

ẢNH HƯỞNG CỦA PHƯƠNG PHÁP TỔNG HỢP ĐẾN TÍNH CHẤT CẤU TRÚC CỦA NHÔM OXIT. TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG LÀM CHẤT MANG CỦA NHÔM OXIT MAO QUẢN TRUNG BÌNH CÓ TRẬT TỰ

Đến Tòa soạn 25-5-2007

VŨ THỊ THU HÀ¹, ĐỖ THANH HẢI², ĐINH THỊ NGỌ³

¹Viện Hóa học Công nghiệp

²Trường Cao đẳng Công nghiệp Việt-Hung

³Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

SUMMARY

In the present work, the synthesis methods of alumina as a support for catalytic applications have been carried out by us. We show that the synthetic way to alumina is the starting point that determines the micro- and macrostructure of the oxide and, consequently, allows control of the support characteristics. Usually, conventional aluminas with surface areas of 50 - 300 m²/g are manufactured by precipitation method. Transition aluminas (α , γ , δ , η , θ) that were prepared by heat treatment of different aluminium oxide-hydroxide precursors (e.g. boehmite, pseudoboehmite, bayerite, nordstrandite) usually exhibit surface areas lower than 350 - 400 m²/g and their main disadvantage is in their broad pore size distribution. Recently, well-ordered mesoporous aluminas with surface areas exceeding 350 m²/g and having narrow pore size distribution were synthesized in our laboratory. This support exhibited significantly higher capacity for dispersion of active species than the conventional alumina and they have a certain potential in catalytic applications.

I - MỞ ĐẦU

Nhôm oxit là loại vật liệu có ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều quá trình công nghệ ở qui mô công nghiệp như làm chất xúc tác, chất mang xúc tác hoặc chất hấp phụ trong công nghiệp ô tô và lọc dầu [1 - 4]. Nhôm oxit có các đặc tính như tính axit, bề mặt riêng lớn, bền cơ, bền nhiệt. Thông thường, các nhôm oxit với diện tích bề mặt từ 50 - 300 m²/g được sản xuất bằng phương pháp kết tủa [5]. Các nhôm oxit chuyển tiếp (α , γ , δ , η , θ) có diện tích bề mặt riêng từ 100 - 400 m²/g được điều chế bằng cách xử lý nhiệt các tiền chất oxit-hydroxit nhôm (ví dụ, boehmite, pseudoboehmite, bayerite, nordstrandite), thu được bằng phương pháp sol-

gel. Phương pháp sol-gel có ứng dụng rất rộng rãi trong lĩnh vực xúc tác. Hiện nay, phần lớn nhôm oxit hoạt tính công nghiệp trên thế giới được điều chế bằng phương pháp sol-gel. Tuy nhiên, nhược điểm chính của nhôm oxit điều chế bằng phương pháp này là chúng có kích thước mao quản không đồng đều [6, 7]. Gần đây, người ta đã tổng hợp được các nhôm oxit mao quản trung bình có trật tự bằng phương pháp sol-gel có sử dụng chất tạo cấu trúc [8 - 15]. Các nhôm oxit này có diện tích bề mặt riêng từ 300 - 500 m²/g và có sự phân bố kích thước mao quản trong khoảng hẹp. Các nghiên cứu liên quan đến phương pháp tổng hợp cũng như tính chất của loại vật liệu này đã chỉ ra rằng đây là một loại vật liệu rây phân tử đáng quan

tâm không chỉ trên quan điểm khoa học vật liệu mà cả trên khả năng áp dụng của chúng, chẳng hạn làm chất mang trong xúc tác dị thể. Wieland và cộng sự [16] đã sử dụng vật liệu này làm chất mang xúc tác cho phản ứng alkyl hóa toluen với metanol. Các tác giả nhận thấy xúc tác Cs-B/Al₂O₃ không có hoạt tính trong phản ứng alkyl hóa toluen nhưng metanol thì bị phân huỷ thành CO. Các tác giả giải thích rằng sự cường bức vật lý gây ra bởi các mao quản trung bình cùng với sự kề cận kém thuận lợi của các tâm axit-bazơ trong môi trường rây phân tử đã không ưu tiên phản ứng alkyl hóa toluen.

