

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨC CHẾ ĂN MÒN ĐỒNG M-1 VÀ NHÔM AK-7 CỦA BENZOTRIAZOL TRONG DUNG DỊCH AXIT XITRIC 5%

NGUYỄN THỊ THU XUÂN ⁽¹⁾, HOÀNG ĐỨC QUANG ⁽¹⁾, VŨ VĂN HUY ⁽¹⁾,
NGUYỄN CHÍ CƯỜNG ⁽¹⁾, NGUYỄN VĂN ANH ⁽²⁾

1. MỞ ĐẦU

Đối với các loại xe - máy sử dụng động cơ đốt trong thì hệ thống làm mát (HTLM) đóng vai trò rất quan trọng, quyết định trực tiếp đến tuổi thọ cũng như hiệu suất của động cơ. Khi động cơ hoạt động, một lượng nhiệt lớn sinh ra do nhiên liệu cháy trong buồng đốt và ma sát của các chi tiết bên trong động cơ, nếu không được làm mát kịp thời thì động cơ và các chi tiết sẽ bị quá nhiệt gây ma sát lớn, dầu nhớt mất tác dụng bôi trơn, piston bị bó kẹt, gây hư hỏng các chi tiết bên trong, làm suy giảm khả năng hoạt động và hiệu suất vận hành của xe - máy [1].

Khả năng tản nhiệt của HTLM động cơ được quyết định chủ yếu vào loại chất lỏng làm mát (CLLM) sử dụng, CLLM là cầu nối trung chuyển nhiệt lượng thân động cơ ra kết làm mát, giúp động cơ loại bỏ nhiệt lượng thừa, giảm tình trạng nóng và tắt máy đột ngột. Thực tế cho thấy việc sử dụng các loại CLLM chuyên dụng có chất lượng tốt đảm bảo tốt tình trạng kỹ thuật của HTLM. Trong khi đó do vấn đề giá thành cũng như ý thức của người sử dụng xe - máy, nước sạch (nước cất, nước RO, nước máy) vẫn là một lựa chọn phổ biến để làm mát động cơ. Tuy nhiên, nước gây ăn mòn nhiều kim loại, sinh ra nhiều cặn bẩn trong HTLM (Hình 1). Do trong HTLM có chứa nhiều vật liệu kim loại khác nhau nối tiếp (nhôm, đồng, đồng thau, thép, gang, các mối hàn) sẽ hình thành các cặp pin điện hóa (anot và catot), quá trình ăn mòn điện hóa xảy ra nhanh chóng dẫn đến kim loại bị phá hủy. Các sản phẩm kết tủa (hydroxit kim loại, cacbonat kim loại - hình thành bởi phản ứng giữa ion kim loại và CO₂ tan trong nước) gây ra hiện tượng cặn bẩn [2].



a) Cấu cặn, rỉ sét kết mát ô tô

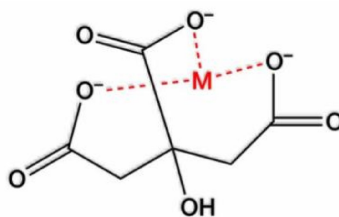


b) Cấu cặn van hằng nhiệt

Hình 1. Cấu cặn bên trong HTLM xe ô tô

Các sản phẩm kết tủa (hydroxit kim loại, cacbonat kim loại,...) của quá trình này gây ra hiện tượng cặn bám dính vào bề mặt của thiết bị làm giảm khả năng tản nhiệt của HTLM, gây tắc nghẽn van hằng nhiệt, động cơ thường xuyên làm việc ở trạng thái quá nhiệt, bơm làm mát phải tăng lưu lượng. Từ đó đẩy nhanh quá trình ăn mòn, phá hủy các chi tiết bên trong hệ thống. Do đó, để đảm bảo HTLM động cơ hoạt động có hiệu quả và an toàn, người sử dụng phải thường xuyên vệ sinh làm sạch cấu cặn.

Những năm gần đây, chất tẩy cặn trên cơ sở axit hữu cơ được sử dụng phổ biến. Trong đó axit xitric đã trở thành đối tượng nghiên cứu được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm và cũng đã được sử dụng rộng rãi vì những ưu điểm như dễ sử dụng, khả năng tẩy sạch cao, thời gian tẩy cặn ngắn và không gây ô nhiễm môi trường [3, 4]. Axit xitric tan tốt trong nước tạo môi trường pH < 2, có thể phá vỡ (hòa tan hay làm mềm) tốt các sản phẩm cặn cặn và rỉ sét bám chặt trong hệ thống làm mát, bao gồm cặn cứng cacbonat như $MgCO_3$, $CaCO_3$..., hydroxit kim loại như $Cu(OH)_2$, $Fe(OH)_3$... và tạo ra các phức chất giữa cation kim loại với anion xitrat tan (hay phân tán dưới dạng huyền phù), dễ dàng loại bỏ ra khỏi hệ thống.



