

Anode Hóa Vật Liệu Nhôm Trong Dung Dịch Axit Oxalic Để Tạo Cấu Trúc Bề Mặt Nano Và Nhuộm Màu Tăng Độ Bền Ăn Mòn

Nguyễn Văn Trung

Viện Xây dựng

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

trung_cb@hcmutrans.edu.vn

Tóm tắt – Nhôm là kim loại được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau của sản xuất và đời sống như ngành xây dựng, công nghệ hàng không, tàu biển, ô tô, điện tử cho đến vật liệu trang trí, đồ gia dụng. Điều này cho thấy những tính chất hóa lý đặc biệt của nhôm và hợp kim có tính ứng dụng cao, sự góp phần không nhỏ của công nghệ anode hóa và nhuộm màu nhôm giúp cải thiện đồng thời cả tính chất cơ lý của nhôm cũng như tăng tính chống mài mòn, ăn mòn, tăng độ cứng, tăng thêm tính đa dạng về hình thái, màu sắc bên ngoài cho nhôm. Trong bài báo này, kỹ thuật anode hóa nhôm trong dung dịch axit oxalic được nghiên cứu vì anode hóa trong dung dịch này có ưu điểm là ít độc hại, nguy hiểm, thân thiện với môi trường- với mục tiêu tạo lớp oxit nhôm bề mặt có cấu trúc nano và nhuộm màu cho nhôm nhằm tạo ra lớp phủ có tính năng bảo vệ, trang trí. Phổ nhiễu xạ X-Ray và kính hiển vi điện tử quét SEM được sử dụng để xác định thù hình và cấu trúc của bề mặt nhôm anode hóa.

Từ khóa– Anode hóa, cấu trúc nano, dung dịch axit oxalic, nhôm, nhuộm màu.

1. GIỚI THIỆU

Nhôm là kim loại được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau của sản xuất và đời sống. Điều đó có được không những do những tính chất hóa lý đặc biệt của nhôm và hợp kim, cũng như do sự góp phần của công nghệ anode hóa và nhuộm màu nhôm giúp cải thiện đồng thời cả tính chất cơ lý của nhôm, tăng sức đề kháng ăn mòn, độ cứng bề mặt, và cho phép nhuộm màu, trang trí tăng thêm tính đa dạng về hình thái, màu sắc bên ngoài cho nhôm.

Anode hóa là phương pháp dùng quá trình điện phân để tạo ra một lớp oxit bảo vệ hoặc trang trí trên bề mặt kim loại. Phương pháp này có thể thực hiện với dòng điện một chiều hoặc xoay chiều nhưng dòng xoay chiều ít được sử dụng. Do đó, quá trình anode

hóa thường được thực hiện trong dung dịch chất điện phân với dòng một chiều. Trong đó, mẫu kim loại được nối với cực dương của nguồn điện và đóng vai trò anode, cathode thường là một tấm platin, chì hay graphit. Trong nghiên cứu này, kỹ thuật anode hóa nhôm trong dung dịch axit oxalic được sử dụng (ưu điểm là ít độc hại, nguy hiểm, thân thiện với môi trường và tương đối còn ít được nghiên cứu) [1] với mục tiêu tạo lớp oxit nhôm bề mặt có cấu trúc ống nano và nhuộm màu cho nhôm nhằm tạo ra lớp phủ có tính năng bảo vệ, trang trí.