Nhôm oxit với mao quản trung bình có trật tự được biến tính bằng Cu đã được sử dụng làm xúc tác trong phản ứng hydro hóa chọn lọc của cinnamaldehyde. So với các chất mang nhôm oxit thông thường, chất xúc tác này cho độ chọn lọc rất cao đối với sự tạo thành của các ancol không no. Điều này được quy cho sự tương tác đặc biệt mạnh của của các tiểu phân Cu⁰ kích thước nano với thành của nhôm oxit mao quản trung bình trong khi mà liên kết C=C liên hợp được hydro hóa dễ dàng hơn trên các cluster Cu⁰

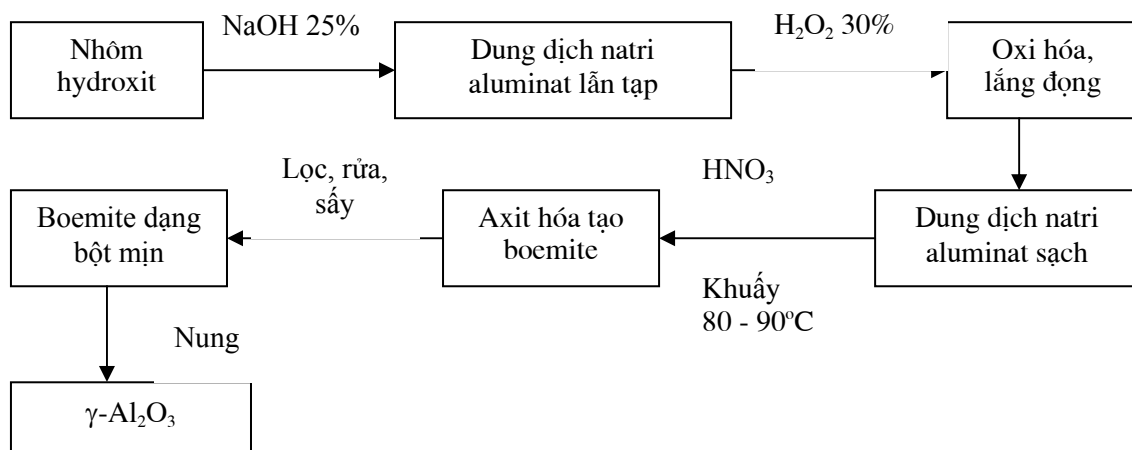
tự do hơn thể hiện sự tương tác yếu hơn với chất mang [17].

Mục đích của bài báo này là nghiên cứu một cách hệ thống các phương pháp tổng hợp nhôm oxit khác nhau bao gồm phương pháp kết tủa, phương pháp sol-gel và phương pháp sol-gel có sử dụng chất tạo cấu trúc. Chúng tôi đã thấy rằng con đường tổng hợp nhôm oxit là điểm khởi đầu mà từ đó xác định cấu trúc micro và macro của oxit và nhờ thế cho phép kiểm soát được các đặc tính của chất mang. Ngoài ra, chúng tôi đã sơ bộ đánh giá tiềm năng ứng dụng làm chất mang của nhôm oxit mao quản trung bình có trật tự trong phản ứng Water-Gas-Shift.

II - THỰC NGHIỆM

1. Phương pháp tổng hợp oxit nhôm

Nguyên liệu của quá trình tổng hợp nhôm oxit bằng phương pháp kết tủa bao gồm bột nhôm hydroxit (Tân Bình), dung dịch NaOH, dung dịch axit HNO₃, H₂O₂ 30%. Các bước thực nghiệm được tóm tắt trong hình 1.



Hình 1: Sơ đồ nguyên lý tổng hợp nhôm oxit hoạt tính bằng phương pháp kết tủa

Thực nghiệm tổng hợp nhôm oxit bằng phương pháp sol-gel được biến tính trên cơ sở quá trình Yoldas [18]. Trước tiên, nhôm isopropoxit được hoà tan trong *n*-propanol bằng cách đun hồi lưu trong 3 giờ. Sau đó, hỗn hợp của nước, axit nitric trong *n*-propanol được thêm từ từ vào dung dịch này cùng với việc khuấy

mạnh. Gel tạo thành được già hóa trong 3 ngày ở nhiệt độ 80°C. Sau khi lọc hết dung môi, sản phẩm được sấy ở 80°C trong 14 giờ rồi được nung ở 500°C trong 10 giờ.

