

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VẬT LIỆU POLYME (DIVINYLBENZEN - STYREN) XỐP ĐỂ XỬ LÝ Ô NHIỄM DẦU TRÀN

RESEARCH ON MANUFACTURE OF POROUS POLYMER MATERIAL (DIVINYLBENZENE - STYRENE) FOR TREATMENT OF SPILLED OIL POLLUTION

Nguyễn Tri Bảo^{1,2}, Đặng Thị Thơm^{2,3,*},
Hoàng Thanh Hải¹, Phùng Khắc Huy Chú¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huieh5804.2025.292>

TÓM TẮT

Vật liệu polyme Divinylbenzen - Styren (DVB-ST) xốp được tổng hợp bằng phản ứng đồng trùng hợp gốc tự do theo phương pháp trùng hợp nhũ tương. Tính chất đặc trưng của vật liệu được xác định bằng các kỹ thuật kính hiển vi điện tử quét (SEM), phân tích nhiệt TGA. Diện tích bề mặt riêng và tích chất xốp của vật liệu được đánh giá thông qua phương pháp BET. Dung lượng hấp phụ dầu, các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình đồng trùng hợp của vật liệu polyme xốp đã được kiểm tra. Vật liệu polyme xốp có cấu trúc mạng lưới xốp, diện tích bề mặt riêng được xác định theo BET là $122\text{m}^2/\text{g}$. Kích thước lỗ trung bình là 6 - 14nm. Bên cạnh đó, việc đưa sắt từ vào quá trình đồng trùng hợp nhũ tương giúp cho vật liệu polyme xốp sau khi hấp phụ dầu trên bề mặt nước có khả năng thu hồi cao. Kết quả là, vật liệu polyme xốp mang từ tính có độ hấp phụ dầu cao với khả năng hấp phụ dầu (W) là $33,21\text{g/g}$ được tính toán bằng phương pháp trọng lượng, như vậy có tiềm năng hữu hiệu để nghiên cứu, ứng dụng xử lý ô nhiễm dầu tràn trong thực tế.

Từ khóa: Vật liệu, polyme, Divinylbenzen - Styren, hấp phụ dầu, ô nhiễm dầu tràn.

ABSTRACT

Porous polymer material of Divinylbenzene - Styrene (DVB-ST) was synthesized by free radical copolymerization reaction using emulsion polymerization method. The characteristic properties of the material were determined by scanning electron microscopy (SEM) and thermal analysis TGA. The specific surface area and porosity of the material were evaluated by BET method. The oil adsorption capacity and factors affecting on the copolymerization process of the polymer material were tested. The porous polymer material has a porous network structure, the specific surface area determined by BET is $122\text{m}^2/\text{g}$. The average pore size is 6 - 14 nm. Factors affecting on the oil adsorption process of the material were investigated. Besides, added magnetic iron into the emulsion copolymerization process supports the porous polymer material after adsorbing oil on the water surface in order to have high recovery capacity. As a result, the magnetic porous polymer material has high oil adsorption with oil adsorption capacity (W) of 33.21g/g calculated by gravimetric method, thus this material had effective potential for research and application for spilled oil pollution treatment in reality.

Keywords: material, polymer, Divinylbenzen - Styren, oil adsorption, spilled oil pollution

¹Bình chủng Hóa học, Viện Hóa học Môi trường Quân sự

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: thomiet@gmail.com

Ngày nhận bài: 13/3/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/7/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/7/2025

1. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển nhanh chóng ngành công nghiệp hoá dầu, sự cố tràn dầu đã xảy ra ngày càng thường xuyên

và mạnh mẽ hơn trong những năm gần đây. Sự cố tràn dầu như một mối đe dọa đối với hệ sinh thái, là một vấn đề môi trường toàn cầu nghiêm trọng. Việc rò rỉ ngẫu

nhiên hoặc cố tình giải phóng hydrocacbon dầu mỏ vào môi trường biển dẫn đến thiệt hại thảm khốc cho môi trường sinh thái và sức khoẻ của con người. Trên thế giới hiện nay, để xử lý sự cố tràn dầu có nhiều phương pháp như: Phương pháp vật lý, phương pháp sinh học, phương pháp nhiệt và phương pháp hoá học [1]. Qua đánh giá, hấp phụ (phương pháp hoá học) là một trong những biện pháp hiệu quả trong việc xử lý sự cố tràn dầu hiện nay. So với các phương pháp xử lý dầu tràn khác, phương pháp hấp phụ dễ thực hiện, không phát sinh chất độc hại trong suốt quá trình xử lý và ngoài ra phương pháp này có thể loại bỏ gần như tối đa lượng dầu tràn.

