

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ VÀ TỐC ĐỘ QUÉT THỂ ĐẾN DẠNG ĐƯỜNG CYCLIC VOLTAMMETRY TRONG QUÁ TRÌNH OXI HÓA PHENOL SỬ DỤNG ĐIỆN CỰC $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3/\text{PbO}_2$

RESEARCH INFLUENCE OF TEMPERATURE AND SCAN SPEED TO CYCLIC VOLTAMMETRY CURVES ON OXIDATION OF PHENOL USING $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3/\text{PbO}_2$ ELECTRODE

Chu Thị Thu Hiền

Bộ môn Hóa học, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Đến Tòa soạn ngày 20/2/2023, chấp nhận đăng ngày 01/03/2023

Tóm tắt: Phenol và dẫn xuất của nó đã được sử dụng nhiều trong các ngành công nghiệp như nhựa foocmandehit, dược phẩm, thuốc trừ sâu, dệt may, thuốc nhuộm và nhà máy lọc dầu. Khi thải ra môi trường, do độc tính của phenol, các hợp chất hữu cơ nên chúng sẽ có tác động xấu đến sự sinh trưởng vi sinh vật, vì vậy cần thiết phải xử lý chúng trong nước thải. Một trong những phương pháp loại bỏ phenol là sử dụng các điện cực như các anot trơ (DSA). Tuy nhiên, khả năng làm suy giảm phenol bằng phương pháp oxi hóa điện hóa trong quá trình điện phân phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó phải kể đến nhiệt độ và tốc độ quét thể. Trong bài báo này tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ quét thể đến dạng đường Cyclic Voltammetry (CV) trong quá trình oxi hóa phenol. Kết quả nghiên cứu cho thấy, phenol có thể bị oxi hóa điện hóa trên điện cực anot $\text{Ti/Sb}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2/\text{PbO}_2$ ở điều kiện nhiệt độ 30°C , môi trường điện phân pH = 8 và tốc độ quét 50 mV/s.

Từ khóa: Anot $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3/\text{PbO}_2$, oxi hóa phenol, quét thể tuần hoàn.

Abstract: Phenol and its derivatives have been widely used in industries such as formaldehyde resins, pharmaceuticals, pesticides, textiles, dyes and refineries. When discharged into the environment, due to the toxicity of phenols and organic compounds, they will have an adverse effect on microbial growth, so it is necessary to treat them in wastewater. One of the methods of removing phenol is the use of electrodes such as inert anodes (DSA). However, the ability to degrade phenol by electrochemical oxidation during electrolysis depends on many factors, including temperature and potential scanning rate. In this paper, the author studied the effect of temperature and potential scanning speed on Cyclic Voltammetry (CV) in the oxidation of phenol. Research results show that phenol can be oxidized electrochemically on $\text{Ti/Sb}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2/\text{PbO}_2$ anode electrode at temperature of 30°C , electrolytic environment pH = 8 and scanning speed of 50mV/s.

Keywords: Oil film pressure, hydrodynamic bearing, lubrication.

1. GIỚI THIỆU

Một trong những độc hữu cơ trong nước là phenol. Phenol là chất ô nhiễm độc hại và được liệt kê vào 129 chất ô nhiễm cần ưu tiên xử lý theo hướng dẫn của Cục Bảo vệ môi

trường Mỹ. Phenol thường phát sinh ra trong các dòng thải của các ngành công nghiệp như hóa dầu, lọc dầu, sản xuất nhựa, ngành thép, dệt nhuộm, giấy và bột giấy, thuốc trừ sâu, dược phẩm, tổng hợp nhựa, nước thải của quá

trình luyện cốc. Tuy nhiên, việc xử lý phenol trong môi trường nước bằng phương pháp điện hóa lại phụ thuộc vào nhiều yếu tố như pH của dung dịch điện phân (pH), nồng độ phenol, nhiệt độ, tốc độ quét thế... [1-5].