II. NỘI DUNG

VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

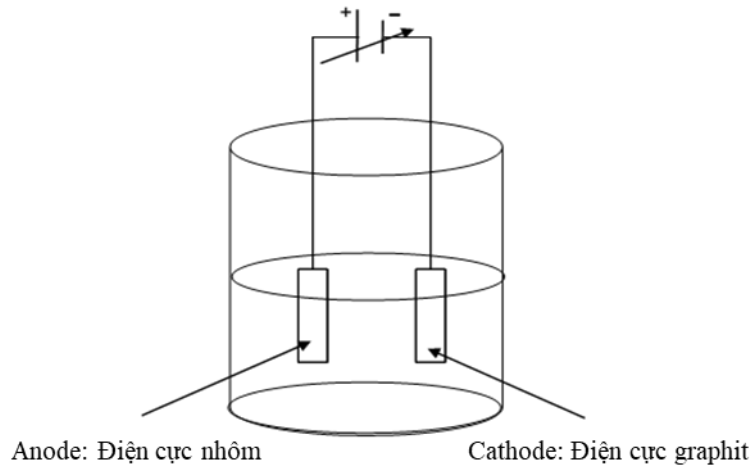
A. Nội dung nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu tập trung vào hai phần chính. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình anode hóa trong dung dịch axit oxalic (dung dịch axit này ít độc hại, nguy hiểm, thân thiện với môi trường) và nhuộm màu được khảo sát bao gồm: Mật độ dòng điện, nồng độ dung dịch điện phân, thời gian điện phân, nhiệt độ nhuộm màu, thời gian nhuộm màu đến quá trình nhuộm màu nhôm đã anode hóa. Một số đặc tính của lớp nhôm anode hóa và lớp nhôm anode đã được nhuộm màu.

B. Phương pháp nghiên cứu

1) Phương pháp Anode hóa

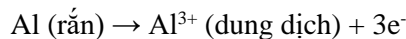
Sơ đồ hệ thống anode hóa được thể hiện trong hình 1. Cathode: Graphit có dạng hình chữ nhật có kích thước $4 \times 7 \text{ cm}^2$. Anode: Nhôm hợp kim A1050 (% Al > 99,5%) kích thước $2,5 \times 6 \text{ cm}^2$. Mẫu nhôm anode được xử lý với NaOH 2 M trong 2 phút và với HNO₃ 2 M trong 1 phút. Dung dịch điện phân là axit oxalic. Thể tích bình điện phân là 1000 ml. Khoảng cách giữa hai điện cực được giữ cố định là 3 cm.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống anode hóa.

Các mẫu nhôm sau khi anode xong sẽ được rửa lại bề mặt bằng nước cất. Các phản ứng chính xảy ra trong quá trình anode hóa [2]:

Khi cho dòng điện một chiều đi từ cực dương sang cực âm, dưới tác dụng của dòng điện, trên anode nhôm xảy ra quá trình oxi hoá Al, tạo thành ion Al^{3+} :



Điện cực Al sau khi bị hòa tan sẽ hình thành các lỗ xốp trên bề mặt điện cực. Nếu tiến hành điện phân với các chế độ thích hợp, các lỗ kích thước nano sẽ được hình thành trên bề mặt điện cực. Chúng giúp làm tăng cường các tính chất cơ lý của bề mặt nhôm và giúp quá trình nhuộm màu đạt kết quả tốt.

2) Phương pháp nhuộm màu

Nhôm sau khi anode hóa trên bề mặt, sẽ xuất hiện hệ thống lỗ xốp và được nhúng vào dung dịch màu $K_2Cr_2O_7$. Các lỗ xốp hấp thu chất màu ở các nồng độ, nhiệt độ và thời gian được khảo sát và có thể hấp thu cả khí oxi, nước,... tạo màu sắc, làm tăng khả năng chống ăn mòn. Sau khi nhuộm màu các lỗ xốp được niêm phong, bịt kín (sealed): Ngâm trong nước nóng $100^{\circ}C$, để giữ lại thuốc nhuộm và tăng khả năng chống ăn mòn [2].