Hình 2. Phức mạch vòng của axit xitric với cation kim loại

Vấn đề đặc biệt quan trọng khi tẩy cặn cho HTLM bằng dung dịch axit là khả năng làm sạch cao, đi kèm với tốc độ gây ăn mòn thấp. Một trong những phương pháp tối ưu nhất là sử dụng chất ức chế có khả năng làm giảm sự ăn mòn thông qua quá trình hấp phụ trên bề mặt kim loại [5]. Trong đó benzotriazol (BTA) là chất ức chế ăn mòn được sử dụng rộng rãi để bảo vệ kim loại, đặc biệt hiệu quả cao đối với đồng, nhôm - những kim loại được sử dụng phổ biến trong HTLM động cơ [6-8]. Quá trình hấp phụ của BTA trên bề mặt đồng tuân theo cơ chế hấp phụ hóa học, tạo thành lớp màng thụ động Cu-BTA [9, 10, 11]. Trong khi đó bản chất hấp phụ vật lý chiếm ưu thế trong quá trình hấp phụ của BTA trên bề mặt nhôm, thay thế các phân tử nước, tạo ra một rào cản chống lại sự khuếch tán của các tác nhân ăn mòn [11].

Bài báo này là sự phát triển các nghiên cứu của nhóm tác giả về tính chất chống ăn mòn cho kim loại của BTA [9, 10]. Trong bài báo này chúng tôi tiến hành nghiên cứu nồng độ ức chế ăn mòn tối ưu của BTA trong dung dịch axit xitric 5% đối với hai kim loại đồng M-1 và nhôm AK-7 theo phương pháp điện hóa và kiểm chứng bằng phương pháp hao hụt khối lượng.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên liệu, hóa chất

Đồng M-1 (Liên bang Nga) theo GOST 859-2014 với thành phần (% khối lượng): Cu - 99,90; Fe - 0,005; Sn - 0,005; Pb - 0,005. Nhôm AK-7 (Liên bang Nga) theo GOST 1583:1993 với các thành phần (% khối lượng): Al - 88,90; Si - 7,0; Cu - 1,5; Fe - 1,1; Mn - 0,5; Zn - 0,5; Mg - 0,25; Ni - 0,25. Axit xitric monohydrat (Sigma-Aldrich, 99,5%). Benzotriazol (BTA, Sigma-Aldrich, 98%). Propylen glycol (Scharlau), HCl 37% (Scharlau), CrO_3 (Merck), H_3PO_4 85% (Scharlau), ethanol (Scharlau), axeton (Scharlau). Giấy nhám các loại có độ nhám P160, P240, P400, P600, P800 (Trung Quốc).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp chuẩn bị mẫu thử nghiệm

a) Chuẩn bị các dung dịch thử nghiệm ăn mòn

- Dung dịch nền (DD nền) là dung dịch axit xitric 5% trong hỗn hợp nước-propylen glycol (tỷ lệ 1:10 v/v).

- Dung dịch nghiên cứu (DDNC) là dung dịch chứa benzotriazol 0,01% ÷ 2% trong DD nền.