Các loại vật liệu polyme xốp có cấu trúc mao quản là loại vật liệu mới hiện tại đang được quan tâm nghiên cứu bởi nó có tính ứng dụng cao trong công tác xử lý dầu tràn cũng như các loại ô nhiễm trong nước khác. Về kích thước, sự phân bố kích thước hạt và diện tích bề mặt riêng của vật liệu polyme xốp có thể dễ dàng điều chỉnh dựa trên các quá trình tổng hợp vật liệu. Việc biến tính vật liệu nano sắt từ giúp cho các hạt sắt từ phân bố đều trong vật liệu polyme xốp và tăng khả năng hấp phụ dầu của vật liệu. Ngoài ra trong cấu trúc của vật liệu polyme xốp có thể chứa các nhóm chức hoạt động, chính vì vậy, vật liệu polyme xốp mang vật liệu nano sắt từ có khả năng ứng dụng rộng rãi cho việc xử lý dầu tràn. Trong bài báo này, phản ứng đồng trùng hợp giữa DVB-ST theo cơ chế gốc tự do bằng phương pháp trùng hợp nhũ tương được thực hiện. Ảnh hưởng các điều kiện tổng hợp vật liệu như tỷ lệ DVB-ST, hàm lượng chất xúc tác, hàm lượng chất tạo huyền phù, nhiệt độ, thời gian phản ứng và cuối cùng quá trình hấp phụ dầu tràn của vật liệu polyme xốp cũng được khảo sát đánh giá [2].

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hoá chất:

Styren, độ tinh khiết $\geq 99,5\%$ hãng sản xuất Sigma Aldrich - Mỹ; Divinybenzen, độ tinh khiết $\geq 85\%$ hãng sản xuất Sigma Aldrich - Mỹ; Benzoyl peroxit, độ tinh khiết 98% hãng sản xuất Sigma Aldrich - Mỹ; Sorbitan Oleate (Span 80); Sắt từ Fe_3O_4 , axit oleic, nước cất hai lần được sử dụng.

2.2. Phương pháp tổng hợp vật liệu polyme xốp

Chuẩn bị dung dịch phản ứng bằng cách hoà tan ST và DVB có phân tán hạt oxit sắt (oxit sắt đã được oleat hoá bề mặt trong monome bằng thiết bị siêu âm) theo tỷ lệ được tính toán trước vào cốc thuỷ tinh 250ml có thiết bị khuấy và Buret 50 ml. Bên cạnh đó, cho chất nhũ hoá (Span 80) vào hỗn hợp phản ứng trên có sử dụng thiết bị

khuấy đều để các chất tiếp xúc tốt với nhau. Tiếp tục cho lượng chất xúc tác khơi mào benzoyl peroxit và Fe_2O_4 đã biến tính lấy theo tỷ lệ khảo sát so với khối lượng các monome phản ứng. Tăng tốc độ khuấy để các monome và chất xúc tác phân tán đều vào các hạt huyền phù trong dung dịch. Thực hiện phản ứng tại nhiệt độ từ 90°C . Sau đó tiếp tục khuấy đồng thời nhỏ nước cất vào với tốc độ 3ml/phút trong thời gian 90 phút. Kết thúc phản ứng sản phẩm polyme xốp được hình thành. Sấy sản phẩm tại $75 - 90^\circ\text{C}$. Cuối cùng rửa lại sản phẩm bằng ethanol, sấy sản phẩm $70 - 80^\circ\text{C}$ cho đến khi khối lượng không đổi, trước khi đem phân tích xác định đặc trưng cấu trúc tính chất và đánh giá thử nghiệm các chỉ tiêu của sản phẩm [2-6].

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Chụp ảnh kính điện tử quét được thực hiện bằng kính hiển vi điện tử Jeol JMS 6490 tại Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn Lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam.

Phân tích xác định diện tích bề mặt riêng của vật liệu bằng phương pháp BET bằng thiết bị Micromeritics Tristar 3000 tại phòng phân tích CBRN - Viện Hoá học Môi trường Quân sự/BCHH.

