

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ BỘ XÚC TÁC (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7}/Al₂O₃-CeO₂-ZrO₂/FeCrAl TRÊN ĐỘNG CƠ Ô TÔ CON

A STUDY EVALUATE PERFORMANCE OF (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7}/Al₂O₃-CeO₂-ZrO₂/FeCrAl
THREE WAY CATALYST APPLIED IN AUTOMOBILE ENGINE

Nguyễn Thế Lương

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu đánh giá hiệu quả bộ xúc tác ba thành phần (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7}/Al₂O₃-CeO₂-ZrO₂/FeCrAl trên động cơ ô tô Toyota Vios 1.5. Bộ xúc tác được chế tạo bằng phương pháp phủ quay, lõi xúc tác có kích thước $\phi 100 \times 250$, mật độ lỗ 400 lỗ/inch², lượng kim loại lớp vật liệu trung gian Al₂O₃, CeO₂ và ZrO₂ phủ lên lõi xúc tác lần lượt là 163, 18 và 52gam, lượng vật liệu xúc tác (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7} sử dụng là 21,5gam. Cấu trúc của bộ xúc tác được xác định bằng phương pháp XRD và SEM, động cơ ô tô vios 1.5 được lắp trên băng thử APA100 và hiệu quả xử lý CO, HC và NO_x của bộ xúc tác được đánh giá thông qua thiết bị phân tích khí thải CEBII (AVL). Kết quả cho thấy các đỉnh nhiễu xạ của các ôxít kim loại của Al₂O₃, CeO₂ và ZrO₂ đã được xác định, phương pháp XRD cũng chỉ ra các đỉnh nhiễu xạ của CuO, MnO₂ và hợp chất mới Spinel Cu_xMn_yO_z cũng được xác định. Kết quả thử nghiệm trên động cơ cho thấy, hiệu suất chuyển hóa CO, HC và NO_x cao nhất lần lượt là 54,7%, 38,1% và 70,7%, khi tăng tốc độ động cơ và tăng tay ga, hiệu suất xử lý CO, HC và NO_x có xu hướng giảm. Khi lambda động cơ nhỏ hơn một, hiệu suất chuyển hóa CO và HC giảm mạnh.

Từ khóa: Bộ xúc tác ba thành phần, CO, HC, NO_x, tay ga, tốc độ.

ABSTRACT

This paper study performance of (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7}/Al₂O₃-CeO₂-ZrO₂/FeCrAl Three Way Catalytic (TWC) using on Toyota Vios 1.5 engine, TWC is produced by spin coating method, TWC of dimension was $\phi 100 \times 250$ respectively, the intensity of cell was 400 cell/inch², amount of Al₂O₃, CeO₂ and ZrO₂ washcoat materials are 163, 18 and 52 respectively, (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7} materials of 21.5gram were used. The structure of TWC is characteristic by XRD và SEM, catalytic performance was carried on APA100 and CEB II (AVL) bench using Toyota Vios 1.5 engine. The results showed that, the XRD peaks of Al₂O₃, CeO₂, ZrO₂ were determined, the peak of CuO, MnO₂ and Spinel Cu_xMn_yO_z compound were also showed by the XRD. The experiment results on Toyota Vios 1.5 engine showed that, the highest performance of CO, HC and NO_x was 54.7%, 38.1% và 70.7%, when throttle and speed increased, CO, HC and NO_x conversion performance trendly decreased. At $\lambda < 1$, the CO and HC performance decreased strongly.

Keywords: Three Way Catalysts (TWC), CO, HC, NO_x, throttle, speed.

