơ chế ăn mòn khe và được mô tả qua các giai đoạn sau:

- Tại vị trí gối đỡ đường ống, luôn tồn tại khe hẹp, tạo điều kiện "bẫy nước", tạo môi trường ẩm chứa các tác nhân ăn mòn (oxygen hòa tan, ion chloride Cl...) ngưng tụ, khó bay hơi và tích tụ trong thời gian dài;
- Trong khe hẹp, lớp sơn phủ bảo vệ đường ống bị ngâm lâu trong môi trường ẩm theo thời gian bị hư hỏng, bong tróc;
- Tại vị trí lớp sơn phủ bị hư hỏng, đường ống thép tiếp xúc trực tiếp với môi trường ẩm chứa ion chloride, kim loại sẽ bị ăn mòn theo cơ chế ăn mòn như sau:

Phản ứng oxy hóa (ăn mòn):



Phản ứng khử:



Trên bề mặt kim loại luôn tồn tại sự chênh lệch điện thế dẫn đến phân hóa thành vùng anode và cathode. Tại vùng anode, kim loại có điện thế bề mặt âm hơn dễ dàng bị oxy hóa theo phản ứng (1). Tại vùng cathode, nơi kim loại có điện thế dương hơn sẽ xảy ra phản ứng khử theo phương trình (2) và điện tử chuyển từ vùng anode sang vùng cathode tạo thành mạch điện khép kín và quá trình ăn mòn điện hóa xảy ra do sự khử phân cực của oxygen hòa tan. Trong khe hẹp, phản ứng ăn mòn điện hóa bị khống chế bởi quá trình khuếch tán, khi oxygen hòa tan trong môi trường ẩm tại khe hẹp bị phản ứng hết, phản ứng (2) bị hạn chế và phản ứng (3) sẽ xảy ra tạo môi trường acid, dẫn đến tốc độ ăn mòn thép cục bộ tại vị trí gối đỡ tăng lên gấp rất nhiều lần [1, 2]. Sự tiếp xúc giữa 2 kim loại không đồng nhất (đường ống/gối đỡ), hình thành tế bào galvanic cũng là nguyên nhân làm tăng tốc quá trình ăn mòn tại vị trí gối đỡ.

Để bảo vệ chống ăn mòn bên ngoài cho các đường ống, sơn phủ chống ăn mòn được áp dụng phổ biến nhất [2]. Việc kiểm tra chất lượng lớp sơn phủ bên ngoài đường



Ngày nhận bài: 26/3/2022. Ngày phân biên đánh giá và sửa chữa: 26/3 - 27/4/2022.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 20/5/2022.



**Hình 1.** Hình ảnh ăn mòn đường ống tại vị trí gối đỡ.

ống được thực hiện thường xuyên và định kỳ nhằm phát hiện và sửa chữa kịp thời các vị trí lớp phủ hư hỏng, bong tróc và xuống cấp [3]. Tuy nhiên, trên thực tế tại các vị trí gối đỡ, việc sử dụng lớp sơn phủ chống ăn mòn không còn hiệu quả sau một thời gian vận hành và luôn tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn, khó kiểm soát. Bên cạnh đó, ăn mòn đường ống tại vị trí gối đỡ thường rất khó quan sát và phát hiện bởi các phương pháp kiểm tra không phá hủy thông thường [4] và chỉ được phát hiện khi quá trình ăn mòn đã tương đối nghiêm trọng. Việc sửa chữa ăn mòn tại các vị trí gối đỡ cũng gặp khó khăn, tiêu tốn chi phí không nhỏ và đặc biệt khó xử lý triệt để.

Trong thực tế có nhiều biện pháp để giảm thiểu ăn mòn, tuy nhiên mỗi giải pháp đều có hạn chế nhất định.

Composite là vật liệu được nghiên cứu ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực chống ăn mòn. Sử dụng các phụ gia, chất độn, chất gia cường đưa vào trong thành phần nhựa cho phép thay đổi và cải thiện các tính chất cơ lý của nhựa, sơn gốc mà trong nhiều trường hợp còn có thể giúp giảm giá thành sản phẩm, mang lại hiệu quả kinh tế cao.

Composite trên cơ sở epoxy là loại composite được nghiên cứu ứng dụng sớm nhất [5]. Epoxy có độ bền ăn

mòn cao và độ bám dính tốt tuy nhiên lại không bền tử ngoại nên trước đây chỉ được sử dụng làm lớp phủ lót chống ăn mòn. Nhiều lớp sơn phủ trên cơ sở epoxy giàu kẽm, chứa phoi nhôm... đã được áp dụng thực tế cho tuổi thọ rất cao [6], có thể lên tới trên 15 năm. Để cải thiện độ bền tử ngoại cũng như các đặc tính hóa lý, các lớp phủ epoxy biến tính - modified epoxy [7 - 9] hoặc composite trên cơ sở epoxy đã được nghiên cứu, ứng dụng. Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra việc phân tán các vật liệu nano (như graphene, nanocarbon...) trong epoxy tạo các nanocomposite cho phép tăng khả năng chống ăn mòn, độ bền tử ngoại, cải thiện độ bám dính và kháng nước của lớp phủ [10, 11].

MS polymer là loại keo trám được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp nói chung và công nghiệp dầu khí nói riêng, có khả năng bám dính cao, che chắn tốt, ngăn nước và ngăn khí, mềm dẻo và đàn hồi [12 - 17].