Phân tích nhiệt vi sai quét DSC, nhiệt trọng lượng TGA của vật liệu Polyme xốp được thực hiện bằng máy phân tích nhiệt Labsys Evo tại Viện Khoa học vật liệu - Viện Hàn lâm khoa học và công nghệ Việt Nam.

2.4. Thử nghiệm đánh giá khả năng hấp phụ dầu tràn của vật liệu polyme xốp mang từ tính

Khả năng hấp phụ dầu (mức độ hấp phụ dầu) là thông số quan trọng nhất đối với việc chế tạo polyme hấp phụ dầu. Để xác định được mức độ hấp phụ dầu lấy mẫu sau khi phản ứng kết thúc, tất cả các cốc mẫu thử khả năng hấp phụ dầu đều được sấy trong 2 ngày.

Tiến hành thí nghiệm xác định mức độ hấp phụ dầu của vật liệu polymer xốp với dầu DO trong điều kiện thí nghiệm môi trường nước.

- Phương pháp: Hệ số hấp thụ dầu (W) được xác định bằng phương pháp trọng lượng [7, 8]. Rót 15ml dầu vào cốc thuỷ tinh 100ml có chứa 80ml nước cất hoặc nước biển. Sau đó lấy vật liệu polymer xốp đã tổng hợp được, cân và thả vào lớp dầu trên bề mặt nước. Sau khoảng thời gian xác định, vật liệu được lấy ra và để 2 phút trước khi cân. Khi đó dung lượng hấp phụ dầu được tính theo công thức (1) sau:

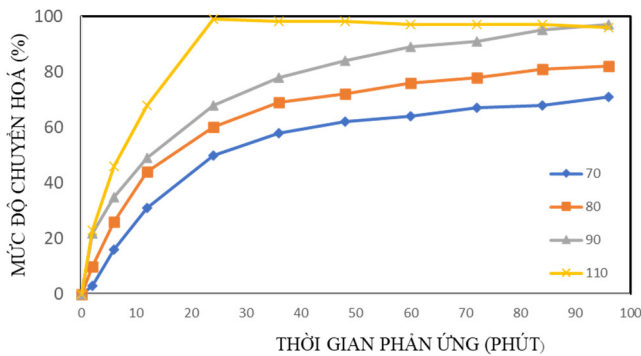
$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\% \quad (\text{g/g}) \quad (1)$$

Trong đó: m_1 và m_2 là khối lượng chất trước và sau khi hấp phụ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tổng hợp vật liệu Polyme xốp mang từ tính

a) Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian phản ứng đến quá trình đồng trùng hợp



Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian phản ứng đến quá trình đồng trùng hợp

Qua hình 1 nhận thấy rằng, khi nhiệt độ tăng thì mức độ chuyển hóa của monome tăng nhanh ở giai đoạn đầu và sau đó tăng chậm cho đến giá trị không đổi. Vì khi tăng nhiệt độ sẽ làm tăng tốc độ phản ứng dẫn đến tốc độ chuyển hóa của các monome thành polyme nhanh hơn. Ở nhiệt độ 80°C, tốc độ chuyển hóa chậm, để đạt được chuyển hóa cao thì thời gian phản ứng kéo dài. Khi nhiệt độ 90°C thì tốc độ chuyển hóa tăng nhanh. Thời gian cần thiết để monome chuyển hóa gần như hoàn toàn trong khoảng 90 phút. Tuy nhiên khi nhiệt độ lớn hơn 100°C thì tốc độ chuyển hóa ban đầu tăng một cách đột ngột và quá trình chuyển hóa không đạt được hoàn toàn do một phần polyme bị phân hủy (cháy) ở nhiệt độ cao. Do vậy, ở nhiệt độ 90°C, thời gian phản ứng khoảng 90 phút được lựa chọn để nghiên cứu phản ứng.

b) Ảnh hưởng của hàm lượng chất nhũ hóa

Bảng 1. Ảnh hưởng của hàm lượng chất nhũ hóa Span 80 tới độ bền nhũ và kích thước hạt của nhũ hóa