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: luong.nguyenthe@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/5/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 17/7/2019

Ngày chấp nhận đăng: 15/8/2019

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Số lượng các phương tiện giao thông đặc biệt ô tô ở Việt Nam có xu hướng tăng nhanh trong những năm gần đây, gây nên tình trạng ô nhiễm môi trường từ khí thải phương tiện giao thông. Việc giảm ô nhiễm môi trường từ khí thải của phương tiện giao thông là yêu cầu cấp thiết, một trong những giải pháp hiệu quả để giảm ô nhiễm khí thải từ phương tiện là áp dụng các tiêu chuẩn khí thải. Để đáp ứng các tiêu chuẩn khí thải trên, việc sử dụng bộ xúc tác xử lý khí thải mang lại hiệu quả cao và đang được sử dụng phổ biến. Hiện nay, bộ xúc tác ba thành phần được sử dụng cho động cơ xăng, nhiều nghiên cứu về bộ xúc tác ba thành phần đã được chỉ ra. H.He và các cộng sự [1] đã báo cáo hiệu quả xúc tác của những kim loại quý Pd, Pt, Rh phủ trên Ce_{0,6}Zr_{0,35}Y_{0,05}O₂. Một vài nghiên cứu cải thiện tính bền của kim loại quý trên CeO₂-ZrO₂ hoặc Al₂O₃ cũng được quan tâm nghiên cứu [2, 3]. Tại Việt Nam, hiện chỉ có một số ít các công trình được công bố, Hoàng Đình Long và các cộng sự [4] nghiên cứu về hiệu quả bộ xúc tác ba thành phần khi khởi động lạnh và tối ưu hóa bộ xúc tác trên ô tô. Nguyễn Thế Lương [5] đã nghiên cứu mô phỏng hiệu quả của bộ xúc tác ba thành phần trên xe máy khi sử dụng nhiên liệu xăng pha cồn E5-E20. Nguyễn Duy Tiến và các cộng sự [6] nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của mật độ lỗ và đặc tính hình học của bộ xúc tác đến tính năng kinh tế kỹ thuật của xe. Nguyễn Thế Lương và các cộng sự [7] đã nghiên cứu thiết kế bộ xúc tác ba thành phần cho động cơ xe ô tô Vios 1.5.

Việt Nam đã và đang áp dụng tiêu chuẩn khí thải EURO IV cho ô tô mới vào năm 2018. Bên cạnh đó, ô tô đang lưu hành cũng đã áp dụng các tiêu chuẩn khí thải, dự kiến mức tiêu chuẩn khí thải cho ô tô đang lưu hành cũng sẽ được nâng cao, để đáp ứng tiêu chuẩn đó, ô tô đang lưu hành phải được lắp bộ xúc tác xử lý khí thải. Hiện nay, bộ xúc tác ba thành phần vẫn sử dụng các kim loại quý Pt, Rh, Pd với giá thành đắt, không phù hợp với điều kiện Việt Nam. Việc nghiên cứu tìm ra hệ xúc tác mới với giá thành rẻ có thể đáp ứng điều kiện Việt Nam là yêu cầu cần thiết. Hệ xúc tác CuO-MnO₂ đã được báo cáo cho hiệu quả xúc tác CO, HC và NO_x cao, đặc biệt với tỷ lệ pha trộn CuO: MnO₂ = 0,3: 0,7

cho hiệu quả xúc tác cao nhất [8-10], tuy nhiên ứng dụng hệ xúc tác trên cho bộ xúc tác ba thành phần của động cơ xăng vẫn chưa được báo cáo. Bài báo này sẽ nghiên cứu chế tạo và đánh giá hiệu quả bộ xúc tác ba thành phần $(\text{CuO})_{0,3}-(\text{MnO}_2)_{0,7}/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2/\text{FeCrAl}$ trên động cơ ô tô con đang lưu hành.

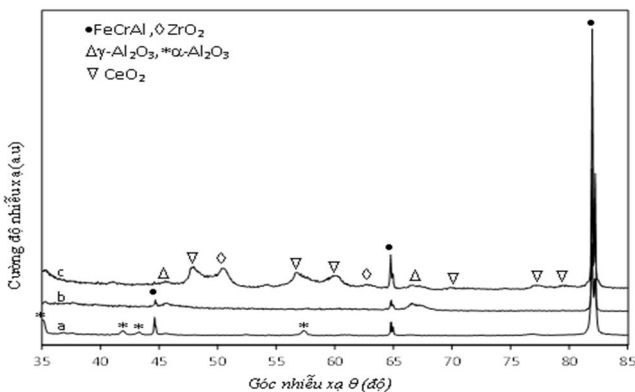
2. CHẾ TẠO BỘ XÚC TÁC BA THÀNH PHẦN $\text{CuO}-\text{MnO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2/\text{FeCrAl}$