Nhựa polyester là loại nhựa nhiệt rắn, thường được sử dụng làm vật liệu nền trong vật liệu composite. Khi sử dụng các vật liệu gia cường như sợi thủy tinh có thể tạo các vật liệu composite (FRP) có đặc tính cơ lý cao, cho phép chế tạo các đường ống dẫn chịu hóa chất, môi trường; các lớp phủ chống ăn mòn bên trong và bên ngoài các đường ống, bồn bể chứa và thiết bị; chế tạo các gá đỡ các bộ phận tàu thủy... [18 - 22]. Tuy nhiên, các nghiên cứu cụ thể cho đường ống tại các vị trí gối đỡ lại rất hạn chế.

Với đặc tính vượt trội, vật liệu composite có thể chế tạo được các lớp bọc phủ với chiều dày mong muốn (có thể dày hơn nhiều so với lớp sơn phủ thông thường) đang được nghiên cứu ứng dụng cho rất nhiều mục đích khác nhau. Để chống ăn mòn cho đường ống tại các vị trí gối đỡ, nhiều công ty công nghệ giới thiệu các giải pháp dán lớp composite tại vị trí gối đỡ hoặc bọc (wrapping) composite xung quanh đường ống tại vị trí gối đỡ. Hiệu quả kỹ thuật của biện pháp sử dụng phụ thuộc vào chất lượng của composite, độ bám dính và chất lượng thi công. Thành phần lớp composite là bí quyết công nghệ của đơn vị cung cấp giải pháp, hiện chưa có các công bố hay báo cáo kiểm chứng về hiệu quả kỹ thuật cũng như hiệu quả kinh tế [20 - 22].

Trên cơ sở phân tích các tính chất nổi trội của 3 vật liệu epoxy, MS polymer và polyester, bài báo giới thiệu các kết quả nghiên cứu chế tạo hệ phủ composite trên cơ sở epoxy chứa graphene/MS polymer/polyester gia cường nhằm bảo vệ chống ăn mòn đường ống tại vị trí gối đỡ. Với đặc điểm của hệ phủ composite có độ bám dính cao, không ngấm nước vừa có tác dụng bịt kín giúp cách ly bề

mặt kim loại khỏi môi trường, loại bỏ khe hẹp giữa đường ống/gối đỡ và quá trình ăn mòn galvanic, vừa có tác dụng tạo độ mềm dẻo và đàn hồi, bền cơ lý, chống ăn mòn tốt nhằm định hướng ứng dụng bảo vệ chống ăn mòn cho đường ống tại các vị trí gối đỡ.

## 2. Điều kiện thực nghiệm

### 2.1. Chuẩn bị mẫu thử nghiệm

- Sơn composite epoxy/graphene: Graphene đã được sử dụng để phối trộn vào lớp sơn phủ epoxy với mục đích tăng độ bám dính, cải thiện các đặc tính hóa lý và khả năng chống ăn mòn của lớp phủ epoxy. Graphene được sử dụng dưới dạng oxide đã được biến tính hữu cơ, là sản phẩm của Việt Nam được cung cấp bởi VN-Graphene. Sơn epoxy được sử dụng là sơn 2 thành phần, trên cơ sở epoxy biến tính chứa chất ức chế chống gỉ và chất đóng rắn gốc amine.

Graphene được phân tán vào dung môi xylene bằng đầu dò siêu âm tạo hỗn hợp đồng nhất, sau đó được hòa trộn với nhựa epoxy, bổ sung chất đóng rắn và tạo màng trên bề mặt mẫu thép carbon thấp, kích thước 15 × 100 × 0,8 (mm) bằng spin-coating với tốc độ quay 650 vòng/phút, chiều dày màng trung bình 36 - 42 μm. Các mẫu sơn epoxy không chứa graphene được chuẩn bị trong cùng điều kiện để đánh giá đối chứng.

- Keo MS polymer: Keo MS polymer là chất kết dính thương mại trên cơ sở polymer được biến tính bởi silicone, có độ bám dính cao, khả năng chịu va đập tốt và có khả năng đàn hồi. Keo MS polymer sử dụng để kết dính giữa tấm đỡ và bề mặt đường ống đã được sơn phủ tại vị trí gối đỡ.

- Composite polyester gia cường: Tấm đệm đỡ đường ống được chế tạo từ polymer 2 thành phần trên cơ

sở nhựa polyester và chất đóng rắn, được gia cường bằng bột đá hoặc sợi thủy tinh được chế tạo bằng phương pháp đúc. Để dễ dàng đánh giá và thử nghiệm các tính chất cơ lý của vật liệu, tấm đệm được chế tạo dưới dạng tấm phẳng bằng phương pháp đúc nguội trong khuôn nhựa mica.

### 2.2. Các phương pháp nghiên cứu

Hình thái học bề mặt của các mẫu sơn, polyester và hệ composite được quan sát trực quan hoặc quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét SEM. Khả năng bám dính và độ bền va đập của hệ lớp phủ được thử nghiệm bởi phương pháp lục.