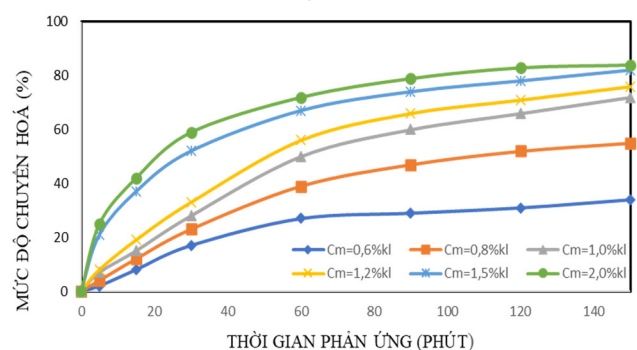
Hàm lượng chất nhũ hóa, % (Span 80)	Độ bền nhũ, ngày	Hàm lượng chất nhũ hóa, % (Span 80)	Kích thước hạt trung bình (μm)
2	3	2	12
4	8	4	10
6	25	6	6
8	26	8	7

Kết quả bảng 1 cho thấy, với hàm lượng chất nhũ hóa 2% thì nhũ tương tách pha nhanh. Các mẫu với hàm lượng chất nhũ hóa từ 6 đến 8% có độ bền nhũ tương gần như bằng nhau. Bên cạnh đó, chúng tôi tiến hành xác

định kích thước hạt nhũ để xác định khả năng ổn định của nhũ tương bằng cách sử dụng kính hiển vi và xác định ảnh hưởng của hàm lượng chất tạo nhũ tới phân bố kích thước hạt sản phẩm. Khi tăng hàm lượng chất nhũ hóa thì kích thước hạt nhũ tương trung bình đều giảm. Điều này được làm rõ thông qua việc đánh giá kích thước hạt trung bình cũng như mức độ phân tán tại bảng 1. Tiếp tục tăng hàm lượng chất nhũ hóa từ 6% đến 8% thì kích thước và mức độ phân tán thay đổi không đáng kể. Từ các kết quả thu được trong quá trình khảo sát hàm lượng chất nhũ hóa Span 80 thì chúng tôi lựa chọn hàm lượng chất nhũ hóa 6% so với khối lượng Monome cho quá trình đồng trùng hợp Styren và Divinylbenzen [9, 10].

c) Ảnh hưởng của nồng độ chất khơi mào đến mức độ chuyển hóa

Qua hình 2 thấy rằng, nếu tăng nồng độ chất khơi mào từ 0,6% đến 2,0% (so với khối lượng Monome) thì nồng độ chất khơi mào lớn hơn 1,2% làm cho số gốc tự do tạo thành tăng lên rất nhanh, dẫn tới tốc độ phản ứng tăng lên đột ngột, làm tăng độ nhớt của dung dịch. Vậy nên, để thuận tiện cho việc nghiên cứu, các quá trình đồng trùng hợp sau sẽ tiến hành phản ứng ở nồng độ chất khơi mào là 1% so với khối lượng Monome [11].



Hình 2. Ảnh hưởng của hàm lượng chất khơi mào đến mức độ chuyển hóa

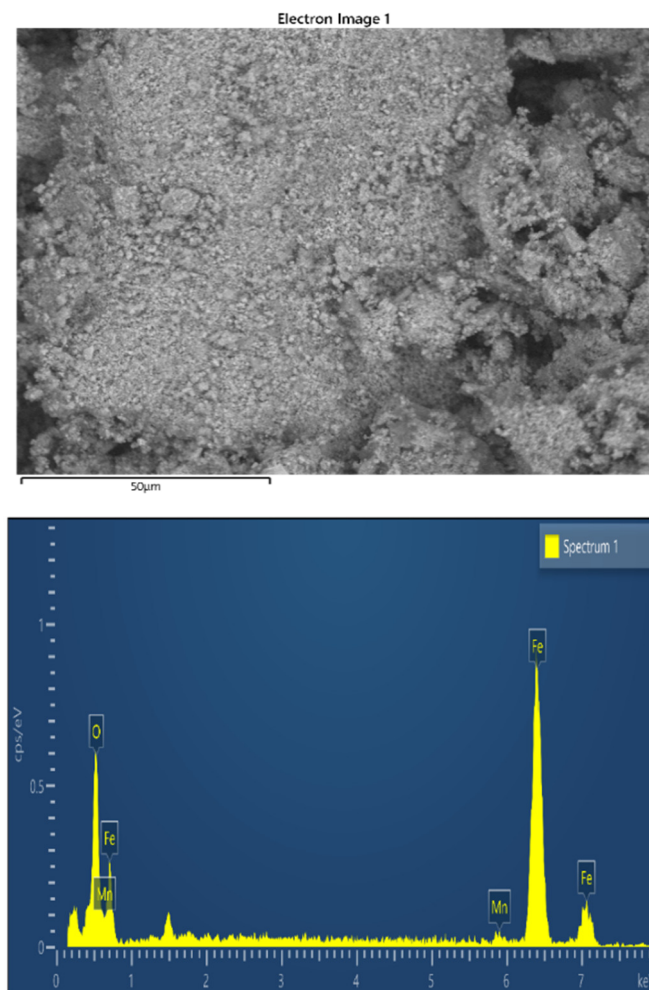
Điều kiện tổng hợp vật liệu polyme xốp mang từ tính