Lõi xúc tác có kích thước $\phi 100 \times 250$, mật độ lỗ 400 lỗ/inch² (Beihai Kaite Chemical Packing Co., Trung Quốc) đã được đặt hàng để chế tạo bộ xúc tác, kích thước lõi xúc tác được tham khảo bài báo của Nguyễn Thế Lương và các cộng sự [3]. Phương pháp phủ quay được sử dụng để phủ lõi xúc tác, lõi xúc tác sau khi mua về được làm sạch bề mặt bằng cồn và axit, sau đó tiến hành phủ lõi lớp vật liệu trung gian bao gồm hỗn hợp của bột $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ (Wako, Nhật Bản), quá trình phủ được lặp lại 25 lần cho đến khi đạt được kích thước lớp phủ mong muốn khoảng 25 μm , lượng kim loại Al, Ce và Zr phủ trên bề mặt lõi xúc tác lần lượt là 210, 20,4 và 18,6gam, tiếp đến tiến hành phủ lớp vật liệu xúc tác $(\text{CuO})_{0,3}-(\text{MnO}_2)_{0,7}$, dung dịch $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ pha $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ với tỷ lệ mol 0,3 : 0,7 hoà tan với nước và tiến hành nhúng lõi xúc tác đã phủ lớp vật liệu trung gian ở trên vào dung dịch vật liệu xúc tác xong đó cho lên phủ quay ở tốc độ 450 vòng/phút, làm khô và nhiệt phân muối xúc tác, lặp lại quá trình phủ xúc tác cho đến khi đạt tỷ khối lượng vật liệu xúc bằng khoảng 10% khối lượng lớp vật liệu trung gian. Bảng 1 chỉ ra thông số kỹ thuật của bộ xúc tác sau khi phủ lớp vật liệu trung gian và lớp vật liệu xúc tác.

Bảng 1. Thông số $\text{CuO}-\text{MnO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2/\text{FeCrAl}$ cho ô tô sau khi phủ

STT	Thông số	Giá trị	Đơn vị
1	Thể tích của các lỗ rỗng	1,412	Lít
2	Khối lượng $\text{CuO}-\text{MnO}_2$ sử dụng	21	G
3	Tỷ lệ về số mol Cu:Mn	0,3 : 0,7	
4	Số lần phủ	25	lần
5	Khối lượng CeO_2 sử dụng	18	g
6	Lượng $\gamma-\text{Al}_2\text{O}_3$ sử dụng	163	g
7	Lượng ZrO_2 sử dụng	52	g

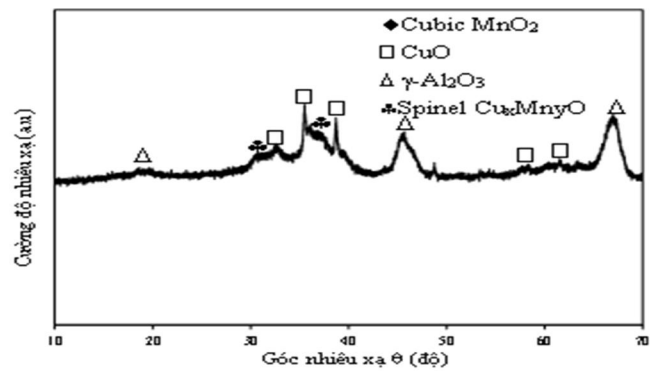
2.1. Đặc tính lớp phủ $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ trên lõi kim loại



Hình 1. XRD của (a) kim loại nền - FeCrAl; (b) $\gamma-\text{Al}_2\text{O}_3$ washcoat/lõi kim loại; (c) $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ /lõi kim loại