b) Chuẩn bị mẫu điện cực làm việc cho phép đo điện hóa

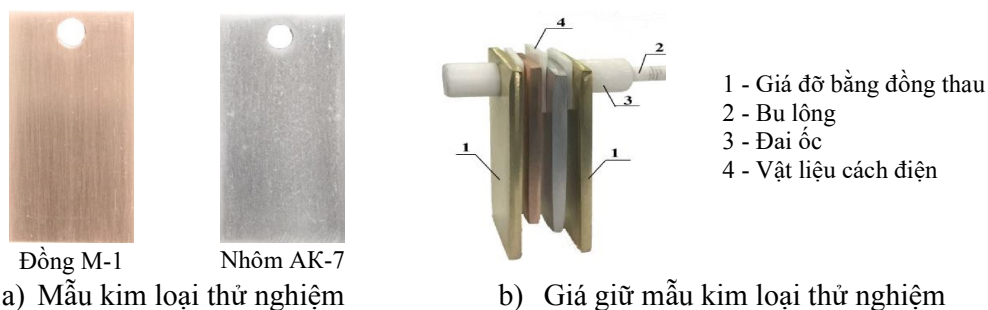
Điện cực làm việc là mẫu đồng M-1 và nhôm AK-7 hình trụ tròn đường kính 15 mm, dày 3 mm, được đặt vào điện cực với bề mặt làm việc có diện tích là 0,785 cm² (Hình 3). Mẫu thép trước khi tiến hành thử nghiệm được mài bằng giấy nhám từ thô P160 đến mịn P800, rửa sạch bằng nước cất, cồn và axeton rồi để khô trước khi lắp vào điện cực làm việc và đặt vào hệ điện hóa chứa dung dịch nghiên cứu.



Hình 3. Mẫu kim loại (a) và điện cực làm việc (b)

c) Chuẩn bị mẫu thử nghiệm theo phương pháp hao hụt khối lượng

Các mẫu kim loại thử nghiệm gồm đồng M-1 và nhôm AK-7 kích thước 50×25×3 mm có đục lỗ đường kính 5 mm được chuẩn bị dựa trên tiêu chuẩn GOST 28084-89 (Hình 4a).



Hình 4. Mẫu thử nghiệm và sơ đồ thử nghiệm

Hình 4. Mẫu thử nghiệm và sơ đồ thử nghiệm

Mẫu thử nghiệm được mài bằng giấy nhám có độ nhám từ P160 đến P800, rửa sạch bằng nước cất, cồn, axeton, sấy khô và ổn định mẫu trong bình hút ẩm ở nhiệt độ phòng 24 giờ. Sau đó cân khối lượng (chính xác đến 10⁻⁴g), đo kích thước mẫu thử (chính xác đến 10⁻²mm).

Các mẫu thử được gắn trên giá giữ mẫu gồm hai thanh kim loại làm từ đồng thau kích thước 60×30×3 mm có đục lỗ đường kính 5 mm với một bulông cách điện teflon dài 25±0,5 mm, đường kính từ 4,5 mm. Giá đỡ và các mẫu kim loại thử nghiệm được ngăn cách bằng các miếng đệm cách điện teflon (Hình 4b).

2.2.2. Các phương pháp thử nghiệm

a) Phương pháp đo đường cong phân cực

- Đo đường cong phân cực theo phương pháp thế động (Potentiodynamic) được thực hiện trên thiết bị điện hóa Autolab Metrohm PGSTAT302N tại Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga với hệ 3 điện cực: điện cực làm việc WE được chế tạo từ vật liệu nghiên cứu đồng M-1 hoặc nhôm AK-7, điện cực so sánh RE là điện cực AgCl trong KCl bão hoà, điện cực đối là thép không gỉ. Khoảng điện thế quét từ -0,2 V đến +0,2 V tính theo điện cực so sánh AgCl, tốc độ quét thế 2 mV/s, thời gian ngâm mẫu 5 phút. Các phép đo thực hiện tại nhiệt độ phòng. Các kết quả đo được xử lý trên phần mềm NOVA 2.1.

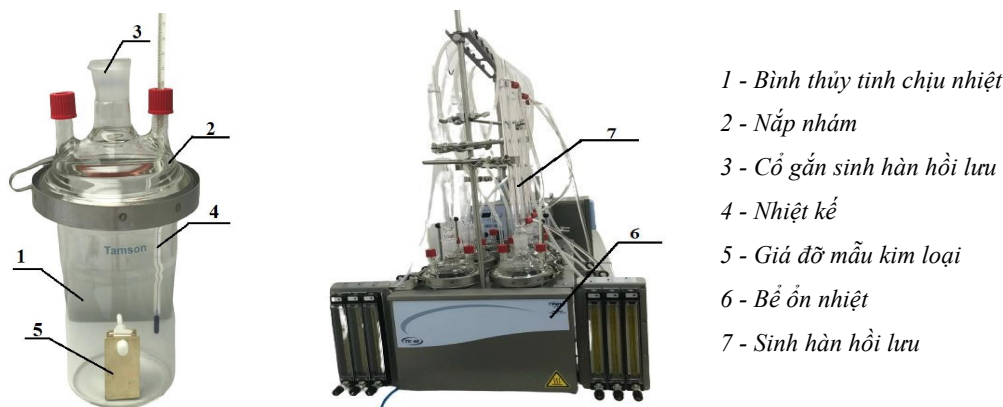
- Hiệu quả ức chế ăn mòn H (%) được tính toán theo công thức:

$$H = (1 - k/k_0) \times 100 \quad (1)$$

Trong đó, k và k_0 là tốc độ ăn mòn (mm/năm) tương ứng với điều kiện có và không có mặt chất ức chế benzotriazol trong DD nền.