Oxi hóa điện hóa được xem là một phương pháp hiệu quả để làm giảm hàm lượng các chất thải hại hữu cơ độc trong môi trường. Dòng điện gây ra phản ứng oxi hóa - khử trên bề mặt các điện cực dẫn đến sự phân hủy các hợp chất hữu cơ. Đây là một phương pháp thân thiện với môi trường vì các điện tử (tác nhân chính của quá trình) là một tác nhân sạch. Bên cạnh đó, phương pháp này sử dụng kỹ thuật đơn giản, điều khiển dễ dàng và tự động hóa, hiệu quả năng lượng, hiệu suất quá trình oxi hóa mạnh, do đó đạt hiệu quả cao trong xử lý nước thải hữu cơ tập trung [6,7].

Một trong những điện cực được sử dụng trong phương pháp điện hóa là điện cực anot. Điện cực này thường được chế tạo dựa trên cơ sở hỗn hợp các oxit kim loại chuyển tiếp và oxit trơ. Ưu điểm nổi bật của điện cực này là vừa có khả năng dẫn điện vừa có độ bền hóa học, điện hóa cao, mật độ dòng hoạt động thấp. Đặc biệt, trong quá trình oxi hóa các chất này sẽ không tan ra, vì thế không có khả năng gây ô nhiễm thứ cấp nên ít độc với môi trường [8, 9].

Nội dung bài báo đề cập tới việc khảo sát sự ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ quét thế đến dạng đường Cyclic Voltammetry của quá trình oxi hóa điện hóa phenol trong nước thải nhân tạo. Điện cực anot trơ $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$ được nhóm tác giả tổng hợp trong phòng thí nghiệm.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Chế tạo điện cực

Điện cực anot $\text{Ti/Sb}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2\text{/PbO}_2$ được chế tạo bằng phương pháp phân hủy nhiệt và mạ

điện. Trước khi phủ các oxit kim loại, nền titan được làm sạch dầu mỡ và tẩy hóa học trong dung dịch axit oxalic (15%) (Merk). Dung dịch để tạo lớp phủ oxit kim loại được chuẩn bị từ các muối SbCl_3 , SnCl_4 , $\text{Pb(NO}_3)_2$, dung môi isopropanol (Merk) và một số phụ gia khác (Merk). Hàm lượng của mỗi chất được tính toán chính xác để đảm bảo sau quá trình phân hủy nhiệt sẽ nhận được lớp phủ $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2\text{/PbO}_2$ trên nền titan [9].

Màng $\text{SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$ phủ trên nền titan được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM), nhiễu xạ X-ray (XRD).

2.2. Khảo sát sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới khả năng oxi hóa phenol

Việc khảo sát sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới khả năng oxi hóa phenol được nghiên cứu thông qua phương pháp quét thế vòng CV với tốc độ quét thế 50 mV/s và khoảng quét thế 0-2 V trong các khoảng nhiệt độ khác nhau. Các thí nghiệm được thực hiện bởi hệ điện hóa sử dụng ba điện cực, trong đó điện cực đối là thép không gỉ có diện tích lớn hơn nhiều lần so với điện cực làm việc $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$. Điện cực sử dụng $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$, diện tích đo được không chế là 4 cm². Dung dịch điện phân có chứa 0,5 g/l phenol và 7,5 g/l Na_2SO_4 , pH=8. Nhiệt độ được khống chế nhờ máy khuấy từ gia nhiệt ở 30°C, 40°C và 50°C.