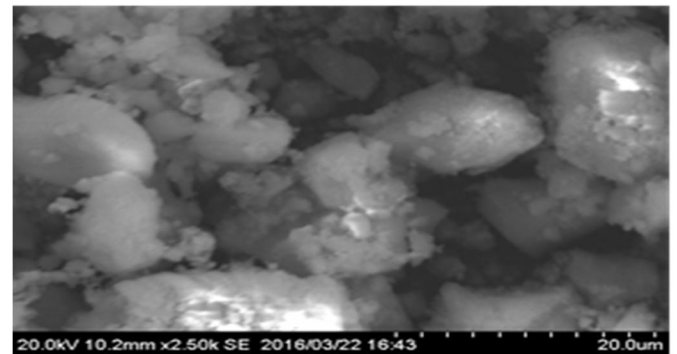
Hình 1 chỉ ra đỉnh nhiễu xạ XRD của lõi kim loại trước và sau khi xử lý nhiệt và của lớp phủ $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ trên lõi kim loại. Kết quả cho thấy, những đỉnh nhiễu xạ của thép hợp kim FeCrAl của lõi kim loại được quan sát, sau khi xử lý nhiệt ở 900°C trong không khí những đỉnh $\alpha-\text{Al}_2\text{O}_3$ được nhìn thấy (hình 1a), khi $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ được phủ lên lõi kim loại, cường độ những đỉnh FeCrAl bị che mất trong khi những đỉnh $\gamma-\text{Al}_2\text{O}_3$, CeO_2 và ZrO_2 được quan sát, điều này chứng tỏ quá trình phủ quay thành công, các hạt kim loại được kết tủa trên lõi kim loại (hình 1b-1c).

2.2. Đặc tính lớp phủ $(\text{CuO})_{0,3}-(\text{MnO}_2)_{0,7}/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ /lõi kim loại



Hình 2. XRD của $(\text{CuO})_{0,3}-(\text{MnO}_2)_{0,7}/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ /lõi kim loại

Hình 2 chỉ ra XRD của $(\text{CuO})_{0,3}-(\text{MnO}_2)_{0,7}/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2/\text{FeCrAl}$, kết quả XRD cho thấy, khi CuO và MnO_2 được phủ lên lõi kim loại nền, những đỉnh CuO , MnO_2 và $\gamma-\text{Al}_2\text{O}_3$ được quan sát, bên cạnh đó những đỉnh Spinel $\text{Cu}_2\text{Mn}_2\text{O}_7$ được quan sát (hình 2), hợp chất mới này được báo cáo cải thiện hiệu quả xúc tác [9].



Hình 3. Ảnh SEM của bề mặt lớp phủ $(\text{CuO})_{0,3}-(\text{MnO}_2)_{0,7}/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2$ /lõi kim loại

Hình 3 chỉ ra ảnh SEM lớp phủ $(\text{CuO})_{0,3}-(\text{MnO}_2)_{0,7}/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CeO}_2-\text{ZrO}_2/\text{FeCrAl}$, kết quả cho thấy sau khi phủ CuO và MnO_2 , các hạt CuO và MnO_2 phân tán tốt trên lớp vật liệu trung gian, kích thước các hạt CuO và MnO_2 vào khoảng vài chục đến vài trăm nm (hình 3).

3. NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ BỘ XÚC TÁC TRÊN ĐỘNG CƠ Ô TÔ PHUN XĂNG ĐIỆN TỬ

3.1. Phương pháp thử nghiệm

Thử nghiệm với động cơ lắp bộ xúc tác mới sử dụng nhiên liệu xăng RON95, tiến hành thử nghiệm thay đổi vị trí

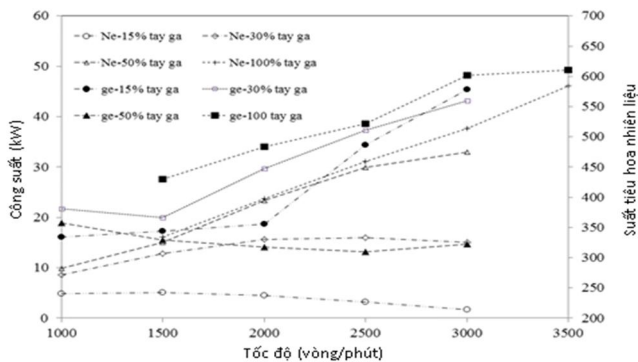
tay ga lần lượt 15%, 30%, 50% và 100%, tốc độ động cơ thay đổi từ 1000 vòng/phút đến 3500 vòng/phút. Tại mỗi điểm đo xác định công suất, lượng tiêu hao nhiên liệu, hệ số dư lượng không khí, nhiệt độ bộ xúc tác, thành phần khí thải CO, HC, NO_x, CO₂ trước và sau bộ xúc tác.