Các nghiên cứu đánh giá ăn mòn tiến hành trong dung dịch NaCl 3% trên thiết bị Parstat 2273 tại Viện Dầu khí Việt Nam (VPI) bằng phương pháp tổng trở điện hóa với hệ 3 điện cực: điện cực làm việc là mẫu sơn thử nghiệm, điện cực so sánh là calomel bão hòa KCl và điện cực đối là lưới platinum (Pt), tại điện thế mạch hở (EOCP), với biên độ dao động hình sine là 30 mV, trong khoảng tần số từ 100 kHz đến 10 mHz [23]. Khả năng bảo vệ chống ăn mòn của lớp phủ được thử nghiệm gia tốc trong tủ phun mù muối theo tiêu chuẩn ASTM B117 trong thiết bị Q-Fog.

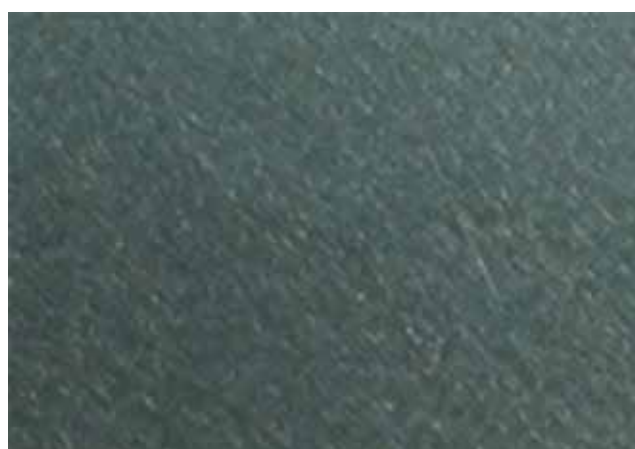
## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Nghiên cứu màng nanocomposite epoxy/graphene

Lớp phủ epoxy và composite epoxy/graphene, với tỷ lệ graphene 100 ppmv [24] được tạo trên bề mặt thép có bề mặt bằng phẳng, đồng nhất và đóng rắn hoàn toàn sau 24 giờ. Bằng trực quan không nhận thấy sự khác biệt về hình thái học của lớp phủ epoxy có và không có graphene (Hình 2).



Epoxy



Epoxy chứa graphene 100 ppmv

**Hình 2.** Hình ảnh lớp phủ epoxy chứa và không chứa graphene trên bề mặt thép.

Lớp phủ hữu cơ bảo vệ kim loại theo cơ chế che chắn, do đó độ bền của lớp phủ và độ bám dính trên bề mặt kim loại là các yếu tố quyết định khả năng bảo vệ chống ăn mòn của lớp phủ. Độ bám dính của lớp phủ được xác định bằng phương pháp kéo (pull-off test). Lực kéo và diện tích lớp phủ bị bong tróc cho phép đánh giá độ bám dính của lớp phủ. Bề mặt mẫu epoxy và kết quả thử nghiệm bám dính như Bảng 1.

Các kết quả khảo sát độ bám dính của màng sơn cho thấy việc phối trộn graphene trong lớp phủ đã cho phép tăng đáng kể độ bám dính đối với bề mặt thép.

Độ bền va đập của màng sơn là đại lượng vật lý đánh giá độ bền cơ học của lớp phủ dựa trên khả năng chịu tác động của tải trọng với khối lượng khác nhau rơi lên tấm mẫu ở gia tốc rơi tự do, nhưng không gây



ra sự phá hủy cơ học của mẫu. Độ bền va đập được tính bằng tích của chiều cao cực đại và khối lượng của tải trọng tác động lên mẫu. Kết quả đo thử nghiệm được thể hiện trên Bảng 2.

Lớp phủ epoxy sử dụng trong nghiên cứu này có đặc tính cơ lý tốt tương ứng với độ bền va đập cao. Trong trường hợp có và không có graphene, với độ cao cực đại của tải trọng là 100 cm và khối lượng cực đại là 2 kg, lớp phủ trên bề mặt kim loại vẫn chưa có dấu hiệu bị hư hỏng, phá hủy, do đó khó so sánh độ bền va đập giữa mẫu sơn epoxy có và không có graphene. Tuy nhiên, đối với mẫu sơn epoxy có chứa graphene, diện tích vùng biến dạng của kim loại nền dưới tác động của tải trọng nhỏ hơn nhiều so với mẫu epoxy không chứa graphene trong cùng điều kiện thử nghiệm cho phép dự báo sự có mặt của graphene trong lớp phủ epoxy đã gia tăng độ bền cơ học của lớp phủ cũng như kim loại nền dưới tác động của tải trọng.

Lớp sơn phủ bảo vệ kim loại theo cơ chế che chắn, ngăn không cho sự tiếp xúc trực tiếp của môi trường chứa các tác nhân ăn mòn với bề mặt kim loại, do đó tổng trở (tổng trở kháng) của lớp phủ là đặc tính quan trọng nhất quyết định khả năng bảo vệ kim loại. Tổng trở của lớp phủ càng lớn, khả năng bảo vệ chống ăn mòn kim loại càng cao. Tổng trở của lớp phủ epoxy có chứa và không chứa graphene được theo dõi theo thời gian, tại điện thế mạch hở trong nước muối NaCl 3%. Phổ tổng trở điện hóa dạng Nyquist theo thời gian của mẫu thép phủ epoxy có và không có graphene được thể hiện trên Hình 3.