2.3. Khảo sát sự ảnh hưởng của tốc độ quét thế đến dạng đường CV trong quá trình oxi hóa phenol

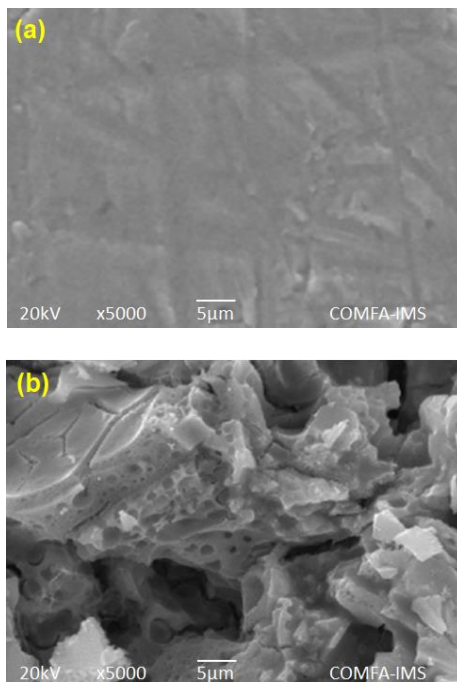
Để nghiên cứu sự ảnh hưởng của tốc độ quét thế đến dạng đường cyclic voltammetry trong quá trình oxi hóa phenol, các phép đo phân cực thế vòng (CV) ở các tốc độ quét khác nhau là: 20, 40, 50, 60, 100, 150 mV/s đã được thực hiện trong dung dịch điện phân có chứa 0,5 g/l phenol và 7,5 g/l Na_2SO_4 , pH = 8,

hiệt độ phòng $T = 30^{\circ}\text{C}$ (đây là nhiệt độ trong phòng khi thực hiện thí nghiệm); tốc độ quét thế 50 mV/s, khoảng quét thế 0-2 V. Hệ điện hóa ba điện cực, trong đó điện cực làm việc (anot) là các điện cực nghiên cứu $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$, được không chế diện tích đo là 4 cm^2 , điện cực đối là thép không gỉ và điện cực so sánh Calomel bão hòa.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

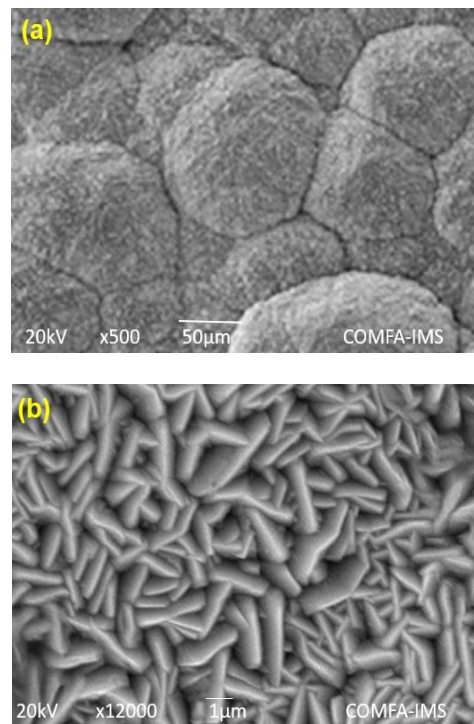
3.1. Kết quả hình thái học và cấu trúc của bề mặt điện cực $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$

Kết quả SEM (hình 1) cho thấy bề mặt của vật liệu nền Titan sau khi được xử lý bề mặt và tạo lớp phủ trung gian $\text{SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$ ở nhiệt độ nung 480°C hầu như không bị nứt nẻ. So với bề mặt điện cực nền titan (hình 1a), hình thái bề mặt điện cực có lớp phủ $\text{SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$ thay đổi rõ rệt (hình 1b), bao gồm các phiến xếp thành hình cánh hoa, các phiến phẳng với các vết nứt, rỗ xốp và khả năng phân tán cao, cấu trúc này là điển hình cho điện cực oxit $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$.



Hình 1. Ảnh SEM của bề mặt của vật liệu nền titan sau khi xử lý bề mặt (a) và lớp phủ $\text{SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$ trên nền titan (b), sau khi nung ở 480°C trong 60 phút

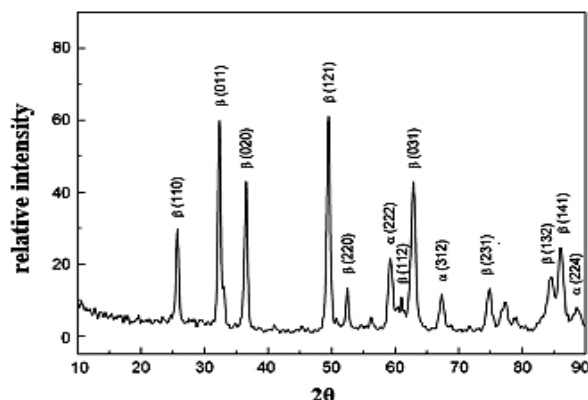
Hình 2 là ảnh SEM của lớp bề mặt điện cực $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$ ở các độ phóng đại khác nhau. Kết quả SEM (hình 2) cho thấy lớp phủ có cấu trúc xốp được tạo đồng đều trên toàn bộ vùng khảo sát. Sau thời gian điện phân 120 phút, lớp PbO_2 đã bao phủ hoàn toàn bề mặt của điện cực $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$. Bề mặt lớp mạ PbO_2 đồng đều, kín khít và hình thành rõ rệt các tinh thể PbO_2 .