3.2. Trang thiết bị thử nghiệm

Thử nghiệm động cơ ô tô tại phòng thử động lực học cao với băng thử APA 100, cân nhiên liệu 733S, tủ phân tích khí thải CEBII, cảm biến lamda Bosch Lsu 4.9 và cảm biến nhiệt loại K, dải đo từ 0-800°C.

3.3. Kết quả thử nghiệm

3.3.1. Đặc tính công suất và suất tiêu hao



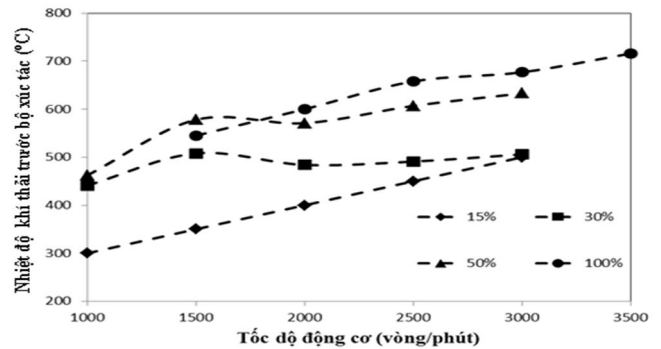
Hình 4. Đặc tính công suất và suất tiêu hao nhiên liệu tại 15%, 30%, 50% và 100% tay ga, tốc độ từ 1000 vòng/phút đến 3500 vòng/phút

Hình 4 chỉ ra đặc tính công suất và suất tiêu hao nhiên liệu tại 15%, 30%, 50% và 100% tay ga, tốc độ từ 1000 vòng/phút đến 3500 vòng/phút. Tại chế độ 15% tay ga, bướm ga nhỏ nhỏ, khi tốc độ động cơ tăng, tổn thất tại bướm ga tăng nhanh, làm cho lượng khí nạp giảm dẫn tới công suất động cơ có xu hướng giảm, suất tiêu hao nhiên liệu có xu hướng tăng.

Tại chế độ 30% tay ga, lúc này bướm ga đã mở lớn hơn, khi tốc độ tăng trong khoảng 1000-2000 vòng/phút, lực cản của bướm ga nhỏ, công suất động cơ có xu hướng tăng khi tăng tốc độ, suất tiêu hao nhiên liệu giảm. Tiếp tục tăng tốc độ từ 2000 đến 3000 vòng/phút, công suất động cơ có xu hướng giảm do lực cản của bướm ga tăng nhanh vì vậy công suất động cơ giảm nhưng không nhiều, suất tiêu hao nhiên liệu thay đổi không đáng kể (hình 4). Tại vị trí 50% và 100% tay ga, lúc này bướm ga mở lớn, khi tăng tốc độ động cơ, công suất động cơ có xu hướng tăng. Ở chế độ này, động cơ ưu tiên phát ra công suất nên suất tiêu hao nhiên liệu có xu hướng tăng.

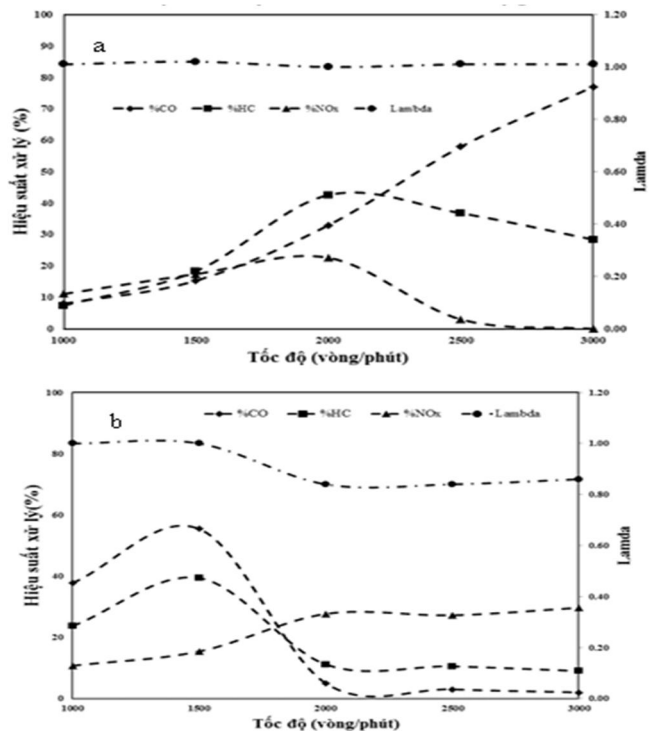
3.3.2. Hiệu quả của bộ xúc tác theo phần trăm tay ga và tốc độ động cơ