Vật liệu polyme xốp mang từ tính được tổng hợp như mô tả [1], với các điều kiện tối ưu như trong bảng 2.

Bảng 2. Điều kiện tối ưu tổng hợp vật liệu polyme xốp mang từ tính

STT	Điều kiện và đơn phối liệu tổng hợp và biến tính vật liệu polyme xốp	Giá trị
1	Tỷ lệ DVB/ST	0,5/4,5
2	Nồng độ chất khơi mào [%]	1
3	Hàm lượng chất nhũ hóa [%]	6
4	Sắt từ Fe ₃ O ₄ biến tính [%]	2
5	Tốc độ khuấy [v/phút]	1100
6	Thời gian thực hiện phản ứng [phút]	90
7	Nhiệt độ thực hiện phản ứng [°C]	90

3.2. Đặc trưng cấu trúc, tính chất của vật liệu polyme (DVB-ST)

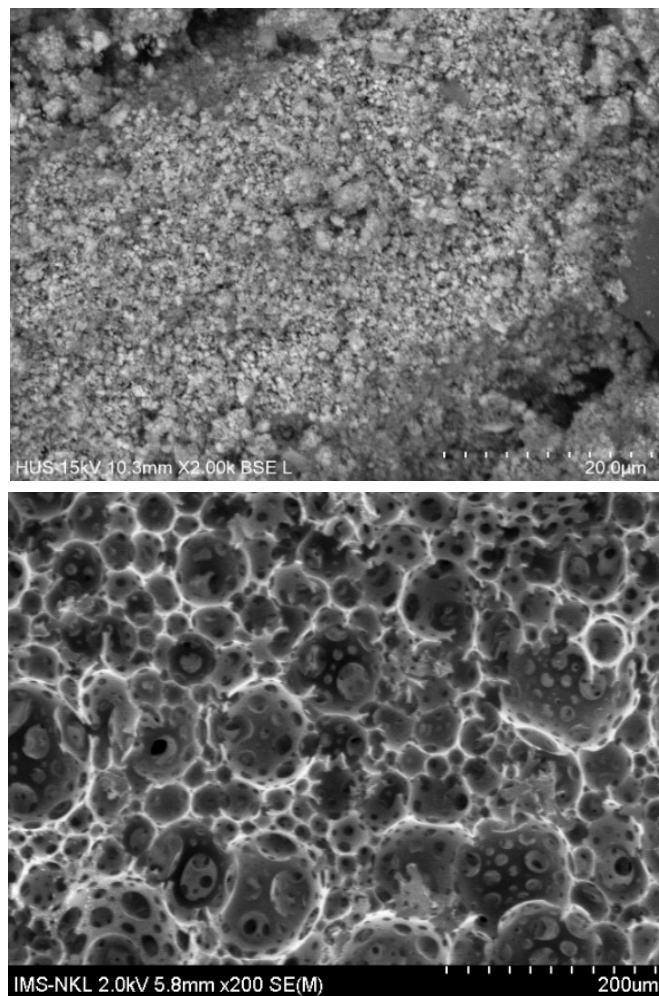


Hình 3. Ảnh chụp EDX của vật liệu Fe_3O_4 sau khi được biến tính bằng Axit oleic

Hình 3 thể hiện kết quả phân tích bằng phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) đối với vật liệu Polyme xốp có chứa hạt Fe_3O_4 sau khi được biến tính bằng axit oleic. Ảnh cho thấy bề mặt vật liệu có cấu trúc xốp đặc trưng, các vật liệu phân bố tương đối đồng đều. Phổ EDX cung cấp thông tin định lượng về thành phần nguyên tố trên bề mặt vật liệu. Kết quả phân tích cho thấy vật liệu có hàm lượng sắt (Fe) chiếm 83,78%, trong khi hàm lượng oxy (O) chiếm 16,22%. Sự hiện diện với tỷ lệ cao của Fe và O phù hợp với thành phần của Fe_3O_4 , đồng thời cho thấy quá trình biến tính bằng axit oleic không làm ảnh hưởng đến thành phần cấu tạo chính của vật liệu từ tính. Như vậy, có thể kết luận rằng vật liệu polymer xốp biến tính vẫn giữ được hàm lượng sắt từ cao.

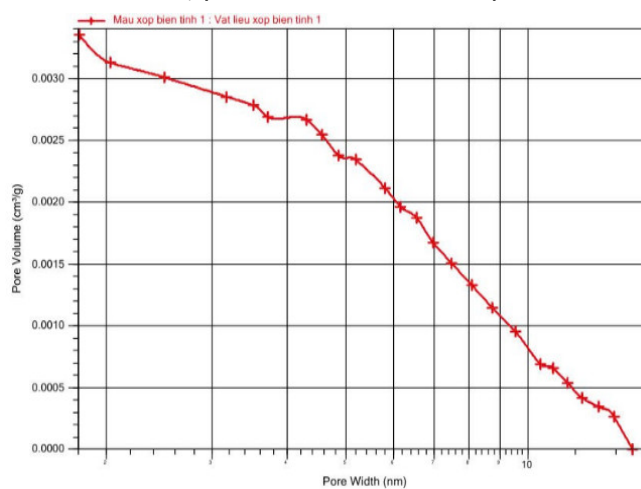
Kết quả chụp ảnh SEM bề mặt của vật liệu Polyme xốp được thể hiện trên hình 4. Các kết quả thu được cho thấy vật liệu Polyme xốp mang sắt từ biến tính có cấu trúc

tương đối xốp, các mao quản có được phân bố đều với đường kính mao quản tương đương nhau.