Hình 2. Ảnh SEM của lớp bề mặt điện cực $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{/PbO}_2$

Kết quả đo nhiễu xạ tia X (hình 3) cho thấy các vạch nhiễu xạ của $\alpha\text{-PbO}_2$ và $\beta\text{-PbO}_2$ có cường độ lớn, sắc nét xuất hiện, đồng thời không quan sát thấy các vạch nhiễu xạ của thiếc oxit và antimon oxit chứng tỏ lớp phủ PbO_2 của lớp bề mặt đã bao phủ kín lớp trung gian $\text{SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$.

Hình 3 mô tả chi tiết các pic điển hình của $\alpha\text{-PbO}_2$ tại các giá trị 59.2, 67.3, 89.5 và của $\beta\text{-PbO}_2$ xuất hiện tại các giá trị 25.5, 32.5, 36.5, 49.5, 52.2, 61.7, 62.5, 75, 84.6, 86.3. Điều đó chứng tỏ rằng việc phủ PbO_2 lên điện cực cần chế tạo đã thực hiện thành công.



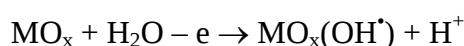
Hình 3. Giản đồ nhiễu xạ tia X của lớp phủ PbO₂ với thời gian điện phân 120 phút

Kết quả SEM và XRD đều cho thấy sau thời gian điện phân 120 phút, lớp PbO₂ đã được tạo ra và bao phủ trên bề mặt điện cực Ti/SnO₂-Sb₂O₃. Điện cực Ti/SnO₂-Sb₂O₃/PbO₂ đã được chế tạo thành công.

3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến khả năng oxi hóa phenol

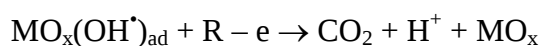
Theo [10], quá trình chuyển hóa phenol thành CO₂ hoặc thành các hợp chất hữu cơ trung gian khác là do tác dụng của các gốc oxi hóa mạnh OH[•] hoặc các oxi nguyên tử tạo ra trên bề mặt điện cực Ti/SnO₂-Sb₂O₃/PbO₂. Sự tạo thành các gốc oxi hóa mạnh này là do quá trình điện phân của nước diễn ra phức tạp, gồm nhiều phản ứng.

Ban đầu trên bề mặt anot Ti/SnO₂-Sb₂O₃/PbO₂ sẽ xuất hiện các phản ứng:



M ở đây là các kim loại Pb.

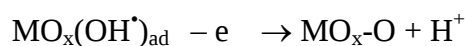
Gốc OH[•] là một chất oxi hóa mạnh có khả năng trực tiếp tham gia phản ứng oxi hóa các chất hữu cơ trong dung dịch thành CO₂.



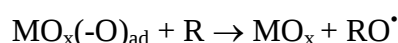
R là ký hiệu cho các chất hữu cơ có mặt trong dung dịch.

Tuy nhiên, trên bề mặt điện cực có thể xảy ra

giai đoạn tiếp theo là sự chuyển hóa của MO_x(OH[•]) thành MO_x-O có chứa một nguyên tử oxi.