Hình 5 chỉ ra nhiệt độ khí thải trước bộ xúc tác theo tốc độ động cơ khi thay đổi vị trí tay ga 15%, 30%, 50% và 100%. Tại vị trí 15% tay ga, khi tăng tốc độ từ 1000 đến 3000 vòng/phút, nhiệt độ khí thải trước bộ xúc tác tăng từ 300 đến 450°C. Kết quả tương tự cũng được chỉ ra tại vị trí 30%, 50% và 100% tay ga, nhiệt độ khí thải cao nhất trước bộ xúc tác đạt 709°C tại 100% tay ga và tốc độ 3500 vòng/phút.



Hình 5. Nhiệt độ khí thải trước bộ xúc tác

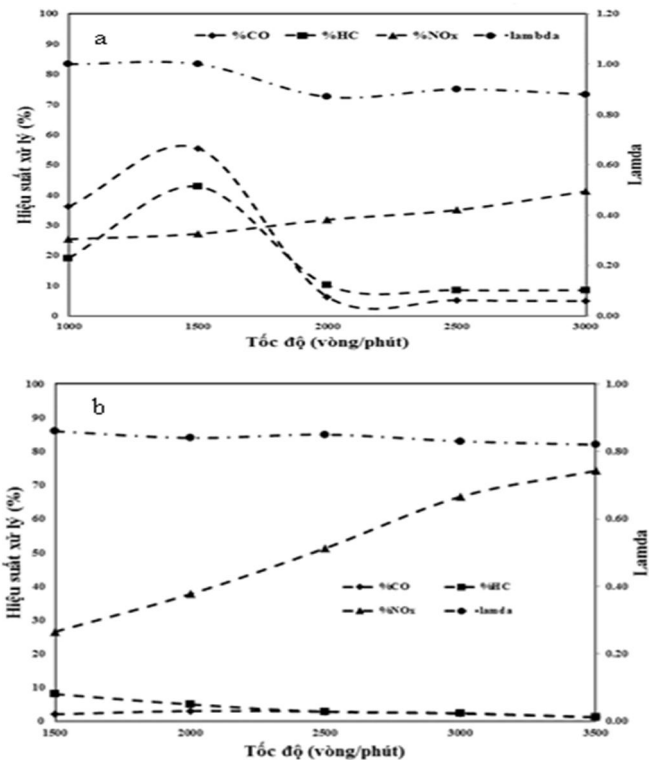
Hình 6-7 chỉ ra hiệu suất xử lý CO, HC và NO_x của bộ xúc tác (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7}/Al₂O₃-CeO₂-ZrO₂/FeCrAl theo tốc độ động cơ tại 15%, 30%, 50% và 100% tay ga khi sử dụng nhiên liệu A95.