b) Phương pháp hao hụt khối lượng

- Xác định tốc độ ăn mòn và hiệu quả bảo vệ của chất ức chế ăn mòn theo phương pháp hao hụt khối lượng được thực hiện trên thiết bị thử nghiệm ăn mòn Tamson ASTM D1384 tại Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga (Hình 5). Thử nghiệm được thực hiện trong thời gian từ 0,5÷2 giờ ở 88±2°C.



Hình 5. Thiết bị thử nghiệm ăn mòn Tamson ASTM D1384

- Tiến hành thử nghiệm: Cho 750 ml dung dịch thử nghiệm vào bình thủy tinh 1L và gia nhiệt đến 88°C. Sau đó cho bộ mẫu kim loại thử nghiệm vào bình, gắn nhiệt kế, sinh hàn hồi lưu và duy trì hệ thống ở nhiệt độ 88±2°C từ 0,5÷2 giờ.

Kết thúc thử nghiệm, bộ mẫu kim loại được lấy ra khỏi bình, tháo rời các mẫu kim loại thử nghiệm, tiếp theo tiến hành loại bỏ sản phẩm ăn mòn trên bề mặt mẫu theo tiêu chuẩn GOST 28084-89: Đồng được ngâm 15 giây trong dung dịch axit HCl đậm đặc pha loãng với nước cất theo tỷ lệ 1:1 v/v, sau đó rửa bằng nước cất để loại bỏ axit; Nhôm được ngâm 5 phút trong dung dịch nước chứa 2% CrO₃ và 5% H₃PO₄ ở nhiệt độ 80±2°C, sau đó rửa với nước cất để loại bỏ axit. Các mẫu thử nghiệm được rửa lại bằng ethanol, axeton, sấy khô và cân xác định khối lượng (chính xác đến 10⁻⁴g).

- Tốc độ ăn mòn kim loại được tính theo công thức:

$$v = (m_0 - m) / (S \times t) \quad (2)$$

Trong đó: v - tốc độ ăn mòn, g/(m².giờ)

m₀ và m tương ứng với khối lượng mẫu trước và sau khi thử nghiệm, g

S: Diện tích bề mặt mẫu, m²; t: Thời gian ngâm mẫu, giờ.

Hiệu quả bảo vệ H (%) của chất ức chế được tính theo công thức:

$$H = (1 - v/v_0) \times 100 \quad (3)$$

Trong đó: v và v₀ tương ứng với tốc độ ăn mòn khi có và không có chất ức chế, g/(m².giờ).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thử nghiệm theo phương pháp điện hóa

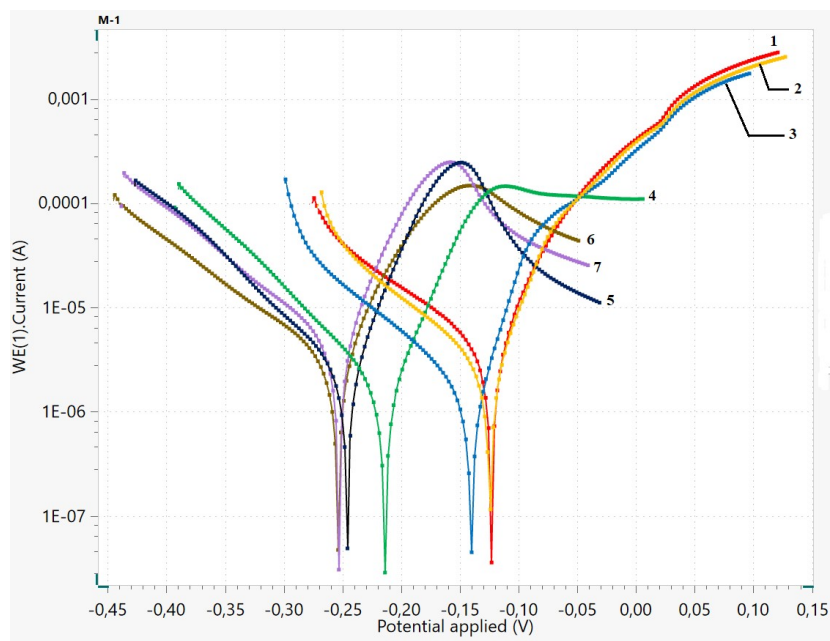
3.1.1. Ảnh hưởng của nồng độ BTA đối với đồng M-1 trong dung dịch nền

Kết quả thử nghiệm điện hóa đối với đồng M-1 của chất ức chế BTA với nồng độ từ 0,01÷2% trong DD nền được thể hiện trong Hình 6.