3) Phương pháp kính hiển vi điện tử quét (Scanning electron microscope-SEM)

Phương pháp chụp ảnh kính hiển vi điện tử quét-SEM được sử dụng để xác định hình thái của lớp oxit thu được sau quá trình anode hóa. SEM hoạt động dựa trên nguyên tắc dùng một chùm điện tử hẹp chiếu quét trên bề mặt mẫu đo và phát ra các bức xạ thứ cấp, từ

việc thu được các bức xạ thứ cấp. Ta thu được hình ảnh vi cấu trúc bề mặt mẫu.

4) Phương pháp gián đo nhiễu xạ tia X (X-ray Diffraction- XRD)

Gián đo nhiễu xạ tia X được ghi trên máy nhiễu xạ tia X và được sử dụng để định tính pha của lớp oxit nhôm thu được sau quá trình anode hóa. Tia X có bước sóng xấp xỉ với độ dài liên kết trong phân tử và khoảng cách giữa các nguyên tử trong vật liệu (vài \AA) nên có thể gây ra sự nhiễu xạ tia X [3].

5) Phương pháp ăn mòn kim loại

Các mẫu nhôm, nhôm anode hóa, nhôm anode hóa nhuộm màu được ngâm trong dung dịch muối ăn bão hòa trong 2 ngày. Sau đó chúng được lấy ra, để ngoài không khí trong một tuần, tiếp theo tiến hành so sánh, đánh giá mức độ bị ăn mòn của các mẫu.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

A. Khảo sát quá trình anode hóa

Qua khảo sát sơ bộ và tham khảo tài liệu về quá trình anode hóa, các thí nghiệm được tiến hành với chế độ ban đầu: Dung dịch $H_2C_2O_4$ $C = 1$ M, thời gian điện phân 120 phút, với mật độ dòng $i = 0,2$ A/dm². Từng thông số được thay đổi để tìm giá trị tối ưu và các thông số còn lại được cố định.

1) Ảnh hưởng của mật độ dòng

Tiến hành khảo sát mật độ dòng trong khoảng 0,05 A/dm² đến 0,25 A/dm². Độ dày lớp oxit nhôm được đánh giá dựa vào màu và độ bóng của lớp nhôm oxit hình thành trên bề mặt mẫu nhôm. Kết quả khảo sát được trình bày trong bảng I.

BẢNG I. ẢNH HƯỞNG CỦA MẬT ĐỘ DÒNG ĐẾN TÍNH CHẤT LỚP ANODE HÓA.

Mật độ dòng i (A/dm ²)	Màu sắc	Độ bóng
0,05	Chưa xuất hiện màu	Độ bóng trung bình
0,10	xám rất nhạt	Độ bóng khá
0,15	Xám nhạt	Độ bóng tốt
0,20	Xám đậm	Độ bóng tốt
0,25	Xám đậm	Độ bóng khá

Nhận xét:

- Với $i = 0,05$ A/dm², màu xám của lớp oxit chưa xuất hiện trên bề mặt mẫu nhôm, lớp nhôm oxit hình thành còn rất mỏng;

- Khi tăng i từ 0,05 A/dm² đến 0,2 A/dm², màu xám của lớp oxit nhôm xuất hiện rõ và đậm dần, điều này do lớp màng oxit nhôm tạo nên trên bề mặt mẫu nhôm ngày càng dày hơn;

- Khi i lớn hơn 0,20 A/dm², màu xám của lớp oxit nhôm hầu như không thay đổi nhiều, điều này chứng tỏ

lớp oxit nhôm tạo thành trên bề mặt mẫu thay đổi không đáng kể.

Thông số $i = 0,20$ A/dm² được chọn để khảo sát các yếu tố tiếp theo.

2) Ảnh hưởng của thời gian điện phân

Thời gian điện phân được thay đổi từ 30 phút đến 150 phút. Độ dày lớp nhôm oxit được đánh giá dựa vào màu và độ bóng trên bề mặt mẫu nhôm. Kết quả khảo sát được trình bày trong bảng II.

Bảng II. ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN ĐIỆN PHÂN ĐẾN TÍNH CHẤT LỚP ANODE HÓA.