Hình 6. Hiệu suất xử lý khí thải của bộ xúc tác tại 15% (a) và 30% tay ga (b)

Tại chế độ 15% tay ga (hình 6a), khi tốc độ động cơ còn thấp (1000 vòng/phút), nhiệt độ khí thải động cơ thấp (hình 5), vì vậy hiệu suất chuyển hóa CO, HC và NO_x đạt thấp khoảng 10%, khi tăng tốc từ 1000 vòng/phút đến 2000 vòng/phút, lúc này động cơ đã ấm máy, nhiệt độ khí thải động cơ tăng, hiệu suất xử lý CO, HC và NO_x tăng, tiếp tục tăng tốc độ động cơ hiệu suất chuyển hóa CO tiếp tục tăng trong khi hiệu suất chuyển hóa HC và NO_x có xu hướng giảm, tại chế độ tốc độ này, quá trình cháy triệt để, NO_x tạo thành có nồng độ cao, bên cạnh đó càng tăng tốc độ vòng quay, vận tốc dòng khí đi qua bộ xúc tác càng tăng điều này làm cho thời gian tiếp xúc giữa khí thải với vật liệu xúc tác giảm, chính vì vậy hiệu suất chuyển hóa có xu hướng giảm, riêng đối với CO hiệu suất chuyển hóa tăng là do tại chế độ này nhiệt độ động cơ cao, quá trình cháy triệt, nồng độ CO của động cơ thấp, bên cạnh đó các

ngiên cứu cũng đã chỉ ra rằng [8], hệ xúc tác (CuO)-(MnO₂)/Al₂O₃-CeO₂-ZrO₂/FeCrAl thúc đẩy phản ứng ô xy hóa CO, chính vì vậy hiệu suất chuyển hóa CO vẫn có xu hướng tăng. Tại vị trí tay ga 15%, lamđã của động cơ được ECU điều chỉnh trong khoảng 1 (hình 6a).



Hình 7. Hiệu suất xử lý khí thải của bộ xúc tác tại 50% và 100% tay ga

Tại vị trí 30% và 50% tay ga (hình 6b-7a), khi động cơ hoạt động ở tốc độ thấp 1000 vòng/phút, hiệu suất xử lý CO và HC khoảng 36% và 20%, NO_x khoảng 15%, khi tăng tốc độ động cơ từ 1000 vòng/phút đến 1500 vòng/phút, hiệu suất xử lý CO, HC và NO_x tăng dần, tiếp tục tăng tốc độ từ 1500 vòng/phút đến 3000 vòng/phút hiệu suất xử lý CO và HC giảm mạnh, trong khi hiệu suất xử lý NO_x vẫn tiếp tục tăng. Nguyên nhân là do khi tăng tốc độ động cơ, nhiệt độ khí thải có xu hướng tăng (hình 5), trong khi ở vị trí tốc độ động cơ thấp lamđã của động cơ được giữ trong khoảng 1 (hình 6b-7a) vì vậy hiệu suất chuyển hóa CO, HC và NO_x tăng, tiếp tục tăng tốc độ động cơ lúc này động cơ ưu tiên phát ra công suất lớn vì vậy lamđã của động cơ có xu hướng đậm dần (hình 6b-7a) vì vậy hiệu suất xử lý CO và HC giảm mạnh, khi lamđã đậm, nồng độ CO và HC cao, môi trường khử cho NO_x được cải thiện, vì vậy hiệu suất NO_x tiếp tục tăng.