Thực nghiệm tổng hợp nhôm oxit bằng phương pháp sol-gel có sử dụng chất tạo cấu

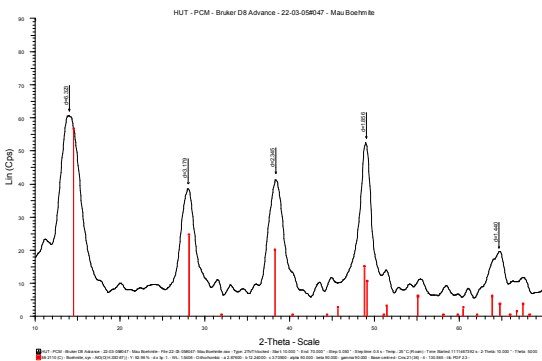
trúc gồm các bước sau: polyme Pluronic P123 ($\text{EO}_{20}\text{PO}_{70}\text{EO}_{20}$, EO = etylen oxit, PO = propylen oxit) được hoà tan trong etanol tuyệt đối và được khuấy trong 15 phút ở 40°C để thu được dung dịch A. Cùng thời gian đó, dung dịch B gồm axit clohydric, etanol tuyệt đối và tritert-butoxit nhôm được điều chế. Sau đó, hai dung dịch được trộn lẫn với nhau và được khuấy mạnh ở 40°C trong 15 phút. Tỷ lệ mol của Al^{3+} : Pluronic P123 : EtOH : H_2O : HCl trong dung dịch cuối cùng được cố định ở giá trị 1 : 0,017 : 30 : 6 : 18. Sol đồng thể được già hóa 3 ngày ở 40°C . Sau đó, sản phẩm được sấy ở 100°C qua đêm rồi nung ở nhiệt độ thích hợp trong dòng khí oxi trong 12 giờ để loại polyme.

2. Các kỹ thuật đặc trưng

Phổ nhiễu xạ Ronghen của các mẫu được ghi trên máy Bruker D 5005 sử dụng nguồn phát xạ Cu-K α với $\lambda = 1,54184 \text{ \AA}$. Diện tích bề mặt riêng và đường đẳng nhiệt hấp phụ của các mẫu được đo trên máy ASAP 2010 M. Phân tích nhiệt trọng lượng và nhiệt vi sai được đo trên máy NETZSCH STA 409 PC/PG.

3. Thử hoạt tính xúc tác

Các chất xúc tác Co-Mo/ Al_2O_3 đã được điều chế bằng cách tẩm đồng thời dung dịch muối $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ và $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ trên các chất mang đã điều chế. Sau đó tiến hành sấy ở 105°C trong



Hình 2: Phổ RXD của boehmite

Từ hình 2 ta thấy boehmite kết tinh tốt, các đường rõ nét, đường nền tương đối phẳng, các pic cao, rõ nét, không có pic lạ chứng tỏ boehmite có độ tinh khiết cao. Boehmite này được nung ở 450°C trong 5 giờ tạo ra $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

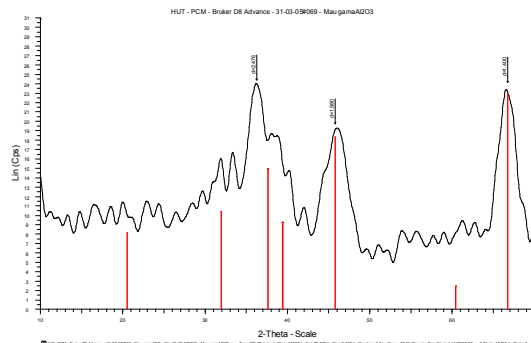
2 giờ rồi nung trong dòng không khí ở 500°C trong 5 giờ. Trước khi tiến hành phản ứng, xúc tác được sulfua hóa dưới dòng N_2 và $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ ở 450°C trong 1 giờ. Tiếp theo, phản ứng Water-Gas-Shift được tiến hành trên 300 mg xúc tác ở 450°C và tốc độ dòng của nước, CO và N_2 tương ứng là 7, 7 và 14 ml/phút. Sản phẩm của phản ứng được phân tích bằng sắc ký khí trang bị detector TCD. Chất xúc tác đối chứng là xúc tác Co-Mo/ Al_2O_3 công nghiệp nhập ngoại từ Trung Quốc có diện tích bề mặt riêng $103 \text{ m}^2/\text{g}$, chứa 6% MoO_3 .

III - KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Nhóm oxit thu được bằng phương pháp kết tủa

Quá trình tạo boehmite tinh thể chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như: pH của môi trường, nhiệt độ phản ứng, tốc độ khuấy trộn, thời gian già hóa v.v. Qua quá trình khảo sát, chúng tôi đã xác định được các điều kiện tối ưu để tạo ra boehmite là: pH = 8 - 9; nhiệt độ phản ứng axit hóa : $80 \div 90^\circ\text{C}$; tốc độ khuấy: 200 vòng/phút; thời gian già hóa: 2h; nhiệt độ sấy: 110°C ; thời gian sấy: 4 h.