Thời gian điện phân t (phút)	Màu sắc	Độ bóng
30	Chưa xuất hiện màu	Độ bóng trung bình
60	Màu xám rất nhạt	Độ bóng khá
90	Màu xám nhạt	Độ bóng tốt
120	Màu xám đậm	Độ bóng tốt
150	Màu xám đậm	Độ bóng khá

Nhận xét:

- Với $t = 30$ phút, màu xám của lớp oxit nhôm chưa xuất hiện, lớp màng nhôm oxit chưa hình thành.

- Khi t tăng từ 30 phút đến 120 phút, màu xám của lớp oxit nhôm đậm dần, điều này chứng tỏ lớp oxit nhôm hình thành trên bề mặt mẫu nhôm ngày càng dày.

- $t > 120$ phút, màu xám của lớp oxit nhôm không thay đổi so với $t = 120$ phút, mẫu nhôm mỏng hơn so với thời gian điện phân là 120 phút. Mẫu nhôm mỏng hơn là do khi điện phân nhôm trong thời gian dài thì tốc độ ăn mòn nhôm nhanh hơn tốc độ hình thành lớp oxit nhôm.

Thông số $t = 120$ phút được chọn để khảo sát các yếu tố còn lại.

3) Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch điện phân

Tiến hành khảo sát ảnh hưởng của nồng độ dung dịch điện phân đến lớp oxit nhôm khi tiến hành điện phân trong dung dịch H₂C₂O₄ ở các nồng độ: 0,25 M; 0,5 M; 0,75 M; 1 M và 1,2 5M, với mật độ dòng $i = 0,2$ A/dm² và thời gian điện phân là 120 phút. Sự hình thành lớp nhôm oxit được đánh giá dựa vào màu trên bề mặt mẫu nhôm. Kết quả khảo sát được trình bày trong bảng III.

BẢNG III. ẢNH HƯỞNG NỒNG ĐỘ DUNG DỊCH ĐIỆN PHÂN ĐẾN TÍNH CHẤT LỚP ANODE HÓA.

Nồng độ dung dịch điện phân C (M)	Màu sắc trên mẫu nhôm	Độ bóng
0,25	Chưa xuất hiện màu	Độ bóng trung bình
0,50	Màu xám nhạt	Độ bóng khá
0,75	Màu xám khá đậm .	Độ bóng tốt
1,00	Màu xám đậm.	Độ bóng tốt
1,25	Màu xám khá đậm	Độ bóng khá

Nhận xét:

- Với C = 0,25 M, màu xám của lớp oxit nhôm chưa xuất hiện và lớp oxit nhôm còn rất mỏng;

- Khi C tăng từ 0,25 M đến 1,00 M, màu xám của lớp oxit nhôm ngày càng đậm dần, điều này chứng tỏ lớp oxit nhôm hình thành trên bề mặt mẫu nhôm ngày càng tăng dần;

- Khi C lớn hơn 1,00 M, màu xám của lớp oxit nhôm bị giảm đi và lá nhôm bị ăn mòn, độ bóng giảm do sự tăng tốc độ hòa tan màng khi nồng độ dung dịch điện phân tăng và chất lượng lớp anode hóa giảm.