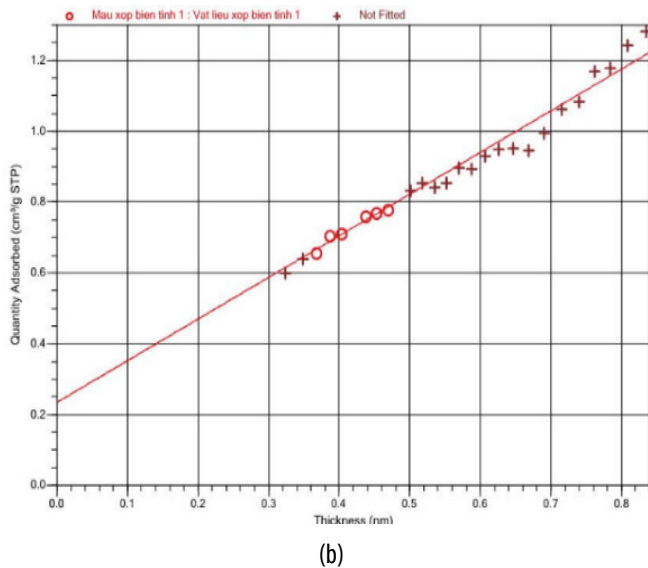


Hình 4. Ảnh chụp SEM của vật liệu sau khi được tổng hợp

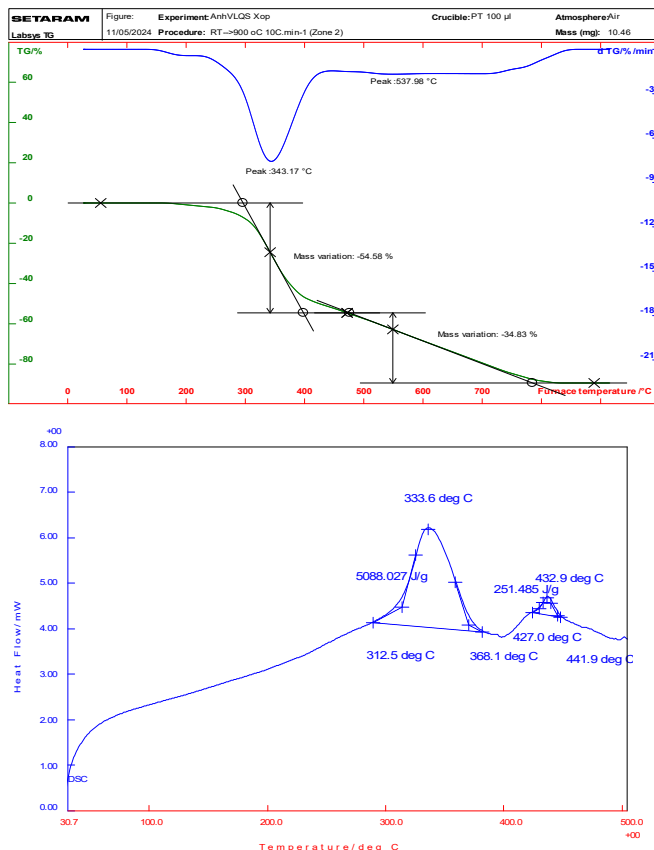
Kết quả bề mặt riêng của vật liệu polyme xốp bằng phương pháp BET hình 5 cho: Diện tích bề mặt riêng theo BET đạt $122\text{m}^2/\text{g}$, kích thước lỗ xốp trung bình là $10,2397\text{nm}$ và sự phân bố kích thước lỗ xốp từ 6 - 14nm .



(a)



Hình 5. (a) Phân bố kích thước lỗ mao quản của vật liệu; (b) Đồ thị đường hấp phụ đẳng nhiệt xác định diện tích bề mặt riêng của vật liệu



Hình 6. Giải đồ phân tích nhiệt TGA và phân tích nhiệt vi sai quét DSC

Kết quả phân tích nhiệt của vật liệu được trình bày trên hình 6 thông qua các đường cong TGA và DSC cho thấy rõ các giai đoạn biến đổi nhiệt đặc trưng. Cụ thể, trên đường cong TGA, vật liệu bắt đầu giảm khối lượng ở khoảng nhiệt độ từ 170°C đến 300°C, nguyên nhân chủ yếu là do sự bay hơi của nước hấp phụ trong cấu trúc vật liệu.