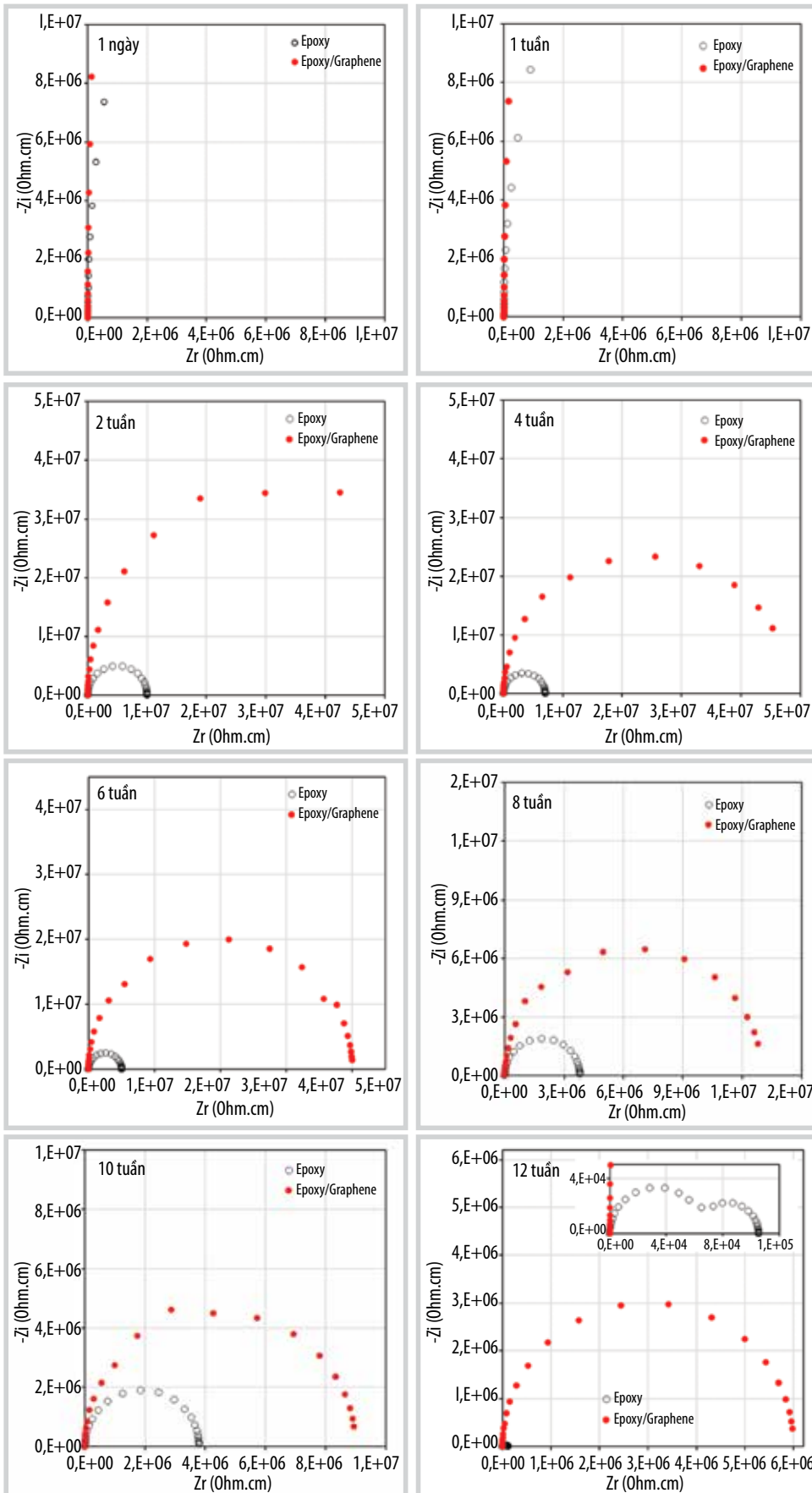
Nhìn chung, tại các thời điểm đầu ngâm mẫu, màng sơn chưa ngấm nước nên gần như được cách điện hoàn toàn. Màng sơn đóng vai trò như điện trở thuần dung, đường biểu diễn tổng trở điện hóa được thể hiện là 1 đường gần như thẳng đứng và chỉ đo được ở tần số cao. Theo thời gian, khi dung dịch điện ly ngấm dần qua màng sơn, độ dẫn điện (dẫn ion) của màng giảm dần, giản đồ tổng trở dạng Nyquist có xu hướng chuyển dần thành đường bán cung ít nhiều được xác định sau 2 tuần thử nghiệm. Đến thời điểm 12 tuần thử nghiệm, đường cong tổng trở điện hóa của

**Bảng 1.** Kết quả thử nghiệm bám dính của lớp phủ epoxy không chứa và chứa graphene

Kết quả thử nghiệm	Epoxy	Epoxy/graphene
Hình ảnh sau thử nghiệm		
Độ bám dính trung bình (MPa)	2,71 ± 0,06	3,03 ± 0,04

**Bảng 2.** Kết quả thử nghiệm độ bền va đập của lớp phủ epoxy không chứa và chứa graphene

Mẫu	Hình ảnh sau thử nghiệm	Độ bền va đập (kg.cm)
Lớp phủ epoxy		>200
Lớp phủ epoxy/graphene		>200



**Hình 3.** Giản đồ tổng trở điện hóa dạng Nyquist của lớp phủ epoxy không và có chứa graphene được tạo trên nền thép, thử nghiệm trong dung dịch NaCl 3%.

mẫu sơn epoxy không chứa graphene đã xuất hiện bán cung thứ 2 ở tần số thấp đặc trưng cho quá trình ăn mòn kim loại, trong khi đó giản đồ tổng trở của mẫu sơn epoxy chứa graphene vẫn chưa xuất hiện quá trình ăn mòn kim loại dưới lớp phủ.