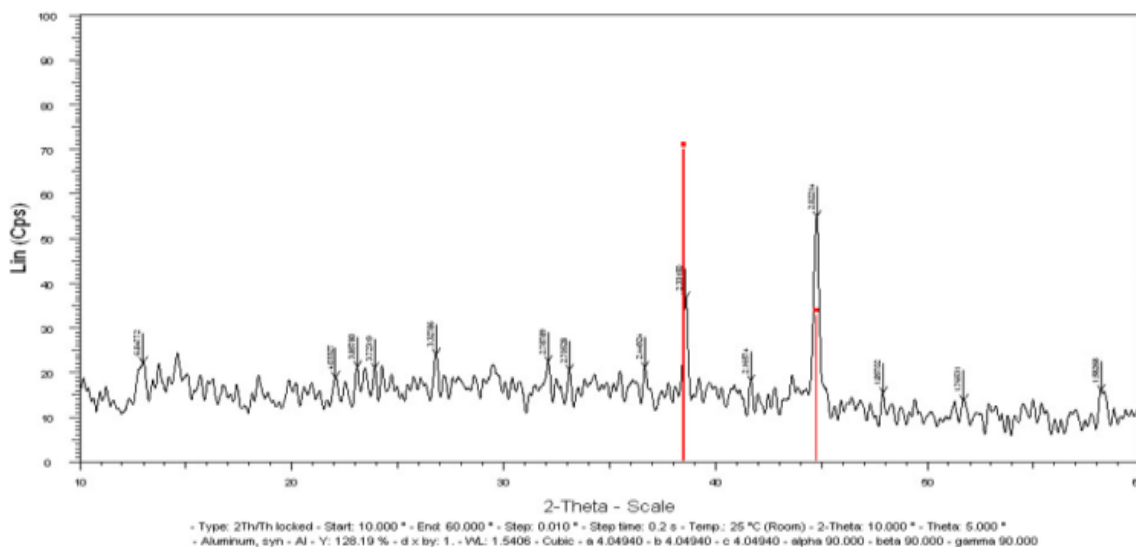
Vì vậy, nồng độ dung dịch C = 1,00 M được chọn là nồng độ tối ưu. Tóm lại, qua các thí nghiệm trên,

điều kiện tối ưu được chọn để tiến hành các thí nghiệm tiếp theo: Dung dịch H₂C₂O₄ C = 1,00 M, i = 0,2 A/dm², t = 120 phút.

B. Khảo sát một số đặc điểm của lớp màng oxit đã anode hóa

1) Cấu trúc

Phương pháp phân tích nhiễu xạ tia X được sử dụng để khảo sát cấu trúc của lớp anode hoá trên bề mặt lá nhôm, sau khi anode hóa để xác định thành phần lớp oxit nhôm hình thành. Giảm đồ nhiễu xạ tia X của mẫu nhôm đã anode hóa trong điều kiện tối ưu được thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Giảm đồ nhiễu xạ tia X của mẫu nhôm anode hóa trong dung dịch H₂C₂O₄ C = 1,00M, i = 0,2 A/dm², t = 120 phút so với peaks chuẩn của nhôm.

Nhận xét:

- Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X của mẫu khảo sát cho thấy, đường nền của các giảm đồ không ổn định và các đỉnh hầu như lẫn vào đường nền.

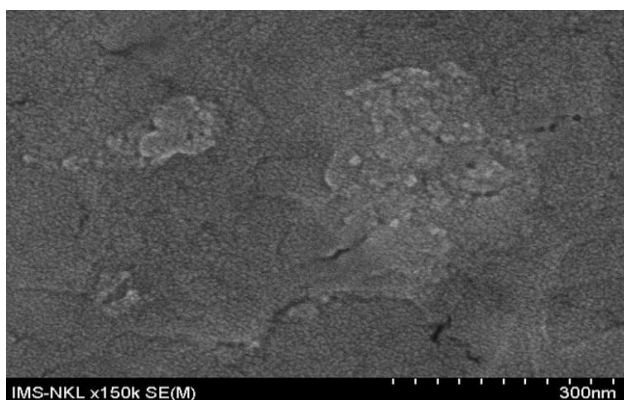
- Có 2 peak cho tín hiệu mạnh là của nhôm tinh thể [3].