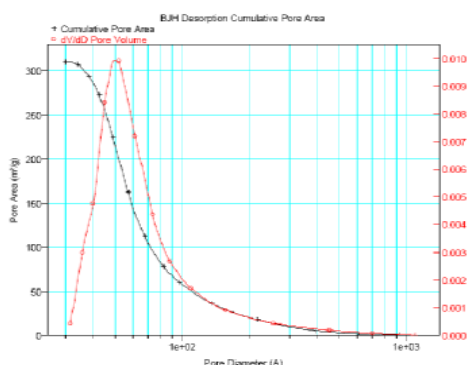
Các kết quả phân tích cấu trúc của Boehmite bằng phổ nhiễu xạ Ronghen được thể hiện trên hình 2.



Hình 3: Phổ RXD của mẫu Al_2O_3 -01

Kết quả phân tích cấu trúc của mẫu $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Al_2O_3 - 01) được mô tả trong hình 3. Qua phổ Ronghen của $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ta thấy boehmite đã chuyển hóa thành $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ và hàm lượng $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ là khá cao ($> 94\%$). Kết quả đo diện tích bề mặt

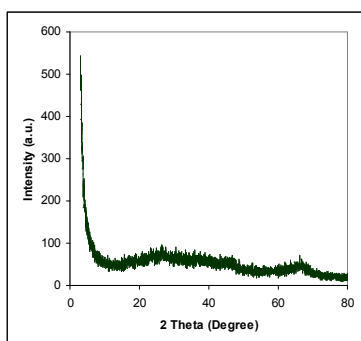
riêng theo phương pháp BET cho thấy $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ thu được có diện tích bề mặt riêng đạt $214 \text{ m}^2/\text{g}$. Biểu đồ phân bố lỗ xốp của $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ trình bày trong hình 4 cho thấy đường kính lỗ xốp của vật liệu này phân bố trong khoảng từ 40 - 90 Å với cực đại tại 50 Å.



Hình 4: Phân bố kích thước mao quản của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-01}$

2. Nhôm oxit thu được bằng phương pháp sol-gel

Kết quả chụp phổ nhiễu xạ Ronghen của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-02}$ được trình bày trong hình 5. Như vậy, sau khi nung mẫu ở 500°C trong 12 giờ, chúng ta thu được mẫu có cấu trúc vô định hình. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với các kết quả đã công bố [19, 20]. Nhìn chung, đã được báo

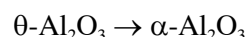


Hình 5: Phổ RXD của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-02}$

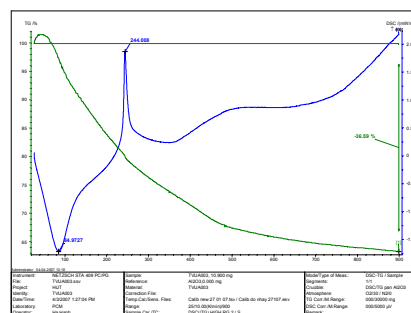
Sau khi nung ở 500°C , mẫu nhôm oxit thu được ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-02}$) có diện tích bề mặt riêng BET $480 \text{ m}^2/\text{g}$, thể tích lỗ xốp trung bình (V_{JBH}) là $1,4 \text{ ml/g}$ và đường kính lỗ xốp nằm trong khoảng 40 - 70 Å tập trung chủ yếu ở 50 Å (hình 8). Các kết quả mà chúng tôi thu được, nhìn chung, tốt

cáo là dạng $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ xuất hiện trong khoảng nhiệt độ $350 - 1000^\circ\text{C}$ khi nó được tạo thành từ các tiền chất có cấu trúc tinh thể [21] hoặc vô định hình [22].

Tiền chất dạng Boehmite/Tiền chất dạng vô định hình $\rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \delta\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow$



Đối với mẫu của chúng tôi, tiền chất sấy ở 80°C có cấu trúc vô định hình (kết quả chụp phổ Ronghen không chỉ ra ở đây) và không phải là boehmite. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả phân tích nhiệt trọng lượng và nhiệt vi sai của mẫu (hình 6). Giảm độ phân tích nhiệt trọng lượng cho thấy khối lượng mẫu giảm khoảng 40% trong quá trình xử lý nhiệt. Trên giản đồ, ta thấy các pic đặc trưng ở nhiệt độ $84,97^\circ\text{C}$ và 244°C . Pic đầu tiên gắn với sự mất khối lượng do việc hấp phụ của nước hấp phụ vật lý và propanol. Pic đặc trưng thứ hai ở nhiệt độ 244°C là pic toả nhiệt tương ứng với việc mất các nhóm alkoxit trong nhôm isopropoxit. Ngoài ra, cho đến 900°C , không quan sát thấy pic ứng với sự chuyển pha của nhôm oxit (ứng với đường phân tích nhiệt trọng lượng không đổi). Tuy nhiên, khi chúng tôi tăng nhiệt độ nung mẫu đến 900°C , chúng tôi đã quan sát thấy sự chuyển pha bắt đầu xảy ra (hình 7).