So sánh đường Tafel của đồng M-1 trong DD nền và trong DDNC khi không có chất ức chế ăn mòn và có chất ức chế ăn mòn cho thấy: Sự có mặt chất ức chế BTA với nồng độ từ 0,01÷2% làm suy giảm mạnh mật độ dòng catot, thể ăn mòn dịch chuyển sang phía âm hơn so với khi không có chất ức chế, cho thấy cơ chế ức chế khử catot của BTA đối với đồng M-1 bằng cách tạo lớp màng thụ động trên bề mặt ngay cả trong môi trường axit.

Kết quả tính toán quá trình ăn mòn đồng M-1 trong DD nền và DDNC từ đường Tafel thể hiện trong Bảng 1.

Phân tích kết quả cho thấy hiệu quả bảo vệ đồng M-1 trong dung dịch axit xitric 5% tăng theo nồng độ chất ức chế BTA. Hiệu quả bảo vệ đạt trên 75% ở nồng độ BTA từ 0,5÷2%. Khi tăng nồng độ BTA từ 0,01÷2% tốc độ ăn mòn đồng giảm dần và hiệu quả bảo vệ tăng dần. Ở nồng độ BTA nhỏ hơn 0,5%, hiệu quả ức chế ăn mòn tăng nhanh, ở nồng độ từ 0,5% đến 2% thì tốc độ ăn mòn cũng như hiệu quả bảo vệ tăng không đáng kể. Điều này có thể được giải thích khi nồng độ chất ức chế >0,5% thì bề mặt đồng đã bị che phủ gần như hoàn toàn, do đó khi tiếp tục tăng nồng độ chất ức chế thì khả năng bảo vệ tăng không thay đổi.



Hình 6. Đường Tafel của đồng M-1 trong dung dịch axit xitric 5% khi có và không có mặt chất ức chế ăn mòn BTA
1 - DD nền, 2, 3, 4, 5, 6, 7 - tương ứng DDNC 0,01%; 0,05%; 0,25%; 0,5%; 1%; 2% BTA

Bảng 1. Các thông số của quá trình ăn mòn đồng M-1 trong dung dịch axit xitric 5% theo nồng độ BTA

Dung dịch	C_i (%)	$ b_a $ (V/dec)	$ b_c $ (V/dec)	E_{corr} (V)	j_{corr} ($\mu A/cm^2$)	k (mm/năm)	H (%)
DD nền	0	0,052	0,121	-0,127	5,17	0,0602	-
DDNC	0,01	0,055	0,113	-0,137	4,48	0,0522	13,33
	0,05	0,045	0,110	-0,148	2,60	0,0303	49,67
	0,25	0,036	0,088	-0,208	2,04	0,0213	64,68
	0,5	0,024	0,037	-0,246	1,27	0,0148	75,43
	1	0,016	0,021	-0,253	1,26	0,0147	75,57
	2	0,021	0,035	-0,254	1,24	0,0144	76,04