Trên cơ sở phân tích giản đồ tương đương [23], các giá trị điện trở màng  $R_f$  và điện dung của màng  $C_f$  được xác định và biểu diễn trên Bảng 3.

Nhìn chung, điện trở màng càng lớn, điện dung màng càng nhỏ, khả năng bảo vệ kim loại của màng sơn càng cao. Graphene có mặt trong lớp phủ epoxy cho phép hạn chế khả năng thấm ướt, ngấm nước của màng sơn, hạn chế sự suy giảm điện dung màng theo thời gian so với lớp phủ epoxy cùng chiều dày không chứa graphene.

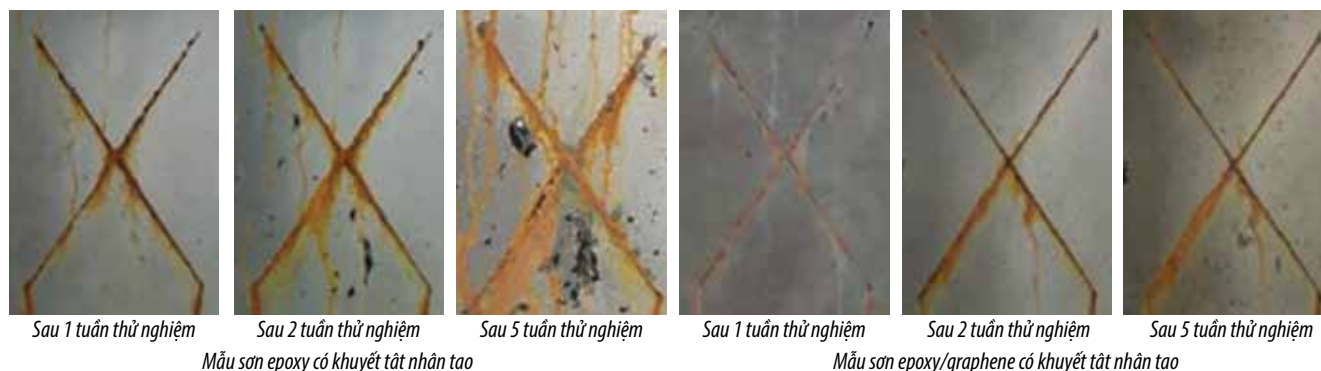
Để đánh giá thêm khả năng bảo vệ chống ăn mòn của lớp phủ epoxy có và không có graphene, các mẫu sau khi tạo màng được để khô hoàn toàn và thử nghiệm gia tốc trong tủ phun mù muối với dung dịch NaCl 5%. Các kết quả cho thấy sau 5 tuần thử nghiệm, bề mặt mẫu sơn epoxy trong trường hợp có và không có graphene gần như không thay đổi về hình thái học so với mẫu trước khi thử nghiệm, bề mặt đồng nhất và chưa xuất hiện hiện tượng xuống cấp hoặc ăn mòn.

**Bảng 3.** Kết quả xác định điện trở màng  $R_f$  và điện dung màng  $C_f$  từ giản đồ tổng điện trở

Thời gian thử nghiệm	Epoxy trắng		Epoxy + graphene	
	$R_f$ ( $\Omega.cm$ )	$C_f$ (F/cm)	$R_m$ ( $\Omega.cm$ )	$C_m$ (F/cm)
0 ngày	$\infty$	5,10E-10	$\infty$	1,00E-10
1 ngày	$\infty$	7,90E-9	$\infty$	1,00E-09
1 tuần	$\infty$	6,20E-09	$\infty$	3,00E-09
2 tuần	1,00E+07	5,00E-09	7,80E+07	5,00E-09
4 tuần	7,00E+06	5,00E-09	4,82E+07	6,00E-09
6 tuần	5,00E+06	3,00E-09	4,00E+07	1,00E-09
8 tuần	4,50E+06	6,00E-08	1,30E+07	3,00E-08
10 tuần	3,80E+06	8,30E-08	9,00E+06	5,00E-08
12 tuần	6,00E+04	5,00E-08	6,00E+06	3,20E-08