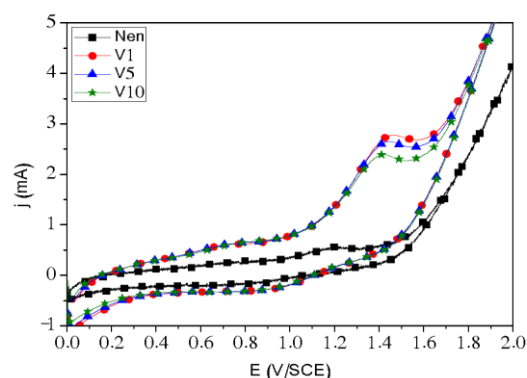


Các oxi nguyên tử này bị hấp phụ hóa học với lớp ôxít hoạt hóa của lớp phủ và chúng có khả năng oxi hóa các chất hữu cơ hấp phụ trên bề mặt điện cực theo phản ứng:

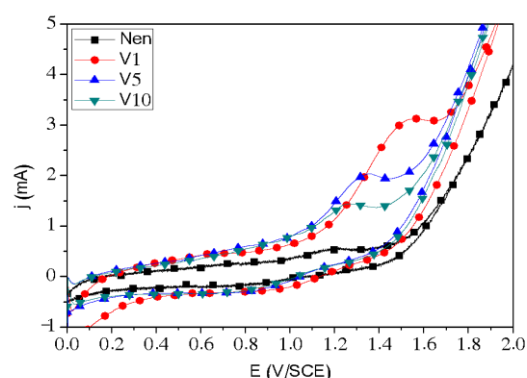


Trong quá trình điện phân, các sản phẩm phản ứng mong muốn tạo ra đó là các gốc oxi hóa mạnh OH[•] hoặc các oxi nguyên tử, chúng sẽ làm tăng hiệu suất của quá trình oxi hóa phenol trên bề mặt điện cực.

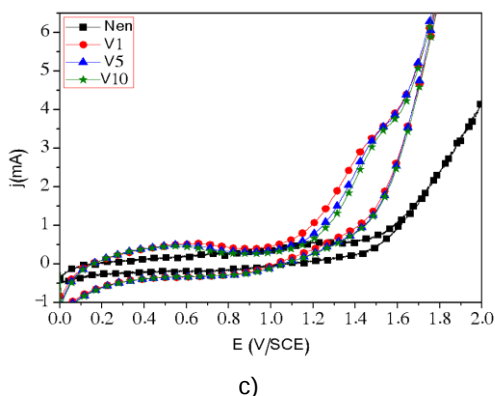
Kết quả nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới khả năng oxi hóa phenol bởi phương pháp quét thế vòng CV được trình bày trên hình 4.



a)



b)



Hình 4. Phổ CV của quá trình oxi hóa phenol ảnh hưởng bởi các nhiệt độ khác nhau, tại pH = 8
a) $T = 30^{\circ}\text{C}$, b) $T = 40^{\circ}\text{C}$, c) $T = 50^{\circ}\text{C}$

(V1-chu kỳ CV thứ nhất, V5-chu kỳ CV thứ 5, V10-chu kỳ CV thứ 10)

Quan sát trên hình 4a, có thể thấy tại 30°C , quá trình oxi hóa phenol bắt đầu xảy ra ở điện thế đạt $1,05\text{V/SCE}$ và đạt cực đại tại $1,45\text{V/SCE}$ ở chu kỳ đầu tiên (V1). Các chu kỳ sau độ lớn của pic oxi hóa giảm dần, đồng thời thế pic cũng dịch chuyển về phía âm hơn. Điều này chứng tỏ quá trình oxi hóa trên bề mặt điện cực đạt được cao tại 30°C .