Điều này chứng tỏ lớp oxit nhôm thu được có độ tinh thể hoá thấp nên không xác định được thành phần

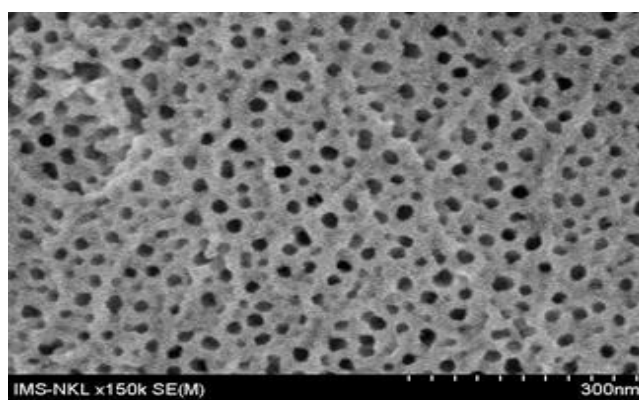
pha của oxit nhôm hình thành. Vì vậy, có thể kết luận sau quá trình anode hóa, nhôm oxit tạo thành dưới dạng vô định hình.

2) Hình thái

Phương pháp chụp ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) được sử dụng để khảo sát hình thái của lớp anode hoá trên bề mặt mẫu nhôm trước và sau anode hóa. Ảnh SEM được trình bày trong hình 3 và hình 4.



Hình 3. Ảnh SEM của mẫu nhôm khi chưa anode hoá.



Hình 4. Ảnh SEM của mẫu nhôm khi đã anode hoá.

Nhận xét:

- Khi chưa anode hóa, bề mặt mẫu nhôm khá bằng phẳng và đồng nhất;

- Sau khi thực hiện quá trình anode hóa, trên bề mặt mẫu nhôm xuất hiện lớp oxit nhôm có cấu trúc nano dạng hình ống với kích thước lỗ khoảng vài chục nanomet, các ống được sắp xếp có tính trật tự cao. Chính những lỗ xốp này góp phần tăng tính chất cơ lý của bề mặt nhôm, hấp thu chất màu và khi đun nóng các lỗ ống bị bịt kín, làm cho chất màu khó thoát ra khi tiếp xúc với các chất bên ngoài.

C. Khảo sát quá trình nhuộm màu

1) Ảnh hưởng của thời gian nhuộm màu

Tiến hành anode hóa nhôm trong dung dịch $H_2C_2O_4$ 1,00 M, $i = 0,2A/dm^2$ trong 120 phút, sau khi anode hóa, mẫu nhôm được rửa sạch bằng nước cất và ngâm trong dung dịch $K_2Cr_2O_7$ 20g/l với các khoảng thời gian lần lượt: 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút, 75 phút và 90 phút ở nhiệt độ $80^\circ C$. Kết quả được trình bày trong bảng IV.

Bảng IV. ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN NHUỘM ĐẾN KẾT QUẢ NHUỘM MÀU.

Thời gian nhuộm (phút)	Màu sắc và độ bóng
15	Màu vàng nhạt, khá bóng
30	Màu vàng nhạt, khá bóng
45	Màu vàng nhạt, khá bóng
60	Màu vàng đậm, độ bóng cao
75	Màu vàng đậm, độ bóng cao
90	Màu vàng đậm, độ bóng cao

Nhận xét

- Với thời gian nhuộm là 15 - 45 phút, mẫu nhôm xuất hiện màu vàng nhạt, độ bóng khá, do sự hấp thu thuốc nhuộm chưa cao, màu sắc nhuộm chưa đẹp;

- Với thời gian nhuộm là 60 - 90 phút, mẫu nhôm xuất hiện màu vàng đậm với độ bóng cao.

Quá trình này có thể được giải thích như sau: Khi thời gian nhuộm ngắn, các lỗ trên anode chưa hấp thu màu đủ nên màu nhạt. Tuy nhiên, khi thời gian nhuộm dài, các lỗ trên anode đã hấp thu màu đủ và sẽ không

tiếp tục hấp thu. Do đó, khi nhuộm màu phải nhuộm trong thời gian vừa đủ.