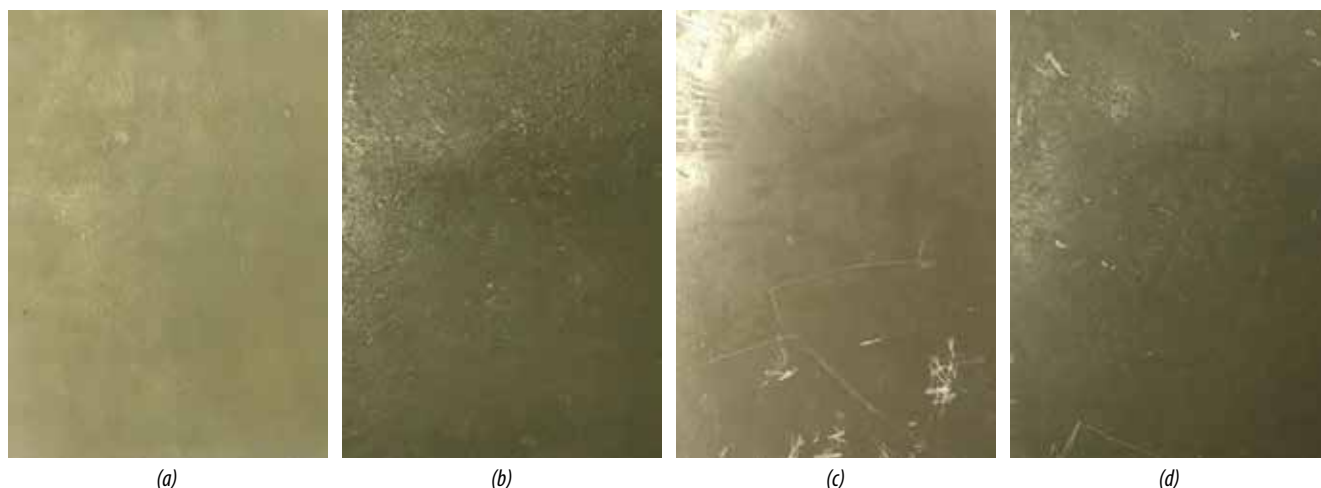
**Hình 4.** Hình thái học của mẫu sơn epoxy có và không có graphene trước và sau 5 tuần thử nghiệm mù muối.



**Hình 5.** Hình ảnh bề mặt lớp phủ epoxy không có và có graphene tại vị trí khuyết tật sau 5 tuần thử nghiệm mù muối.

Để có thể đánh giá và so sánh hiệu quả chống ăn mòn của lớp phủ epoxy trong trường hợp có và không có graphene, các khuyết tật nhân tạo có dạng hình chéo và kích thước khuyết tật dài 10 cm đã được tạo trên bề mặt kim loại (Hình 5). Kết quả thử nghiệm cho thấy, đối với các mẫu không có graphene, mức độ ăn mòn tăng dần theo thời gian thử nghiệm tại vị trí có khuyết tật; độ rộng và sâu của khuyết tật tăng dần, mức độ gỉ sắt và sản phẩm ăn

mòn xuất hiện ngày càng nhiều. Ngoài ra, có thể quan sát rõ các vị trí ăn mòn dưới lớp phủ xung quanh vị trí khuyết tật và trên toàn bộ bề mặt mẫu. Trong khi đó, mẫu sơn epoxy chứa graphene có mức độ ăn mòn ít hơn nhiều so với mẫu không có graphene. Độ rộng và sâu của khuyết tật tăng gần như không đáng kể sau 5 tuần thử nghiệm mù muối. Kết quả thu được là do lớp phủ chứa graphene có độ bám dính cao, nên khi quá trình ăn mòn xảy ra các



**Hình 6.** Hình ảnh trực quan của tấm composite trên cơ sở polyester, (a) Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 80/20/0; (b) Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 74/20/6; (c) Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 72/20/8; (d) Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 68/20/12

**Bảng 4.** Độ bền va đập của tấm composite trên cơ sở polyester gia cường sợi thủy tinh và bột đá  $\text{CaCO}_3$

Mẫu	Hình ảnh bề mặt mẫu sau thử nghiệm		Độ bền va đập (kg.cm)
	Mặt trước	Mặt sau	
Polyester			>50
Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 80/20/0			>100
Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 74/20/6			>60
Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 72/20/8			>30
Polyester/sợi thủy tinh/ $\text{CaCO}_3$ : 68/20/12	Gìòn	Gìòn	-



**Hình 7.** Hình ảnh bề mặt tấm composite polyester gia cường sợi thủy tinh trước và sau 5 tuần thử nghiệm.



**Hình 8.** Quá trình tạo hệ composite epoxy/MS polymer/polyester trên bề mặt kim loại.

vị trí khuyết tật không bị bong tróc, hạn chế ăn mòn dưới lớp phủ, do đó mức độ ăn mòn được cải thiện đáng kể so với lớp phủ không chứa graphene. Lớp phủ epoxy/graphene sẽ được sử dụng như lớp phủ lót chống ăn mòn trong các nghiên cứu tiếp theo.

### 3.2. Nghiên cứu chế tạo tấm lót tại vị trí gối đỡ

Để loại bỏ bọt nước là nguyên nhân gây nên hiện tượng ăn mòn khe, tại vị trí tiếp xúc giữa kim loại và đường ống được đề xuất dán tấm lót composite. Với độ bền môi trường và các đặc tính cơ lý tốt, các miếng đỡ có khả năng cách ly hoàn toàn kim loại với gối đỡ, hạn chế ăn mòn. Hiệu quả của biện pháp này sẽ phụ thuộc vào độ bền và các đặc tính cơ lý của tấm lót composite chế tạo được.

Tấm lót composite được chế tạo bằng phương pháp đúc trên cơ sở nhựa polyester gia cường sợi thủy tinh và/hoặc bổ sung bột đá CaCO<sub>3</sub> nhằm tăng các đặc tính cơ lý của lớp phủ và tăng hiệu quả kinh tế.