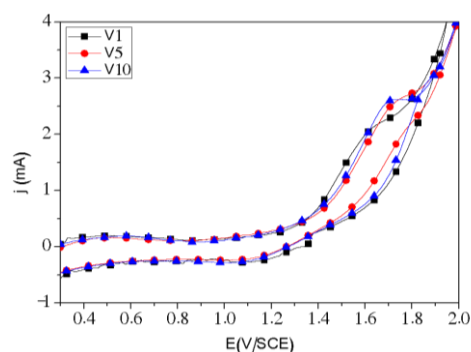
Khi nhiệt độ lên tới 40°C (hình 4b) thì ở chu kỳ đầu tiên pic oxi hóa phenol cũng bắt đầu xảy ra ở điện thế $1,05\text{V/SCE}$ nhưng đạt cực đại ứng với giá trị thế dương hơn ($E = 1,55\text{V}$). Ở các chu kỳ tiếp theo pic oxi hóa giảm dần, đồng thời thế pic cũng dịch chuyển về phía âm hơn và chiều cao pic oxi hóa giảm rõ rệt từ CV1 đến CV10. Mặt khác, so sánh chiều cao pic oxi hóa ở chu kỳ đầu trong hai trường hợp 30°C và 40°C là tương đương nhau. Điều này chứng tỏ khả năng oxi hóa phenol ở khoảng nhiệt độ 40°C khó hơn ở nhiệt độ 30°C . Nguyên nhân có thể là do nhiệt độ tăng làm tăng chuyển động nhiệt của các phân tử, nghĩa là khả năng hấp phụ trên bề mặt điện cực giảm đi. Để bù lại sự tăng điện thế sẽ làm tăng lực tương tác tĩnh điện nhằm ổn định quá trình hấp phụ của các phân tử trước khi bị oxi hóa.

Tiếp tục tăng nhiệt độ lên đến 50°C thì pic oxi hóa phenol gần như không hiển thị (hình 4c). Điều này có thể giải thích là ở nhiệt độ 50°C các hợp chất trung gian tạo thành từ quá trình oxi hóa phenol trên bề mặt điện cực dễ liên kết với nhau để tạo thành các hợp chất dime, polime che phủ bề mặt điện cực gây nên hiện tượng thụ động hoá điện cực. Bên cạnh đó, sự dime hóa, polime hóa cũng xảy ra trong dung dịch tạo thành các đại phân tử kích thước lớn, ảnh hưởng đến quá trình phenol khuếch tán vào lớp kép để tiếp tục bị oxi hóa. Các yếu tố đó làm cản trở quá trình oxi hóa phenol.

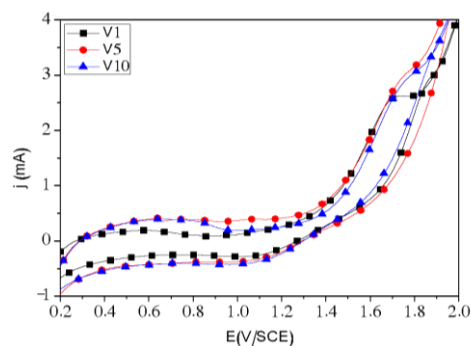
Từ các kết quả trên cho thấy nhiệt độ 30°C được lựa chọn để thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo là phù hợp.

3.3. Ảnh hưởng của tốc độ quét thế đến dạng đường Cyclic Voltammetry (CV) trong quá trình oxi hóa phenol

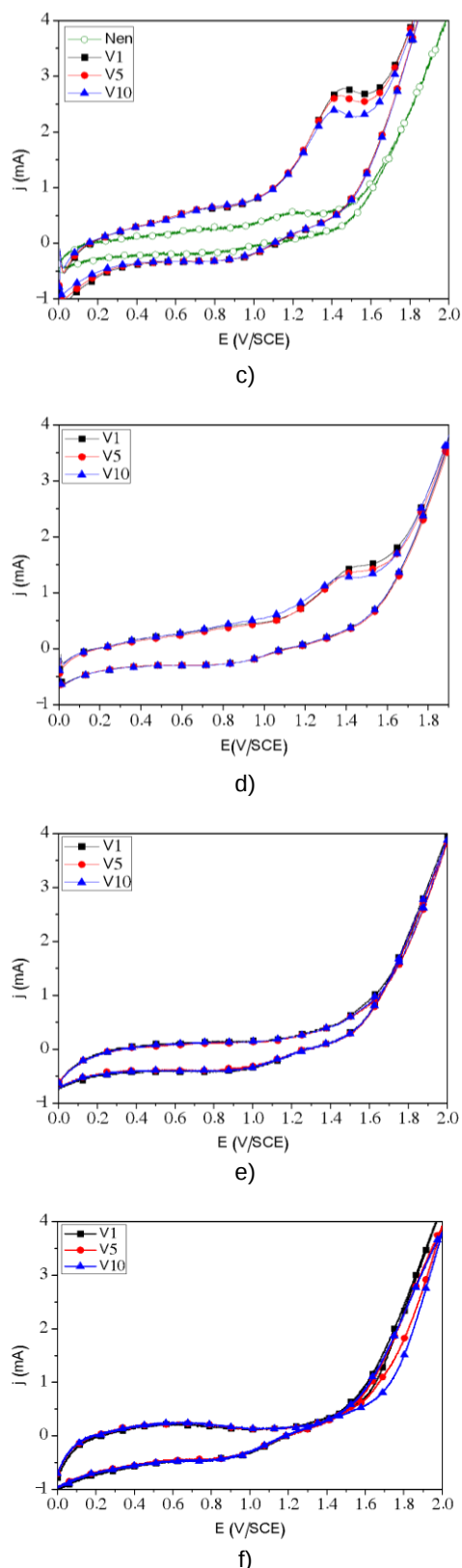
Kết quả đo đường cong dòng-thế với các tốc độ quét thế khác nhau trong khoảng thế từ $0 - 2\text{V}$ được trình bày ở hình 5.