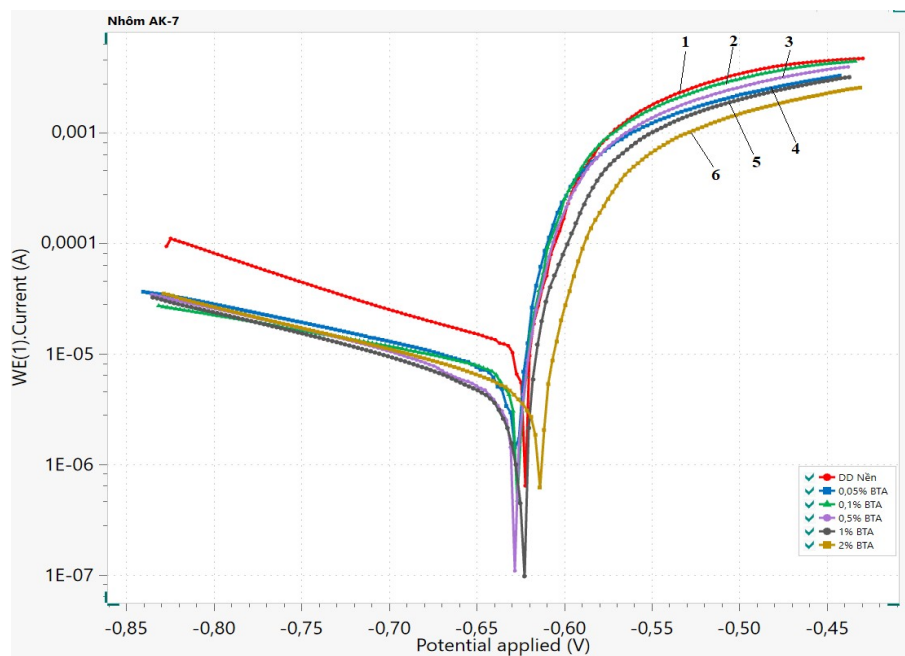
3.1.2. Ảnh hưởng của nồng độ BTA đối với nhôm AK-7 trong DD nền

Kết quả thử nghiệm điện hóa đối với nhôm AK-7 của chất ức chế BTA với nồng độ từ 0,1÷1% trong DD nền được thể hiện trong Hình 7.

So sánh đường Tafel của nhôm AK-7 trong DD nền và trong DDNC khi không có chất ức chế ăn mòn và có chất ức chế ăn mòn cho thấy:

- Sự có mặt chất ức chế BTA với nồng độ từ 0,1÷0,5% làm suy giảm mạnh mật độ dòng catot, thể ăn mòn dịch chuyển sang phía âm hơn so với khi không có chất ức chế, cho thấy cơ chế ức chế khử catot của BTA đối với nhôm AK-7 bằng cách thay thế các phân tử nước hấp phụ vật lý trên bề mặt kim loại tạo ra một rào cản chống lại sự khuếch tán của các tác nhân ăn mòn trong môi trường axit về phía bề mặt kim loại.

- Sự có mặt chất ức chế BTA với nồng độ từ 0,5÷1% làm mật độ dòng catot và anot đều suy giảm, thể ăn mòn dịch chuyển ngược lại sang chiều dương, cho thấy cơ chế ức chế hỗn hợp của BTA đối với nhôm AK-7 bằng cách ức chế khử catot đồng thời giảm các phản ứng hòa tan anot.



Hình 7. Đường Tafel của nhôm AK-7 trong dung dịch axit xitric 5% khi có và không có mặt chất ức chế ăn mòn BTA

1 - DD nền, 2, 3, 4, 5, 6 - tương ứng DDNC 0,1%; 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% BTA

Kết quả tính toán quá trình ăn mòn nhôm AK-7 trong dung dịch axit xitric 5% từ đường Tafel thể hiện trong Bảng 2.

Phân tích kết quả cho thấy hiệu quả bảo vệ nhôm AK-7 trong dung dịch axit xitric 5% tăng theo nồng độ chất ức chế BTA. Hiệu quả bảo vệ đạt trên 69% ở nồng độ BTA từ 0,5÷1%. Khi tăng nồng độ BTA từ 0,1÷1% tốc độ ăn mòn nhôm giảm dần và hiệu quả bảo vệ tăng dần. Ở nồng độ BTA nhỏ hơn 0,5%, hiệu quả ức chế ăn mòn tăng nhanh, ở nồng độ từ 0,5% đến 1% thì tốc độ ăn mòn cũng như hiệu quả bảo vệ tăng không đáng kể. Điều này có thể được giải thích khi nồng độ chất ức chế >0,5% thì bề mặt nhôm đã bị che phủ gần như hoàn toàn, do đó khi tiếp tục tăng nồng độ chất ức chế thì khả năng bảo vệ tăng không đáng kể.