2) Ảnh hưởng nhiệt độ nhuộm màu

Nhiệt độ nhuộm cũng là một yếu tố quan trọng giúp việc hấp thu các phân tử chất màu diễn ra nhanh hơn. Thí nghiệm được khảo sát tại điều kiện anode hóa tối ưu với thời gian nhuộm là 60 phút, điều kiện nhuộm màu biến đổi. Kết quả khảo sát được trình bày trong bảng V.

BẢNG V. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ NHUỘM ĐẾN KẾT QUẢ NHUỘM MÀU.

Nhiệt độ nhuộm (°C)	Màu sắc và độ bóng
40	Vàng nhạt, bóng
50	Vàng nhạt, bóng
60	Vàng khá đậm, bóng cao
70	Vàng đậm, bóng cao
80	Vàng đậm, bóng cao

Nhận xét:

• Tăng nhiệt độ nhuộm sẽ làm tăng tốc độ hấp thu thuốc nhuộm, làm cân bằng màu đạt nhanh hơn.

• Với $t^0 = 40^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$: Màu nhạt do nhiệt độ thấp, sự hấp thu màu diễn ra chậm.

• Với $t^0 = 60 - 80^{\circ}\text{C}$: Màu khá đậm cho đến đậm, độ bóng cao. Nhưng tại nhiệt độ 80°C có sự bay hơi khá mạnh của dung dịch nhuộm. Vậy khoảng nhiệt độ nhuộm tối ưu nên từ 60°C đến 70°C

Với nhiệt độ nhuộm và thời gian nhuộm thu được như trên, những khảo sát tiếp theo được thực hiện ở: nhiệt độ nhuộm là 60°C , thời gian nhuộm: 60 phút.

3) Ảnh hưởng nồng độ chất nhuộm màu

Các mẫu nhôm được anode hóa ở chế độ tối ưu, sau đó tiến hành khảo sát ảnh hưởng của nồng độ thuốc nhuộm ở nhiệt độ 60°C trong thời gian 60 phút. Với nồng độ thuốc nhuộm $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, từ 15g/l đến 40 g/l. Kết quả khảo sát được trình bày trong bảng VI và hình 5.

BẢNG VI. ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ CHẤT NHUỘM ĐẾN QUÁ TRÌNH NHUỘM MÀU.

Nồng độ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (g/l)	Màu sắc và độ bóng
15	Vàng nhạt, bóng
20	Vàng, bóng cao
25	Vàng, bóng cao
30	Vàng đậm, bóng cao
35	Vàng đậm, bóng cao
40	Vàng đậm, bóng cao



(1) Không nhuộm

(2) Nhuộm 20g/l $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

(3) Nhuộm 30g/l $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Hình 5. Kết quả nhuộm màu.

Nhận xét: Tăng nồng độ thuốc nhuộm làm cho cường độ màu trên mẫu nhôm tăng lên, có thể sử dụng thông số này để đạt được cường độ màu của mẫu nhuộm như mong muốn.

4) Khả năng chống ăn mòn

Khảo sát 03 mẫu nhôm: 01 mẫu nhôm chưa anode hóa, 01 mẫu nhôm đã anode hóa ở điều kiện tối ưu

nhưng chưa nhuộm màu, 01 mẫu nhôm đã anode hóa và nhuộm màu (ở nhiệt độ 60°C , thời gian 60 phút, nồng độ 20g/l $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Cho cả ba mẫu ngâm vào dung dịch muối ăn bão hòa trong 02 ngày, sau đó để ngoài không khí trong 01 tuần. Kết quả thu được trình bày trong bảng VII và hình 6.

BẢNG VII. KẾT QUẢ KHẢO SÁT KHẢ NĂNG CHỐNG ẼN MÒN.