a)



b)



Hình 5. Dạng đường CV của điện cực $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3/\text{PbO}_2$ trong dung dịch nước chứa 0,5 g/l phenol khi thay đổi tốc độ quét thế;
a) 20mV/s; b) 40mV/s; c) 50mV/s; d) 60mV/s;
e) 100mV/s; f) 150mV/s)

Từ các kết quả được thể hiện trên hình 5 cho thấy, đường CV có pic hiển thị rõ rệt khi tốc độ quét thế là 50 mV/s (hình 5c). Điều này cho thấy có sự tương hòa giữa quá trình chuyển điện tử khỏi điện cực với tốc độ khuếch tán của phenol đến điện cực cũng như sản phẩm ra khỏi bề mặt điện cực. Ở các tốc độ quét thấp hơn 20, 40 mV/s (hình 5a, 5b), điện thế bắt đầu phóng điện của quá trình oxi hóa phenol ở khoảng 1,32 V/SCE, dương hơn nhiều so với 1,15V/SCE tại tốc độ quét thế 50 mV/s. Sự thay đổi này được giải thích do trong cùng một khoảng thời gian, khi tốc độ quét thế thấp thì lượng điện tích chuyển đến bề mặt thấp, dẫn đến mức độ hấp phụ phenol, chất hoạt động điện trên bề mặt điện cực thấp. Vì vậy, quá trình oxi hóa phenol chậm hơn và không xuất hiện pic mà chỉ có một vai đoãng rộng với độ lớn khoảng $0,3 \text{ mA/cm}^2$ (sau khi đã trừ đường nền) so với $0,5 \text{ mA/cm}^2$ cho trường hợp quét thế với tốc độ 50 mV/s. Tại tốc độ quét thế cao hơn 60 mV/s (hình 4d) các pic oxi hóa hiển thị có chiều cao pic giảm rõ rệt và biến mất khi tăng tốc độ quét thế lên 100, 150 mV/s (hình 5e, 5f). Hình 5f cho thấy ở giai đoạn đầu, nạp điện vào lớp kép, dạng đường CV không tăng thoải thoải như ở các thí nghiệm trước đó, mà hơi gồ lên như một vai đoãng rộng trong khoảng điện thế 0,1÷1,0 V/SCE. Điều này có thể do sự tích tụ mạnh các phenolate $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$ trong lớp kép và bị hấp phụ mạnh lên bề mặt điện cực với mật độ lớn, làm cho quá trình polymer hóa có thể xảy ra mạnh ngay từ đầu, dẫn đến ngăn cản quá trình oxi hóa tiếp theo của phenol. Đây chính là nguyên nhân dẫn đến việc không xuất hiện pic oxi hóa phenol khi quét thế ở tốc độ cao 100, 150 mV/s. Kết quả là quá trình oxi hóa nước và anion OH^- sẽ chiếm ưu thế. Như vậy mức độ oxi hóa phenol không tăng lên so

với trường hợp tốc độ quét thế 50 mV/s, trong khi điện tích dương đến điện cực lại tăng lên. Sự tích tụ phenol và các sản phẩm trung gian tạo ra các sản phẩm polymer cũng được thấy rõ ngay tại tốc độ quét thế 60 mV/s, giá trị độ lớn pic đặc trưng cho quá trình oxi hóa phenol và sản phẩm trung gian giảm dần qua các chu kỳ, nhưng tại 100 mV/s thì sau CV1, dòng pic tăng lên ở CV5, nhưng lại giảm ở CV10 (so với CV1). Như vậy mức độ hoạt động của điện cực giảm do ảnh hưởng của sự che phủ bề mặt bởi quá trình dime hóa, polyme hóa đã nêu.