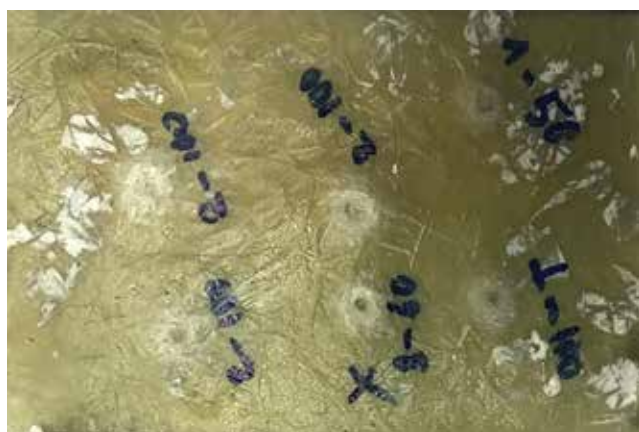
Hình thái học bề mặt của tấm composite sau khi đúc với các nồng độ chất gia cường khác nhau được quan sát trên Hình 6. Bề mặt tấm composite được chế tạo bằng phương pháp đúc có màu trắng đục, tương đối bằng phẳng và đồng nhất.

Các tấm lót composite sau khi chế tạo được thử nghiệm độ bền va đập bằng phương pháp lực, kết quả thu được như Bảng 4.

Kết quả thu được cho thấy việc thêm sợi thủy tinh vào trong thành phần polyester cho phép tăng độ bền va đập của tấm nhựa polyester tạo thành. Với hàm lượng khoảng 20% sợi thủy tinh, tấm composite polyester có độ bền va đập trên 100 kg.cm. Trong khi đó, việc thêm bột đá vào thành phần tấm composite polyester/sợi thủy tinh có thể tăng hiệu quả kinh tế, giảm giá thành sản phẩm tuy nhiên lại tạo lớp composite cứng và giòn hơn. Khi hàm lượng bột đá trên 8% thì tấm composite hình thành rất giòn và vỡ vụn với lực va đập 10 kg.cm.

Để đánh giá độ bền môi trường, các tấm composite trên cơ sở polyester gia cường sợi thủy tinh được thử nghiệm trong môi trường acid HCl 0,1N và dung dịch NaCl 3% và quan sát bề mặt mẫu sau thử nghiệm như trên Hình 7. Sau 5 tuần thử nghiệm, bề mặt mẫu composite gần như không thay đổi so với mẫu composite trước khi thử nghiệm, cho phép khẳng định độ bền môi trường của mẫu composite polyester/sợi thủy tinh chế tạo được.





Mặt trước



Mặt sau

Hình 9. Hình ảnh bề mặt hệ composite epoxy/MS polymer/polyester sau khi thử nghiệm độ bền và đập 200 kg.cm.

### 3.3. Nghiên cứu chế tạo hệ composite trên cơ sở epoxy/MS polymer/polyester nhằm chống ăn mòn tại vị trí gối đỡ

Trên cơ sở lớp phủ lót là composite epoxy/graphene bền ăn mòn với độ bám dính cao, tấm đệm lót là polyester gia cường sợi thủy tinh với các đặc tính cơ lý tốt và bền môi trường, được dán trên bề mặt kim loại đã được sơn phủ bằng keo MS polymer để tạo hệ composite epoxy/MS polymer/polyester nhằm ứng dụng chống ăn mòn cho kim loại tại vị trí gối đỡ.

Hình 8 mô tả quá trình tạo dán polyester trên mẫu kim loại đã được sơn phủ epoxy bằng keo trám MS polymer.

Hệ lớp phủ composite epoxy/MS polymer/polyester sau khi chế tạo có thể chịu được độ bền va đập cao, trên 200 kg.cm, tương đương với độ bền va đập của lớp sơn phủ epoxy chứa graphene và lớn hơn nhiều so với độ bền của lớp polyester thành phần. Kết quả thu được như Hình 9 có thể giải thích do lớp keo trám có khả năng bám dính tốt trong thành phần chứa silicone cho phép hệ composite có khả năng đàn hồi, mềm dẻo nên độ bền va đập tốt, không bị nứt vỡ khi có tác động của ngoại lực.

### 4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu cho thấy đã tạo ra hệ composite 3 lớp trên cơ sở sơn epoxy chứa graphene, keo MS polymer và lớp lót composite polyester gia cường sợi thủy tinh có khả năng bám dính tốt, bền ăn mòn và có các đặc tính cơ lý vượt trội so với các lớp vật liệu thành phần. Hệ composite tạo thành có khả năng che chắn, ngăn cản sự tiếp xúc trực tiếp giữa đường ống và môi trường, cũng như giữa đường ống và gối đỡ; loại bỏ hoàn toàn cơ chế ăn mòn khe và ăn mòn galvanic là nguyên nhân gây ăn mòn kim loại tại vị trí gối đỡ. Các kết quả thu được cho phép mở ra khả năng ứng