Mẫu	Kết quả
Mẫu nhôm chưa anode	Xuất hiện vết đốm đen trên bề mặt
Mẫu nhôm đã anode hóa	Bề mặt hầu như không thay đổi
Mẫu nhôm đã anode hóa và nhuộm màu	Bề mặt hầu như không thay đổi



(1) Mẫu nhôm chưa anode hóa

(2) Mẫu nhôm đã anode hóa

(3) Mẫu nhôm anode hóa và nhuộm màu

Hình 6. Kết quả khảo sát khả năng chống ăn mòn.

IV. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu quá trình anode hóa trong dung dịch $H_2C_2O_4$ và nhuộm màu với $K_2Cr_2O_7$ để tạo lớp màng oxit nhôm có cấu trúc nano nhằm mục đích bảo vệ và trang trí, có thể rút ra những kết luận sau:

- Khi tăng một trong các điều kiện: Mật độ dòng, thời gian điện phân, nồng độ dung dịch điện phân dẫn đến độ dày lớp oxit nhôm tăng theo. Các thông số tối ưu của quá trình anode hóa: Nồng độ dung dịch: 1,00 M; thời gian điện phân 120 phút; mật độ dòng 0,2 A/dm²;

- Trên bề mặt mẫu nhôm sau khi anode sẽ xuất hiện cấu trúc nano với lỗ xốp có kích thước khoảng vài chục nanomet; chính những lỗ xốp này giúp hấp thu màu tốt trong quá trình nhuộm màu nhôm sau anode và tăng khả năng chống ăn mòn;

- Lớp nhôm oxit tạo thành trong quá trình anode hóa tồn tại dưới dạng vô định hình;

- Quá trình nhuộm màu cần được tiến hành ngay sau quá trình anode hóa với nhiệt độ 60°C, thời gian 60 phút, nồng độ 20g/l đến 30g/l $K_2Cr_2O_7$. Khi tăng nồng độ chất nhuộm mẫu thu được có màu đậm hơn;

- Thời gian nhuộm màu không ảnh hưởng nhiều đến quá trình ăn màu của mẫu nhôm. Tuy nhiên cần phải có đủ thời gian để các chất gây màu vào đủ trong lỗ xốp trên bề mặt mẫu nhôm sau anode hóa; nếu thời

gian quá ngắn, các lỗ xốp chưa hấp thu đủ màu dẫn đến mẫu nhôm nhạt màu, tuy nhiên nếu thời gian quá dài, các chất gây màu chỉ bám trên bề mặt mẫu nhôm sau khi mẫu nhôm đã hấp thu màu đủ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. Đ. Hùng, N. H. Giang, “Công nghệ kết tủa và ngưng đọng điện hóa kích thước nanomet,” Tuyển Tập Các Báo cáo toàn văn Hội nghị Toàn quốc các đề tài nghiên cứu khoa học cơ bản trong lĩnh vực Hóa Lý và Hóa Lý thuyết, Hà Nội, Việt Nam: NXB Đại học Quốc Gia Hà Nội, trang 120-126, 2005.
- [2] N. V. Trung, “Giáo trình Điện Hóa học,” Thừa Thiên Huế, Việt Nam: NXB Đại Học Huế, 2002.
- [3] P. T. H. Oanh, “Giáo trình phân tích cấu trúc vật liệu,” trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam, 2015.
- [4] N. T. K. Oanh, “Tổng hợp màng xốp ống nano Al_2O_3 bằng phương pháp anode hóa,” Khóa luận Đại học, ngành Hóa học, trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam, 2015.
- [5] H. Nhâm, “Hóa học vô cơ,” tập 2, Hà Nội, Việt Nam: NXB Giáo dục Việt Nam, 2006.
- [6] N. V. Tuế, “Sổ tay kỹ thuật mạ,” Hà Nội, Việt Nam: NXB Công nhân Kỹ thuật, 1987.
- [7] T. M. Hoàng, “Công nghệ mạ điện,” Hà Nội, Việt Nam: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2005.