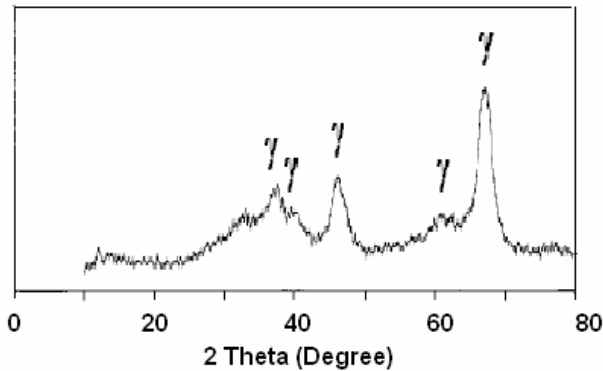


Hình 6: Phổ DTA của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-02}$

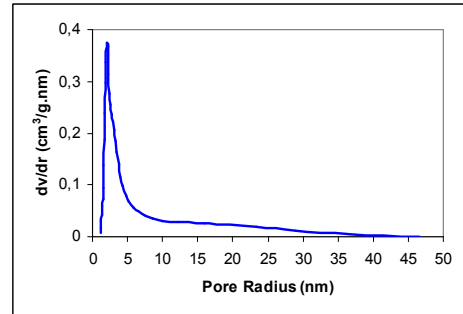
hơn nhiều so với các kết quả đã được báo cáo đối với các mẫu được điều chế bởi cùng phương pháp sol-gel [19, 23], thường có diện tích bề mặt riêng nhỏ hơn $400 \text{ m}^2/\text{g}$. Đặc biệt, so với mẫu đối chứng là chất xúc tác $\text{Co-Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ nhập ngoại từ Trung Quốc, trong đó, chất mang

Al_2O_3 (ký hiệu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-04}$) chỉ có diện tích bề mặt riêng là $103 \text{ m}^2/\text{g}$, thể tích lỗ xốp là $0.31 \text{ cm}^3/\text{g}$ và kích thước lỗ xốp phân bố trong khoảng rộng (hình 9). Tóm lại, với các tính chất cấu trúc ưu

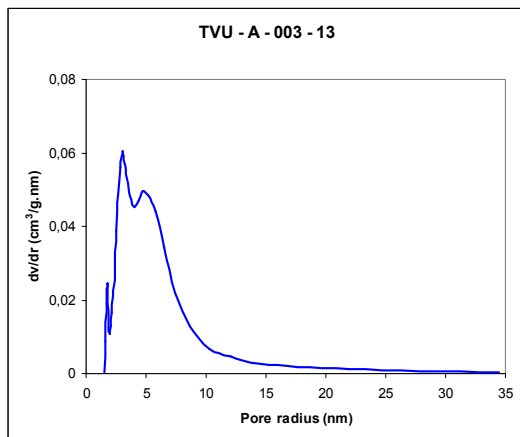
việt như vậy, Al_2O_3 điều chế theo phương pháp sol-gel hoàn toàn có thể sử dụng làm chất mang xúc tác hoặc chất hấp phụ.



Hình 7: Phổ RXD của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-02}$ nung ở 900°C



Hình 8: Phân bố kích thước mao quản của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-02}$



Hình 9: Phân bố kích thước mao quản của mẫu đối chứng ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-04}$)

Bảng 1: Ảnh hưởng của nhiệt độ nung đến cấu trúc lỗ xốp

Mẫu	S_{BET} , m^2/g	$V_{\text{lỗ xốp}}$, cm^3/g	$D_{\text{lỗ xốp}}$, Å
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-03}$ nung 400°C	401	0,552	35
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-03}$ nung 500°C	383	0,500	40
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-03}$ nung 600°C	355	0,480	49

3. Nhôm oxit thu được bằng phương pháp sol-gel có sử dụng chất tạo cấu trúc

Kết quả phân tích sự hấp phụ đẳng nhiệt, diện tích bề mặt riêng và sự phân bố kích thước mao quản của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-03}$ nung ở các nhiệt độ khác nhau được trình bày trong bảng 1 và hình 10.