Tại vị trí 100% tay ga (hình 7b), tại tốc độ 1500 vòng/phút, hiệu suất xử lý CO, HC thấp lần lượt là 2% với CO và 8% với HC, NO_x ở mức 26%, khi tăng tốc độ, hiệu suất xử lý NO_x tăng, hiệu suất xử lý CO, HC thay đổi là không đáng kể. Tại vị trí 100% tay ga, động cơ ưu tiên phát ra công suất cực đại, lamđã của động cơ đậm (hình 7b), vì vậy thành phần CO, HC tăng rất cao, do lamđã đậm, làm cho thiếu ôxy, vì vậy hiệu suất xử lý CO và HC rất thấp, môi trường khử thuận lợi dẫn đến hiệu suất xử lý NO_x cao.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá hiệu quả bộ xúc tác ba thành phần (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7}/Al₂O₃-CeO₂-ZrO₂/FeCrAl trên động cơ ô tô Toyota Vios 1.5. Lõi xúc tác có kích thước $\phi 100 \times 250$, mật độ lỗ 400 lỗ/inch², lượng kim loại lớp vật liệu trung gian Al₂O₃, CeO₂ và ZrO₂ phủ lên lõi xúc tác lần lượt là 163, 18 và 52gam, lượng vật liệu xúc tác (CuO)_{0,3}-(MnO₂)_{0,7} sử dụng là 21,5gam. Kết quả cho thấy các đỉnh nhiễu xạ của các ôxit kim loại của Al₂O₃, CeO₂ và ZrO₂ đã được xác định, phương pháp XRD cũng chỉ ra các đỉnh nhiễu xạ của CuO, MnO₂ và hợp chất mới Spinel Cu_xMn_yO_z cũng được xác định. Kết quả nghiên thử nghiệm trên động cơ cho thấy hiệu suất chuyển hóa CO, HC và NO_x cao nhất lần lượt là 54,7%, 38,1% và 70,7%, khi tăng tốc độ động cơ và tăng tay ga, hiệu suất xử lý CO, HC và NO_x có xu hướng giảm, khi lamđã động cơ nhỏ hơn một, hiệu suất chuyển hóa CO và HC giảm mạnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H. He, H.X.Dai, L.H.Ng, K.W.Wong, C. T. Au, 2002. *Pd, Pt and Rh-Loaded Ce_{0.6}Zr_{0.35}Y_{0.05}O₂ Three-Way Catalysts*. Journal of catalysis 206, 1-13.
- [2]. Xiaodong Wu, Luhua Xu, Duan Weng, 2004. *The thermal stability and catalytic performance of Ce-Zr promoted Rh-Pd/ γ -Al₂O₃ automotive catalysts*. Applied Surface Science 221, 375-383.
- [3]. Takeru Yoshida, Akemi sato, Hiromasa Suzuki, 2006. *Development of High Performance Three-Way-Catalyst*. SAE 2006-01-1061.
- [4]. Hoàng Đình Long, Nguyễn Kim Kỳ, 2015. *Nghiên cứu hiệu quả bộ xúc tác khí thải xe máy trong giai đoạn khởi động lạnh và chạy ấm máy*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 27.
- [5]. Nguyễn Thế Lương, 2018. *Nghiên cứu mô phỏng đánh giá hiệu quả bộ xúc tác ba thành phần trên động cơ phun xăng điện tử khi sử dụng nhiên liệu xăng pha cồn E10-E20*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường đại học kỹ thuật, số 2.
- [6]. Nguyễn Duy Tiến, Nguyễn Thế Lương, La Vạn Thắng, Đinh Xuân Thành, 2017. *Nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của kết cấu hình học bộ xúc tác ba thành phần đến các tính năng kinh tế, kỹ thuật và phát thải của xe máy phun xăng điện tử*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 41.
- [7]. Nguyễn Thế Lương, Nguyễn Duy Tiến, Bùi Văn Chinh, 2018. *Nghiên cứu mô phỏng thiết kế và tính toán hiệu quả bộ xúc tác ba thành phần trên ô tô*. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học và công nghệ Toàn quốc về Cơ khí lần thứ V.
- [8]. Neli B. Stankova, Mariana S. Khristova, and Dimitar R. Mehandjiev, 2001. *Catalytic Reduction of NO with CO on Active Carbon-Supported Copper, Manganese, and Copper-Manganese Oxides*. Journal of Colloid and Interface Science 241, 439-447.
- [9]. Ivanka Spassova, Mariana Khristova, Dimitar Panayò tòv, and Dimitar Mehandjiev, 1999. *Coprecipitated CuO-MnO_x Catalysts for Low-Temperature CO-NO and CO-NO₂ Reactions*. Journal of Catalysis 185, 43-57.
- [10]. Kun Qian, Zhaoxia Qian, Qing Hua, Zhiquan Jiang, Weixin Huang, 2013. *Structure-activity relationship of CuO/MnO₂ catalysts in CO oxidation*. Applied Surface Science 273, 357- 363.
- [11]. Masahide Shimokawabe, Atsushi Ohi and Nobutsune Takezawa, 1994. *Catalytic reduction of nitrogen dioxide with propene in the presence and absence of oxygen over various metal oxides*. React. Kinet. Catal. Lett., Vol. 52, No. 2, 393-397.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen The Luong
Hanoi University of Science and Technology