Bảng 2. Các thông số của quá trình ăn mòn nhôm AK-7 dung dịch axit xitric 5% theo nồng độ BTA

Dung dịch	C_i (%)	$ b_a $ (V/dec)	$ b_c $ (V/dec)	E_{corr} (V)	j_{corr} ($\mu A/cm^2$)	k (mm/năm)	H (%)
DD nền	0	0,0148	0,2237	-0,6222	14,18	0,1519	-
DDNC	0,1	0,0142	0,2517	-0,6268	8,53	0,0913	39,89
	0,25	0,0155	0,2686	-0,6260	8,20	0,0878	42,21
	0,5	0,0129	0,1342	-0,6273	4,32	0,0462	69,56
	0,75	0,0119	0,1540	-0,6241	4,03	0,0431	71,61
	1	0,0107	0,1160	-0,6130	4,01	0,0429	71,73

Dựa trên hiệu quả bảo vệ và lợi ích kinh tế khi sử dụng chất ức chế BTA để bảo vệ chống ăn mòn cùng lúc đồng M-1 và nhôm AK-7 thì nồng độ phù hợp là 0,5%. Từ đó nhóm nghiên cứu lựa chọn nồng độ 0,5% BTA để thử nghiệm ăn mòn theo phương pháp hao hụt khối lượng.

3.2. Kết quả thử nghiệm theo phương pháp hao hụt khối lượng

Hiệu quả ức chế ăn mòn đồng M-1 và nhôm AK-7 của chất ức chế ăn mòn BTA ở nồng độ 0,5% trong DD nền được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Tốc độ ăn mòn đồng M-1 và nhôm AK-7 trong dung dịch chứa 5% axit xitric ở nhiệt độ $88 \pm 2^\circ C$ trong 0,5÷2 giờ

Mẫu kim loại	Thời gian thử nghiệm, Giờ	Tốc độ ăn mòn, K g/(m ² .giờ)		Hiệu quả bảo vệ, H %
		DD nền	DD nền + 0,5% BTA	
Đồng M-1	0,5	0,460	0,148	67,9
	1	0,268	0,085	68,4
	2	0,117	0,036	69,1
Nhôm AK-7	0,5	3,391	1,223	63,9
	1	2,708	0,970	64,2
	2	1,347	0,466	65,4

Phân tích kết quả Bảng 3 cho thấy, tốc độ ăn mòn đồng M-1 và nhôm AK-7 trong DD nền và trong DDNC đều giảm dần theo thời gian. Điều này có thể giải thích là trong trường hợp không có chất ức chế, theo thời gian lớp sản phẩm ăn mòn bám trên bề mặt kim loại làm cản trở quá trình ăn mòn sau đó, nên tốc độ ăn mòn giảm. Đối với trường hợp có mặt chất ức chế 0,5% BTA, chất ức chế hấp phụ lên bề mặt kim loại dẫn đến kim hãm quá trình ăn mòn, mất khối lượng theo thời gian gần như không đổi, do đó khi tăng thời gian thử nghiệm thì tốc độ ăn mòn giảm dần. Nhìn chung trong môi trường axit xitric 5%, chất ức chế nghiên cứu có tác dụng chống ăn mòn tốt cho đồng M-1 và nhôm AK-7 với hiệu quả bảo vệ đồng M-1 đạt trên 67%, hiệu quả bảo vệ nhôm AK-7 đạt trên 63%. Sau 2 giờ thử nghiệm ở $88 \pm 2^\circ C$ hiệu quả bảo vệ đồng M-1 của BTA nồng độ 0,5% đạt 69,1% và hiệu quả bảo vệ nhôm AK-7 đạt 65,2%.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu khả năng ức chế ăn mòn đồng M-1 và nhôm AK-7 của benzotriazol trong dung dịch axit xitric 5%, từ đánh giá kết quả thực nghiệm có thể đưa ra các kết luận như sau:

- Kết quả thử nghiệm bằng phương pháp điện hóa cho thấy: trong dung dịch axit xitric 5%, benzotriazol ức chế ăn mòn hiệu quả cao cho đồng M-1 và nhôm AK-7, nồng độ bảo vệ tối ưu là 0,5% cho hiệu quả bảo vệ đồng M-1 đạt 75,43% và nhôm AK-7 đạt 69,56%.

- Hiệu quả bảo vệ đồng M-1 và nhôm AK-7 của benzotriazol ở nồng độ 0,5% đạt được tương ứng là 69,1% và 65,4% sau 2 giờ thử nghiệm ở nhiệt độ $88 \pm 2^\circ\text{C}$ theo phương pháp hao hụt khối lượng.