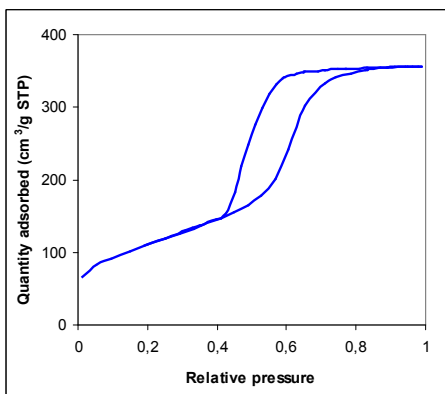
Đường đẳng nhiệt hấp phụ-nhả hấp phụ của mẫu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-03}$ (hình 10) tạo nên đường cong trễ tương ứng với đường đẳng nhiệt hấp phụ-nhả

hấp phụ của vật liệu có cấu trúc lỗ xốp trung bình. Sự hấp phụ đẳng nhiệt trên các mẫu nung ở nhiệt độ 400°C , 500°C và 600°C cho thấy khi tăng nhiệt độ nung, diện tích bề mặt riêng giảm đi (từ $401 \text{ m}^2/\text{g}$ sau khi nung ở 400°C xuống $355 \text{ m}^2/\text{g}$ sau khi nung ở 600°C) và thể tích lỗ xốp giảm từ $0,552 \text{ cm}^3/\text{g}$ khi nung ở 400°C xuống $0,480 \text{ cm}^3/\text{g}$ khi nung ở 600°C . Đồng thời, đường kính lỗ xốp tăng lên khi nhiệt độ nung tăng lên. Có vẻ như việc xử lý nhiệt ít nhiều có ảnh hưởng đến cấu trúc lỗ xốp của các vật liệu

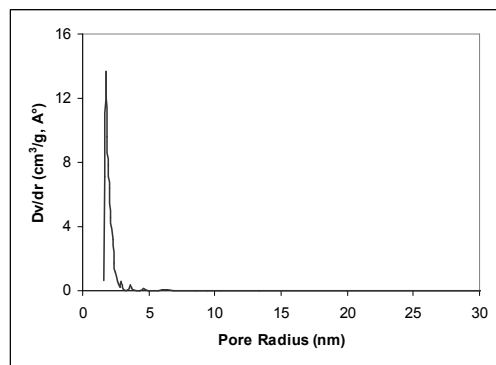
này. Chúng tôi sơ bộ giải thích sự ảnh hưởng này bởi hai lý do. Lý do thứ nhất, có thể ở nhiệt độ nung thấp, chất tạo cấu trúc chưa cháy hết và còn nằm lại trong các lỗ xốp làm thay đổi đường kính lỗ xốp. Khi tăng nhiệt độ nung, quá trình cháy của chất tạo cấu trúc diễn ra hoàn toàn, lúc này chúng ta sẽ đo được đường kính thực của lỗ xốp. Lý do thứ hai liên quan đến độ bền của vật liệu. Có thể khi nung ở nhiệt độ cao, do cấu trúc không bền nên một số thành lỗ xốp bị sập xuống làm cho thể tích lỗ xốp tăng lên và diện tích bề

mặt riêng giảm đi. Những vấn đề này chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu và công bố trong công trình tiếp theo. Tuy nhiên, ưu điểm nổi bật của loại vật liệu này là chúng có sự phân bố đường kính lỗ xốp trong khoảng hẹp (hình 11).

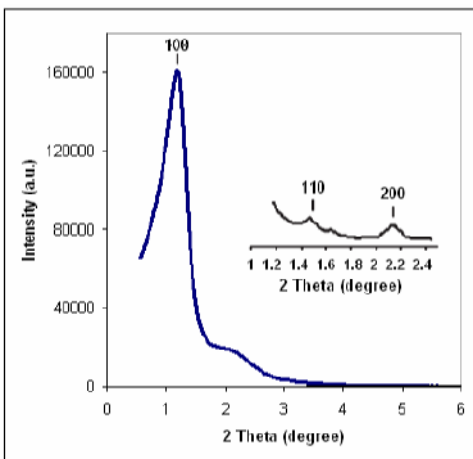
Hình 12 trình bày phổ nhiễu xạ Ronghen của mẫu Al_2O_3-03 nung ở $400^\circ C$ ở vùng góc 2θ nhỏ. Trong vùng này, phổ nhiễu xạ của mẫu chỉ ra 3 pic. Các phản xạ ở (100), (110) và (200) thể hiện cấu trúc lỗ xốp 2D lục lăng với nhóm không gian P6mm.