Các kết quả trên cho thấy trong điều kiện thực nghiệm của nghiên cứu này, tốc độ quét

50 mV/s là hiệu quả nhất.

4. KẾT LUẬN

Các nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ quét thế đến dạng đường Cyclic Voltammetry (CV) trong quá trình oxi hóa phenol đã đưa đến kết quả:

1. Chế tạo thành công điện cực Ti/SnO₂-Sb₂O₃/PbO₂
2. Phenol có thể bị oxi hóa điện hóa trên điện cực anot Ti/Sb₂O₃-SnO₂/PbO₂ tự chế tạo.
3. Nhiệt độ phòng (30°C) và tốc độ quét 50mV/s là điều kiện nhiệt độ thích hợp cho quá trình oxi hóa điện hóa phenol trong môi trường điện phân pH = 8.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lefe`vre S, Boutin O, Ferrasse JH, Malleret L, Faucherand R, Viand A. *Thermodynamic and kinetic study of phenol degradation by a non-catalytic wet air oxidation process*. Chemosphere. 84, 1208–15 (2011).
- [2] Su J, Lin H, Wang Q, Xie Z, Chen Z. *Adsorption of phenol from aqueous solutions by organomontmorillonite*. Desalination. 269, 163–9 (2011).
- [3] Manojlovic D, Ostojic DR, Obradovic BM, Kuraica MM, Krsmanovic VD, Puric J. *Removal of phenol and chlorophenols from water by new ozone generator*. Desalination 213, 116–22, (2007).
- [4] Xu X, Yi Z, Chen D, Duan X, Zhou Z, Fan X, Jiang M. *Evaluation of photocatalytic production of active oxygen and decomposition of phenol in ZnO suspensions*. Rare metals. 30, 188–91 (2011).
- [5] Ahmad SA, Shamaan NA, Arif NM, Koon GB, Shukor MYA, Syed MA. *Enhanced phenol degradation by immobilized Acinetobacter sp. strain AQ5NOL 1*. World J Microbiol Biotechnol. 28, 347–52 (2012).
- [6] Zhu X, Tong M, Shi S, Zhao H, Ni J. *Essential explanation of the strong mineralization performance of boron-doped diamond electrodes*. Environ Sci Technol. 42, 4914–20 (2008).
- [7] Zhuo Q, Deng S, Yang B, Huang J, Yu G. *Efficient electrochemical oxidation of perfluorooctanoate using a Ti/SnO₂-Sb-Bi anode*. Environ Sci Technol. 45, 2973–9 (2011).
- [8] G. Zhao, et al., *The mechanism and kinetics of ultrasound-enhanced electrochemical oxidation of phenol on boron-doped diamond and Pt electrodes*, Chemosphere, 73 (9), 1407-13, (2008).
- [9] Chu Thi Thu Hien, Tran Trung, Vu Thi Thu Ha, *Influence of electrochemical PbO₂ time on the structure and electrochemical properties of Ti/SnO₂-Sb₂O₃/PbO₂*, Vietnam Journal of Chemistry, 51 (2), 176-180 (2013).
- [10] Chu Thi Thu Hien, Tran Trung, Vu Thi Thu Ha, *Fabrication of nable anodic electrode based on Titanium using mixture of SnO₂-Sb₂O₃-PbO₂ metallic oxides*, Vietnam Journal of Chemistry, 51 (5A), 157-162 (2013).

Thông tin liên hệ: **Chu Thị Thu Hiền**

Điện thoại: 0989 263 379 - Email: hienctt@huce.edu.vn

Bộ môn Hóa học, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.