Tiếp theo, trong khoảng 300°C đến 400°C, vật liệu có sự suy giảm khối lượng đáng kể hơn, cho thấy sự phân hủy của các hợp chất hữu cơ có trong nền polymer xốp. Giai đoạn này liên quan trực tiếp đến sự cháy hoặc phá vỡ cấu trúc các liên kết hữu cơ. Đường cong DSC thể hiện rõ đỉnh thu nhiệt mạnh tại 336°C, tương ứng với quá trình cháy bùng của các thành phần hữu cơ. Sau đó, nhiệt độ tiếp tục tăng và đạt đến 441°C, tại đó vật liệu gần như đã hoàn toàn phân hủy.

3.3. Đánh giá khả năng hấp phụ dầu của vật liệu

Xác định khả năng hấp phụ của vật liệu polyme xốp mang từ tính đối với dầu DO. Phương pháp xác định khả năng hấp phụ dầu (W) được thực hiện bằng phương pháp trọng lượng. Sau khi lấy $m_1 = 0,335\text{g}$ vật liệu polyme xốp để đánh giá khả năng hấp phụ dầu DO. Trong khoảng thời gian 5 phút thu được $m_2 = 0,446\text{g}$ kết quả khả năng hấp phụ dầu (W) là $33,21\text{g/g}$.