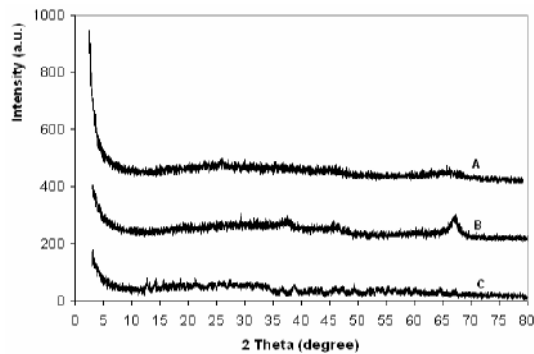
Hình 10: Đường đẳng nhiệt hấp phụ-nhả hấp phụ của mẫu Al_2O_3-03 nung ở $400^\circ C$



Hình 11: Phân bố kích thước mao quản của mẫu Al_2O_3-03 nung ở $400^\circ C$



Hình 12: Phổ nhiễu xạ Ronghen trong vùng góc nhỏ của mẫu Al_2O_3-03 nung ở $400^\circ C$



Hình 13: Phổ nhiễu xạ Ronghen của mẫu 18% MoO_3/Al_2O_3-02 , 18% MoO_3/Al_2O_3-03 và mẫu đối chứng 6% MoO_3/Al_2O_3
A: Mẫu 18% MoO_3/Al_2O_3-02 ; B: Mẫu đối chứng 6% MoO_3/Al_2O_3 ; C: Mẫu 18% MoO_3/Al_2O_3-03

4. Tiềm năng ứng dụng của nhôm oxit mao quản trung bình có trật tự

Kết quả thử hoạt tính xúc tác $Co-Mo/Al_2O_3$ (sử dụng các chất mang nhôm oxit khác nhau đã

điều chế được) trong phản ứng chuyển hóa CO với hơi nước cho thấy các xúc tác chứa 18% $MoO_3/(Al_2O_3-02)$ và 18% $MoO_3/(Al_2O_3-03)$ đều cho độ chuyển hóa CO cao gấp 3 lần (độ chuyển

hóa 30%) so với xúc tác đối chứng chứa 6% MoO₃ (độ chuyển hóa 10%) tại cùng điều kiện phản ứng. Điều đó có nghĩa là cả ba chất xúc tác đều có độ chuyển hóa bằng nhau tính theo một đơn vị khối lượng Mo. Quan sát bằng phổ nhiễu xạ Ronghen của xúc tác 18% Mo/Al₂O₃ chúng tôi đã không nhận thấy pic của MoO₃. Điều này chứng tỏ rằng không có mặt các khối kết tụ của MoO₃ trên chất mang (hoặc có nhưng nhỏ đến mức không phát hiện được bằng phổ RXD - hình 13) và có khả năng MoO₃ chỉ tạo thành ở dạng đơn lớp trên nhôm oxit. Như vậy, nhờ có diện tích bề mặt riêng lớn hơn so với nhôm oxit thông thường nên các chất mang này có thể mang được nhiều pha hoạt tính hơn (đến 18% MoO₃ so với 6 % trên xúc tác thương mại). Đặc biệt, chất mang nhôm oxit mao quản trung bình có trật tự có tiềm năng ứng dụng rộng rãi tương đương sự ứng dụng hiện nay của nhôm oxit điều chế bằng phương pháp sol-gel.

IV - KẾT LUẬN

Ba loại nhôm oxit đã được tổng hợp bằng ba phương pháp hoàn toàn khác nhau.

1. Phương pháp kinh điển là phương pháp kết tủa cho phép chúng ta, sau khi nung tiền chất ở 500°C, thu được γ -Al₂O₃ có cấu trúc tinh thể với diện tích bề mặt riêng 214 m²/g, với đường kính lỗ xốp phân bố trong khoảng 40 - 90 Å.

2. Phương pháp sol-gel cho phép thu được nhôm oxit có cấu trúc vô định hình với diện tích bề mặt riêng 480 m²/g, đường kính lỗ xốp phân bố trong khoảng 40 đến 70 Å và tập trung chủ yếu ở 50 Å.

3. Phương pháp tổng hợp có sử dụng chất tạo cấu trúc cho phép thu được nhôm oxit có cấu trúc mao quản trung bình có trật tự dạng 2D lục lăng với nhóm không gian P6mm. Vật liệu này có diện tích bề mặt riêng 401 m²/g và có đường kính lỗ xốp phân bố trong khoảng hẹp.