Kết quả nghiên cứu trên là cơ sở để mở rộng việc ứng dụng benzotriazol như một thành phần chống ăn mòn kim loại màu hiệu quả cao trong dung dịch xử lý cáu cặn cho hệ thống làm mát động cơ trên cơ sở axit xitric.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Молоков В. А., Зеленин С.Ф., Учебник по устройству автомобиля, М.:РусьАвтокнига, 2000, 80 с.
2. Hudgens R. D., *Comparison of conventional and Organic Acid Technology (OAT) coolants in heavy duty diesel engine service*, Journal of Engines, 1999, **108**(3):82-91.
3. Hoàng Thanh Đức, *Nghiên cứu pha chế dung dịch chất tẩy cặn hệ thống trao đổi nhiệt, điều hòa nhiệt độ, kết nước ô tô, lò hơi, bằng chất tẩy sinh học không ăn mòn kim loại, thân thiện môi trường*, Mã số: 121.10.RD/HĐ-KHCN. Báo cáo kết quả nghiên cứu khoa học và công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Bộ Công thương, 2010, 63tr.
4. Jiang-xue Long, Jia-li Jiang, Shi-ming Zhang, Xiao-feng Dai, Xu-jie Dong, *Study on production of organic acid rust remover from passion fruit fermented by Aspergillus Niger*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, **369**:1-7.
5. Sastri V. S., *Green corrosion inhibitors: Theory and practice*, Wiley Series in Corrosion, Wiley, 2012, 328 p.
6. Coelho L. B., Mouanga M., Druart M. E., Recloux I., Cossement D., Olivier M.G., *A SVET study of the inhibitive effects of benzotriazole and cerium chloride solely and combined on an aluminium/copper galvanic coupling model*, Corrosion Science, 2016, **110**:143-156.
7. Ofoegbu S. U., Galvão T. L. P., J. R. B. Gomes, Tedim J., Nogueira H. I. S., Ferreira M. G. S., *Corrosion inhibition of copper in aqueous chloride solution by 1 H-1, 2, 3-triazole and 1, 2, 4-triazole and their combinations: electrochemical, Raman and theoretical studies*, Physical Chemistry Chemical Physics, 2017, **19**:6113-6129.

8. Qiang Y., Zhang S., Yan S., Zou X., Chen S., *Three indazole derivatives as corrosion inhibitors of copper in a neutral chloride solution*, Corrosion Science, 2017, **126**:295-304.
9. Hoàng Đức Quang, Nguyễn Thị Thu Xuân, Vũ Văn Huy, Nguyễn Chí Cường, Nguyễn Trọng Dân, *Tổng hợp và hiệu quả ức chế ăn mòn đồng của muối cộng hợp benzotriazole-cyclohexylamine trong dung dịch NaCl*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt đới, 2020, **21**:38-48.
10. Gaidar S. M., Karelina M. Yu., Hoang Duc Quang, Ershov V. S., *Production of effective water-soluble corrosion inhibitors based on amino alcohols*, Russian Engineering Research, 2021, **41**:558-560.
11. Kazem S. B., Changiz D., *Adsorption behavior of 1H-benzotriazole corrosion inhibitor on aluminum alloy 1050, mild steel and copper in artificial seawater*, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018, **41**(2):1613-1624.

SUMMARY

EVALUATION OF CORROSION INHIBITION PROPERTIES OF BENZOTRIAZOLE ON COPPER M-1 AND ALUMINUM AK-7 IN 5% CITRIC ACID SOLUTION

This paper presents the research results on the corrosion inhibition effect of benzotriazole on copper M-1 and aluminum AK-7 in 5% citric acid solution. Electrochemical test results show that benzotriazole as a good corrosion inhibitors for copper M-1 and aluminum AK-7. The optimal protective concentration of benzotriazole in this condition is 0.5%, at which the protective effect for copper M-1 and aluminum AK-7 is 75.43% and 69.56% respectively. After 2 hours of corrosion test in glassware at $88 \pm 2^\circ\text{C}$ by mass loss method with a concentration of 0.5% benzotriazole, the protective effect for copper M-1 and aluminum AK-7 reaches 69.1% and 65.4% respectively.

Keywords: Corrosion inhibitor, benzotriazole, citric acid, copper M-1, aluminum AK-7, *chất ức chế ăn mòn, đồng M-1, nhôm AK-7.*

Nhận bài ngày 24 tháng 11 năm 2022

Phản biện xong ngày 30 tháng 11 năm 2022

Hoàn thiện ngày 02 tháng 12 năm 2022

⁽¹⁾ Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

⁽²⁾ Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Liên hệ: TS. Hoàng Đức Quang

Chi nhánh Phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga

Số 3 Đường 3/2, Phường 11, Quận 10, Tp. Hồ Chí Minh

Điện thoại: 0941073010; Email: quanghoang1510@gmail.com