dụng hệ composite chống ăn mòn đường ống tại vị trí gối đỡ trong các công trình dầu khí làm việc trong môi trường khí quyển biển hoặc ngoài khơi.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Jim Britton, "Corrosion at pipe supports: Causes and solutions", *Deepwater*, 2002.
- [2] Energy Institute, *Guidelines for the integrity management of corrosion under pipe supports (CUPS)*, 2018.
- [3] Rogest Dively, *Inspection and repair of coatings, coatings for corrosion protection: offshore oil and gas operation facilities, marine pipeline and ship structures*, NIST Special Publication, 2004.
- [4] Victor Garcia, Carlos Boyero, and Jesus Antonio Jimenez Garrido, "Corrosion detection under pipe supports using EMAT medium range guided waves", *19<sup>th</sup> World Conference on Non-Destructive Testing, Munich, Germany, 13 - 17 June 2016*.
- [5] Stuart M. Lee, *Handbook of composite reinforcement*. Wiley VCH, 1993.
- [6] B. Ramezanzadeh, S. Y. Arman, and Milad Mehdipour, "Anticorrosion properties of an epoxy zinc-rich composite coating reinforced with zinc, aluminum, and iron oxide pigments", *Journal of Coatings Technology and Research*, Vol. 11, No. 5, pp. 727 - 737. DOI:10.1007/s11998-014-9580-0.
- [7] James McCarthy, "New advances in epoxy protective coatings", *Corrosion, Vancouver, British Columbia, Canada, March 2016*.
- [8] Gazala Ruhi and S.K. Dhawan, "Conducting polymer nano composite epoxy coatings for anticorrosive applications", 2013. DOI: 10.5772/58388.

- [9] Jean-Pierre Pascault and Roberto J.J. Williams, *Epoxy polymers: New materials and innovations*. Wiley VCH, 2010.
- [10] Ahmad Ghasemi-Kahrizsangi, Jaber Neshati, Homeira Shariatpanahi, and Esmaeil Akbarinezhad, "Improving the UV degradation resistance of epoxy coatings using modified carbon black nanoparticles", *Progress in Organic Coatings*, Vol. 85, pp. 199 - 207, 2015. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2015.04.011.
- [11] Lijuan Zhu, Chun Feng, and Yaqiong Cao, "Corrosion behavior of epoxy composite coatings reinforced with reduced graphene oxide nanosheets in the high salinity environments", *Applied Surface Science*, Vol. 493, pp. 889 - 896, 2019. DOI: 10.1016/j.apsusc.2019.06.271.
- [12] Edward M. Petrie, "MS polymers in "Hybrid" sealants", The Adhesive and Sealant Council, 2010.
- [13] CMH-17, *Composite material handbook (Volume 1 - 6)*. SAE International, 2002.
- [14] Zoran S. Petronvic and James Ferguson, "Polyurethan elastomers", *Progress in Polymer Science*, Vol. 16, No. 5, pp. 695 - 836, 1991. DOI: 10.1016/0079-6700(91)90011-9.
- [15] Sabu Thomas, Kuruvilla Joseph, S.K. Malhotra, Koichi Goda, and M.S. Sreekala, *Polymer composites*, Volume 1: Macro- and microcomposites. Wiley VCH, 2012.
- [16] John T. Lutz Jr. And Richard F. Grossman, *Polymer modifiers and additives*. Marcel Dekker, 2000.
- [17] S.Al-Malaika, *Reactive modifiers for polymers*. Blackie Academic & Professional, 1997.
- [18] R.Secacino, *FRP composites in civil engineering*. CiCe, 2004.
- [19] Jerry G. Williams, "Composite material offshore corrosion solutions", *International workshop on corrosion control of marine structures and pipelines*. Galveston, Texas, 1999.
- [20] Stephen J. Kennedy, "Composite steel structural plastic sandwich plate systems", US. Patent No. 6,630,249 B2, 2003.
- [21] George William Berry, Milton Wesley Gregory, John Louis Ambrose, *Composite pipe wrap material and method*, US. Patent No. 3757829A, 1973.
- [22] Fred D. Wilson, *High temperature composite pipe wrapping system*, US. Patent No. 6276401 B1, 2001.
- [23] Nguyễn Thị Lê Hiền, "Kỹ thuật tổng trở điện hóa ứng dụng trong đánh giá khả năng bảo vệ chống ăn mòn của các lớp phủ hữu cơ", *Tạp chí Dầu khí*, Số 5, trang 52 - 59, 2013.
- [24] Nguyễn Thị Lê Hiền, Phạm Thị Hương, và Lê Thị Hồng Giang, Nguyễn Đình Dũng, "Nghiên cứu chế tạo lớp phủ composite epoxy/graphene chống ăn mòn kim loại", *Tạp chí Dầu khí*, Số 4, trang 27 - 38, 2022.

## RESEARCH ON PRODUCTION OF A COMPOSITE COATING SYSTEM TO CONTROL CORROSION AT PIPE SUPPORTS

**Nguyen Thi Le Hien, Nguyen Dinh Dung, Pham Thi Huong, Doan Thanh Dat**

Vietnam Petroleum Institute

Email: hienntl@vpi.pvn.vn

### Summary

The coating system which consists of 03 layers based on epoxy anti-corrosion primer containing graphene, MS polymer sealant, and glass fibre reinforced polyester has been studied for control of corrosion at pipe supports. Graphene is dispersed at a concentration of 100 ppm in epoxy to form a primer coating, which can improve the adhesion, mechanical properties, and corrosion resistance as compared to epoxy coating without graphene. Polyester reinforced with 20% glass fibre allows increased impact strength and enhances the economic efficiency of the pipelining. The silicone-based MS polymer layer with good elasticity and high adhesion helps increase the impact strength of the composite system and completely isolate the pipe from the environment, eliminating the crevite and galvanic corrossions at pipe supports.

**Key words:** Corrosion under support, epoxy/graphene, MS polymer, reinforced polyester.