Phương pháp sol-gel và phương pháp sol-gel có sử dụng chất tạo cấu trúc cho phép thu được nhôm oxit có diện tích bề mặt cao hơn nhiều so với nhôm oxit điều chế bằng phương pháp thông thường. Ngoài ra, nhôm oxit mao quản trung bình có trật tự còn có kích thước mao quản rất

đồng đều. Vì vậy, các vật liệu này có tiềm năng ứng dụng rộng rãi làm chất mang xúc tác. Rõ ràng con đường tổng hợp nhôm oxit là bước đầu tiên mà từ đó xác định cấu trúc micro và macro của oxit và nhờ thế cho phép kiểm soát được các đặc tính của chất mang. Lần đầu tiên các phương pháp sol-gel và phương pháp sol-gel có sử dụng chất tạo cấu trúc đã được áp dụng thành công ở Việt Nam để tổng hợp nhôm oxit có các tính chất cấu trúc ưu việt hơn các nhôm oxit tổng hợp bằng phương pháp truyền thống.

Các công trình nghiên cứu sâu về sự ảnh hưởng của quá trình tổng hợp đến tính chất cấu trúc của nhôm oxit điều chế bằng phương pháp sol-gel có sử dụng chất tạo cấu trúc sẽ được công bố trong các công trình tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. K. Oberlander. Applied Industrial Catalysis (Ed.: B. E. Leach), Academic Press, New York, 63 (1984).
2. K. Wefers. Alumina Chemicals: Science and Technology Hand-book (Ed.: L. D. Hart), The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, 13 (1990).
3. C. Misra, Industrial Alumina Chemicals, ACS Monograph, 184, Washington, 1986
4. H. Topsoc, B. S. Clausen, F. E. Massoth. Hydrotreating Catalysis, Springer, Berlin, 310 (1996).
5. F. Schuth, K. Unger. in: G. Ertl, H. Knozinger, J. Weitkamp (Eds.), Preparation of Solid Catalysts, Wiley-VCH, Weinheim, 77 (1999).
6. F. Rouquerol, J. Rouquerol, K. Sing. Adsorption by Powders & Porous Solids, Academic Press, San Diego, 467 (1999).
7. R. S. Zhou, R. L. Snyder. Acta Crystallogr. B47, 617 (1991).
8. S. A. Bagshaw, E. Prouzet, T. J. Pinnavaia. Science, 269, 1242 (1995).
9. S. A. Bagshaw, T. J. Pinnavaia, Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 35, 1102 (1996).
10. F. Vaudry, S. Khodabandeh, M. E. Davis. Chem. Mater., 8, 1451 (1996).

11. M. Yada, H. Kitamura, M. Machida, T. Kijima. *Langmuir*, 13, 5252 (1997).
12. M. Yada, H. Hiyoshi, K. Ohe, M. Machida, T. Kijima. *Inorg. Chem.*, 36, 5565 (1997).
13. S. Cabrera, J. El Haskouri, J. Alamo, A. Beltran, D. Beltran, S. Mendioroz, M. Dolores Marcos, P. Amoros. *Adv. Mater.*, 11, 379 (1999).
14. X. Liu, Y. Wei, D. Jin, W.-H. Shih. *Mater. Lett.*, 42, 143 (2000).
15. S. Cabrera, J. El Haskouri, C. Guillem, J. Latorre, A. Beltran-Porter, D. Beltran-Porter, M. Dolores Marcos, P. Amoros. *Solid State Sci.*, 2, 405 (2000).
16. W. S. Wieland, R. J. Davis, J. M. Garces. *J. Catal.*, 173, 490 (1998).
17. S. Valange, J. Barrault, A. Derouault, Z. Gabelica. *Microporous Mesoporous Mater.*, 44 - 45, 2001, 211 (2001).
18. B. E. Yoldas. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 54, 286 (1975).
19. R. Linacero, M. L. Rojas-Cervantes, J. De D. Lopez-Gonzalez. *J. Mater. Sci.*, 35, 3279 (2000).
20. Monica Trueba and Stefano P. Trasatti. *Eur. J. Inorg. Chem.*, 3393 (2005).
21. B. A. Lattela, B. H. O'Connor. *J. Am. Ceram. Soc.*, 80, 2941 (1997).
22. T. C. Chou, D. Adamson, J. Mardinly, T. G. Nieh. *Thin Solid Films*, 92, 4843 (1991).
23. J. Ramirez and A. Gutierrez-Alejandre. *J. Catal.*, 170, 108 (1997).