Từ kết quả cho thấy, vật liệu polyme xốp mang từ tính có độ hấp phụ dầu cao. Kết hợp với quá trình đo độ hấp phụ dầu của vật liệu polyme xốp mang từ tính, chúng tôi tiến hành thử nghiệm khả năng thu hồi của vật liệu bằng cách sử dụng từ trường của nam châm để hút các vật liệu đó lại. Kết quả cho thấy, các vật liệu bám trên bề mặt nam châm, chứng tỏ có thể thu hồi vật liệu dễ dàng khi sử dụng vật liệu ở các vị trí có diện tích rộng hơn.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã tổng hợp thành công vật liệu polyme xốp trên cơ sở copolyme (divinylbenzen -styren) bằng phương pháp đồng trùng hợp gốc tự do trong huyền phù. Các điều kiện chế tạo được vật liệu ở tỷ lệ DVB/ST là 0,5/4,5; sử dụng benzoyl peroxit làm chất xúc tác khơi mào với nồng độ 1%, Span 80 tỷ lệ 6% làm chất nhũ hoá và sử dụng 2% sắt từ Fe_3O_4 đã biến tính bằng axit oleic để tăng khả năng hấp phụ và thu hồi dầu. Đặc trưng cấu trúc tính chất của vật liệu polyme xốp mang từ tính được đánh giá bằng phương pháp chụp ảnh SEM, phân tích nhiệt DSC-TGA. Vật liệu polyme xốp mang từ tính có cấu trúc mạng lưới xốp, diện tích bề mặt riêng theo BET là $122\text{m}^2/\text{g}$, kích thước lỗ xốp trung bình $10,23\text{nm}$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Tiến Dũng, Trịnh Đức Công, Nguyễn Văn Khôi, Nguyễn Hữu Trịnh, "Chế tạo vật liệu hấp phụ dầu trên cơ sở styren và lauryl metacrylat bằng phương pháp huyền phù," *Tạp chí Hóa học*, 6, 661-665, 2007.

- [2]. Seth Beck, Ravin Narain, *Polyme science and Nanotechnology: Fundamentals and Applications, Chapter 3 - polymer synthesis*. Elsevier B.V., 2020.
- [3]. Ziwei Tang, Shaofeng Li, "Hypercrosslinked porous poly (styrene-co-divinylbenzene) resin," *Journal of Materials Chemistry*, 2012.
- [4]. Yue Fan, Wenbo Chao, Cailin Liu, Shudong Lin, "Synthesis and properties of fluorosilane treated nano- Al_2O_3 hybrid modified styrene-divinylbenzene copolymers," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 700, 134835, 2024.
- [5]. Zhihua Li, et al., "Facile preparation of raspberry-like mesoporous poly(styrene-co-divinylbenzene)/Ag composite particles for antibacterial superhydrophobic surfaces and liquid marbles," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 635, 128014, 2022.
- [6]. Emad M. Masoud, Laijun Liu, Biaolin Peng, "Synthesis, Characterization, and Applications of Polymer Nanocomposites," *Journal of Nanomaterials*, 2020.
- [7]. David Romero-Fierro, Moises Bustamante-Torres, Francisco Bravo-Plascencia, Aylin Esquivel-Lozano, Juan-Carlos Ruiz and Emilio Bucio, "Recent Trends in Magnetic Polymer Nanocomposites for Aerospace Applications," *Polymers*, 14(19), 4084, 2022.
- [8]. Neelamegan Haridharan, Dhivyasudar Sundar, Lakshman Kurupasamy Sambandam Anandan, Chen-Hua Liu, Jery J.Wu, "Oil spills adsorption and cleanup by polymeric materials," *Polymers for Advanced Technologies*, 33, 5, 1353-1384, 2022.
- [9]. Qiang Chen, Lingling Zhang, Yuanhang Shan, Yindong Liu, Dongfeng Zhao, "Novel Magnetically Driven Superhydrophobic Sponges Coated with Asphaltene/Kaolin Nanoparticles for effective Oil Spill Cleanup," *Nanomaterials*, 12(19), 3527, 2022.
- [10]. Susheel Kalia, Sarrita Kango, Amit Kumar, Yuvaraj Haldorai, Bandna Kumari, Rajesh Kumar, "Magnetic polymer nanocomposites for environmental and biomedical applications," *Colloid Polym Sci*, 292, 2025-2052, 2014.
- [11]. Vasu Chaudhary, Sweta Sharma, "Effect of various synthesis parameters on styren-divinybenzene copolymer properties," *Journal of Porous Materials*, 26(6), 2019.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Tri Bao^{1,2}, Dang Thi Thom^{2,3}, Hoang Thanh Hai¹,
Phung Khac Huy Chu¹**

¹Chemical Corps, Institute of Military Environmental Chemistry, Vietnam

²Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

³Institute of Science and Technology for Energy and Environment, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam