

Nghiên cứu khả năng chống cháy, tính chất nhiệt, và tính chất hóa lý của vật liệu chống cháy polyurethane xốp từ poly(ethylene terephthalate) phế thải với sự hiện diện của phụ gia chống cháy phi halogen

Nguyễn Hà Tuyết Minh, Hoàng Thị Đông Quỳnh, Phạm Thị Chi*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Bis(2-hydroxyethyl) terephthalate (BHET), là sản phẩm của quá trình glycol giải polyethylene terephthalate (PET) phế thải, được dùng để tổng hợp polyurethane xốp (B-PUF) và B-PUF chống cháy với sự hiện diện của phụ gia chống cháy phi halogen aluminum hydrogen phosphonate (AHP). Để tổng hợp sản phẩm B-PUF thành công từ BHET, các yếu tố về cánh khuấy và thời gian khuấy hiệu quả đã được khảo sát, cụ thể thời gian khuấy 35 giây và sử dụng cánh khuấy đường kính 7,5 cm đã đem đến quá trình tạo xốp tốt nhất. AHP với các hàm lượng 20, 25, và 30 phph đã được khảo sát trong nghiên cứu này, B-PUF/AHP đã đạt hiệu quả chống cháy tốt nhất UL-94 V-0 ở hàm lượng 25 phph AHP. Tính chất nhiệt của B-PUF được cải thiện khi thêm phụ gia chống cháy AHP, thông qua kết quả phân tích nhiệt trọng lượng TGA, hàm lượng rắn còn lại tăng từ 23,32 lên 37,37% với sự hiện diện 25 phph AHP. Tỷ trọng và hình thái cấu trúc xốp cũng được nghiên cứu, tỷ trọng mẫu B-PUF và B-PUF/AHP lần lượt là 122,0 và 90,8 kg/m³ cho thấy sự hiện diện của AHP giúp quá trình tạo xốp của vật liệu tốt hơn. Việc sử dụng sản phẩm tái chế PET kết hợp phụ gia chống cháy phi halogen để tổng hợp vật liệu B-PUF là một trong những nghiên cứu phát triển bền vững để giảm lượng lớn PET phế thải, tạo ra được vật liệu có khả năng chống cháy tốt và tăng đáng kể tính chất nhiệt nhằm đáp ứng yêu cầu ứng dụng an toàn của các loại vật liệu polymer.

Từ khoá: PET phế thải, BHET, polyurethane xốp, phụ gia chống cháy phi halogen

Khoa Khoa học và Công nghệ Vật liệu,
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên,
ĐHQG-HCM, Việt Nam

Liên hệ

Phạm Thị Chi, Khoa Khoa học và Công nghệ
Vật liệu, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên,
ĐHQG-HCM, Việt Nam

Email: ptchi@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 20-01-2021
- Ngày chấp nhận: 24-3-2021
- Ngày đăng: 30-4-2021

DOI: 10.32508/stdjns.v5i2.1011



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



MỞ ĐẦU

Polyurethane xốp (PUF) là một loại polymer thương mại rất phổ biến trên thế giới, với hơn 90% lỗ xốp có cấu trúc kín nên có khả năng cách nhiệt và cách âm vượt trội, từ đó được ứng dụng nhiều trong xây dựng như dùng làm tấm cách nhiệt cho mái nhà và vách tường, dùng trong sản phẩm gia dụng như tủ đông, tủ lạnh, các thùng chứa hóa chất và thực phẩm, và các ống cách nhiệt^{1,2}. PUF thương mại hiện nay chủ yếu được tổng hợp từ polyol có nguồn gốc hóa dầu, nguồn năng lượng này có thể sẽ cạn kiệt trong tương lai chính vì vậy để đảm bảo tính phát triển bền vững thì việc sử dụng sản phẩm thay thế sản phẩm polyol thương mại là một điều tất yếu. Một trong số đó có thể kể đến việc sử dụng sản phẩm của quá trình glycol giải PET phế thải.

Poly(ethylene terephthalate) (PET) là một loại nhựa nhiệt dẻo quan trọng được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng thực tế như dệt may, bao bì, vật liệu đóng gói, và chai đựng nước. Tuy nhiên, việc sử dụng một cách chưa hợp lý các loại vật liệu khó hoặc không phân hủy sinh học đã dẫn đến sự tích tụ lớn lượng

rác thải ảnh hưởng trầm trọng đến môi trường, và PET đã trở thành vật liệu được tái chế nhiều nhất trong tất cả các loại vật liệu polymer ngày nay³. Một trong những phương pháp tái chế PET phế thải là tái chế hóa học, đây là quá trình chuyển đổi PET thành monomer/oligomer và các chất hóa học khác thông qua quá trình glycol giải toàn bộ hoặc một phần phân tử PET bằng các tác nhân glycol giải như ethylene glycol (EG), diethylene glycol, propylene glycol, poly(ethylene glycol) hoặc glycerol. Với tác nhân thủy giải PET là EG thì sản phẩm glycol giải chính thu được là bis(2-hydroxyethyl) terephthalate (BHET), một nguyên liệu để tổng hợp PET nguyên chất, nhựa polyester không bão hòa⁴⁻⁶, và polyurethane xốp^{3,7-9} (B-PUF). Quá trình này có thể là một giải pháp hiệu quả và hữu ích để giảm lượng lớn rác thải PET đang có ngoài môi trường và tạo ra các polymer kỹ thuật chất lượng cao nói chung cũng như khả năng thay thế sản phẩm hóa dầu trong PUF nói riêng. Một nhược điểm lớn của PUF và B-PUF là khả năng chịu nhiệt kém và rất dễ cháy, khi cháy sẽ phát sinh ra nhiều khí độc hại như carbon monoxide, các sản

Trích dẫn bài báo này: Minh N H T, Quỳnh H T D, Chi P T. **Nghiên cứu khả năng chống cháy, tính chất nhiệt, và tính chất hóa lý của vật liệu chống cháy polyurethane xốp từ poly(ethylene terephthalate) phế thải với sự hiện diện của phụ gia chống cháy phi halogen.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 5(2):1189-1197.

phẩm phân hủy dễ bay hơi của diol và isocyanate¹⁰. Do đó việc kết hợp sử dụng phụ gia chống cháy (FR) để tổng hợp PUF có khả năng chống cháy tốt là rất cần thiết. Trước đây, các loại FR chứa halogen được sử dụng rộng rãi do khả năng chống cháy hiệu quả tuy nhiên chúng rất có hại cho môi trường¹¹. Như một hệ quả, hướng nghiên cứu hiện nay chủ yếu tập trung vào hệ thống FR phi halogen, trong đó hợp chất phosphorus/phosphorus-nitrogen được biết đến là có hiệu quả cao và là một sự thay thế đầy hứa hẹn cho các FR chứa halogen^{11,12}. Phụ gia chống cháy aluminum hydrogen phosphonate (AHP), một loại phụ gia chống cháy phosphorus được nghiên cứu trong những năm gần đây, được cho là hiệu quả chống cháy tốt và ít gây độc với môi trường. Tuy nhiên, việc nghiên cứu tính chất của sản phẩm PUF chống cháy sử dụng phụ gia chống cháy AHP còn rất hạn chế. Trong một công bố trước đây¹³, khả năng chống cháy và tính chất hóa lý của B-PUF sử dụng AHP đã được nghiên cứu, tuy nhiên vật liệu B-PUF với sự hiện diện của 15 phph AHP chưa đạt tiêu chuẩn chống cháy tốt và một số yếu tố ảnh hưởng đến cấu trúc của vật liệu xốp chưa được khảo sát. Kế thừa những kết quả trong nghiên cứu trước, việc tối ưu hóa nhằm tăng khả năng chống cháy, khảo sát tính chất nhiệt, và hình thái học của vật liệu xốp B-PUF sử dụng phụ gia chống cháy AHP đã được quan tâm nghiên cứu.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Nguyên vật liệu

PET phế thải (được lấy từ chai nước Aquafina sau sử dụng) đã qua xử lý, EG và kẽm acetate dihydrate ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) là các hóa chất được sử dụng để tổng hợp BHET được cung cấp từ công ty Xilong - Trung Quốc. Sodium hydroxide (NaOH) và aluminum nitrate nonahydrate ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) được cung cấp bởi công ty hóa chất Xilong, Trung Quốc, và axit phosphorous (H_3PO_3) được mua được từ công ty hóa chất Ting Xin, Trung Quốc. Methylene diphenyl diisocyanate (MDI) được cung cấp bởi hãng DOW, Trung Quốc (Voracor CE101; 31,0% NCO, độ nhớt 210 mPa s (25°C) và tỉ trọng 1,23 g/cm³ (25°C)). Trong nghiên cứu này BHET và AHP được tổng hợp dựa theo quy trình của các bài báo trước đây của nhóm đã thực hiện^{8,14}.

Quy trình tổng hợp B-PUF có và không có phụ gia chống cháy

B-PUF được tổng hợp bằng phương pháp đổ khuôn (one-shot technique) với hàm lượng các thành phần chính được nêu trong Bảng 1. Quy trình thực hiện được mô tả như trên Hình 1, đầu tiên hỗn hợp BHET,

nước, và dầu silicone được gia nhiệt ở 112°C trong cốc sắt bằng bếp từ gia nhiệt cho đến khi hỗn hợp chảy lỏng hoàn toàn. Sau đó nhanh chóng đổ một lượng vừa đủ MDI và AHP vào hỗn hợp trên, khuấy bằng cánh khuấy sắt với tốc độ 1000 vòng/phút trong 25-35 giây, và luôn duy trì nhiệt độ trên 70°C. Cuối cùng đổ nhanh hỗn hợp vào khuôn sắt có kích thước 150 x 150 x 50 mm³. Sau khi quá trình nở xốp diễn ra hoàn toàn, mẫu được giữ trong tủ sấy 60°C trong 24 giờ.

Các phương pháp phân tích

Hình thái khoáng xốp được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (FE-SEM, Hitachi S-4800, Tokyo, Japan), mẫu được phủ một lớp dẫn platinum và điện áp gia tốc là 1 kV khi phân tích.

Khả năng chống cháy của B-PUF và B-PUF/AHP được khảo sát thông qua phương pháp Underwriters Laboratories Tests (UL-94) theo tiêu chuẩn ASTM D 635-98 cho đốt ngang (UL-94HB) và chuẩn ASTM D 3801-96 cho đốt dọc (UL-94V) với kích thước của mẫu là 127 x 13 x 10 mm³, mỗi chuẩn đánh giá sử dụng 5 thanh mẫu.

Tính chất nhiệt của B-PUF và B-PUF/AHP được khảo sát thông qua phương pháp nhiệt trọng lượng (TGA) bằng thiết bị Q500 Universal V4.5A TA theo tiêu chuẩn ASTM E1131-08 và ISO 11358-2:2005 ở khoảng nhiệt độ từ nhiệt độ phòng đến 800°C và khối lượng mẫu trong khoảng 5-10 mg với tốc độ gia nhiệt 10 °C/phút trong môi trường nitrogen.

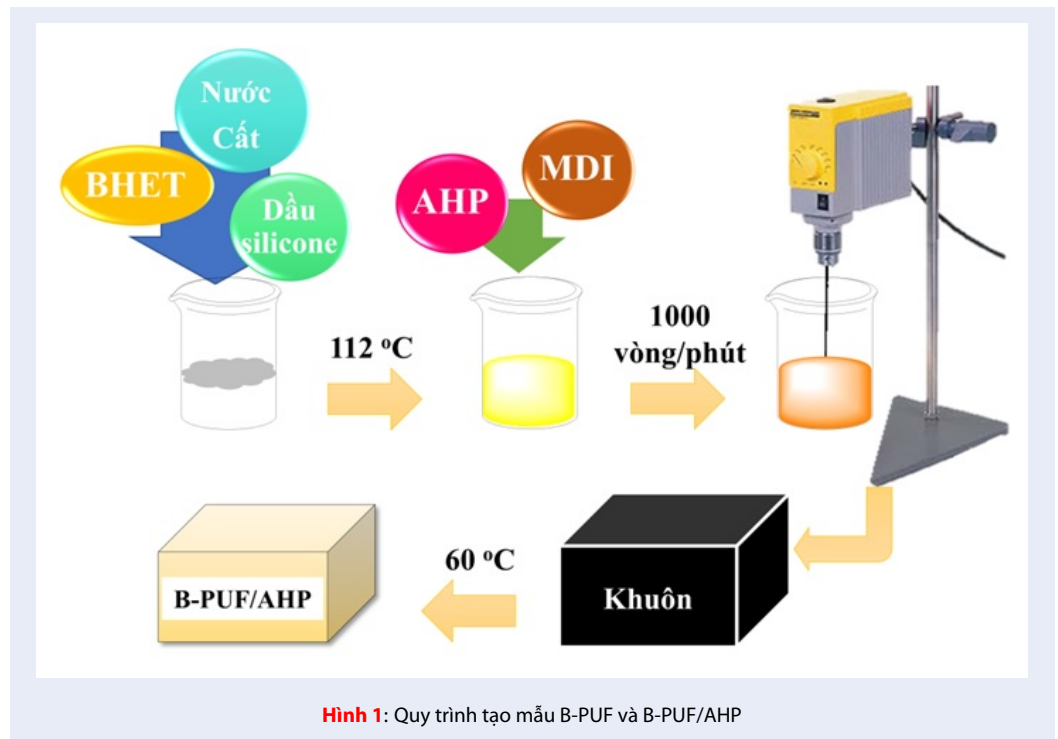
Tỉ trọng được xác định theo tiêu chuẩn EN 323. Tiến hành ghi nhận khối lượng của các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP có kích thước 50 x 50 x 25 mm³. Với m (kg) là khối lượng và V (m³) là thể tích của mẫu xốp, tỉ trọng được xác định bằng công thức (1.1).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

KẾT QUẢ VÀ BIỆN LUẬN

Khảo sát quá trình tạo mẫu B-PUF

Trong kĩ thuật đổ khuôn, điều quan trọng chính là tất cả các nguyên liệu được khuấy trộn hiệu quả trong khoảng thời gian thích hợp, đặc biệt khi thêm MDI chỉ được phép khuấy trộn trong thời gian ngắn¹. Vì vậy, để tối ưu quá trình tạo mẫu B-PUF, thời gian khuấy trộn từ lúc cho MDI vào hỗn hợp cho đến khi đổ khuôn và kích thước cánh khuấy đã được khảo sát. Thời gian khuấy được khảo sát ở hai mốc 25 giây và 35 giây. Như được thể hiện ở Hình 2a, khi mẫu khuấy trong thời gian 25 giây, kích thước lỗ xốp không đồng đều, quá trình tạo xốp chưa tốt, thành khoang xốp dày. Do đó, thời gian khuấy được tăng lên để



Hình 1: Quy trình tạo mẫu B-PUF và B-PUF/AHP

Bảng 1: Các hóa chất cần dùng để tạo mẫu B-PUF và B-PUF/AHP

Thành phần	Hàm lượng (php*)
BHET	100
MDI	100
Nước cát	3
Silicone	2
AHP	0 – 30

*php: là phần trăm theo BHET (g/g)

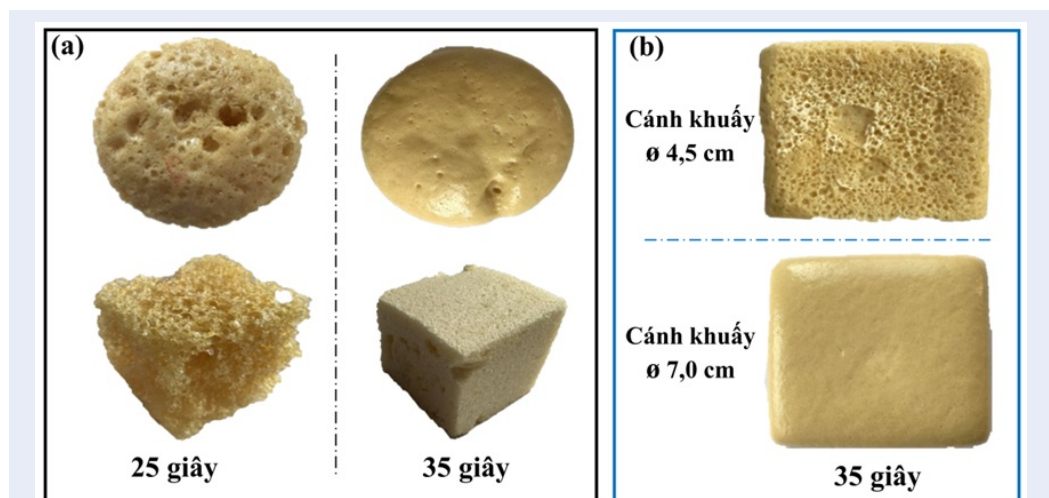
quá trình phản ứng diễn ra hoàn toàn, khi tăng lên 35 giây cho thấy B-PUF có hình thái bề mặt lỗ xốp mịn và lỗ xốp đồng đều hơn. Bên cạnh đó một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quá trình phối trộn đó là cánh khuấy, đặc biệt khi tạo mẫu B-PUF ở kích thước lớn hơn ($150 \times 150 \times 50 \text{ mm}^3$). Trong cùng thời gian khuấy 35 giây cánh khuấy đường kính 4,5 cm cho thấy B-PUF có bề mặt lỗ rỗng với sự xuất hiện của các lỗ xốp lớn nhỏ không đều, kết quả được cải thiện hơn hẳn khi thay đổi sang cánh khuấy đường kính 7,0 cm, bề mặt đã trở nên mịn và lỗ xốp đồng nhất (Hình 2b). Quy trình tạo mẫu với thời gian khuấy trộn là 35 giây và sử dụng cánh khuấy có đường kính 7,0 cm được sử dụng để tổng hợp các mẫu B-PUF chống cháy.

Phụ gia chống cháy sử dụng là AHP với hàm lượng khảo sát từ thấp đến cao cho đến khi mẫu có thể đạt hiệu quả chống cháy cao nhất, cụ thể là đạt tiêu chuẩn

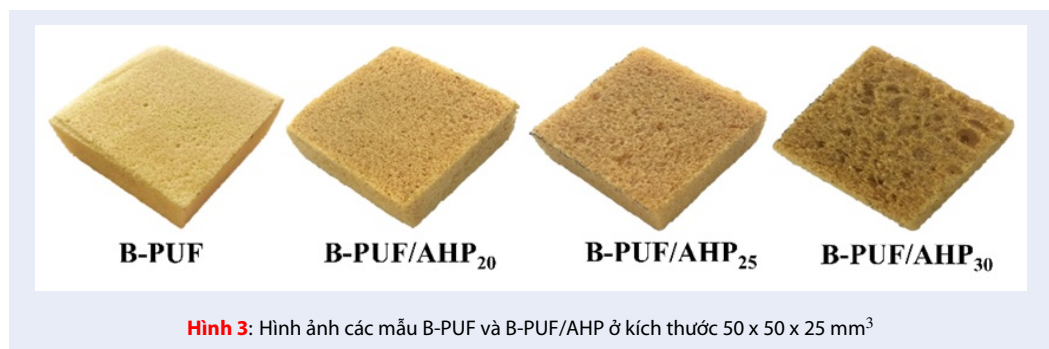
UL-94 HB và UL-94 V-0. Mẫu chứa hàm lượng AHP 20 và 25 php cho kết quả như Hình 3, với bề mặt lỗ xốp đồng đều, tuy nhiên khi tăng tới hàm lượng 30 php bề mặt mẫu trở nên không đồng đều với sự xuất hiện của nhiều lỗ xốp lớn.

Khả năng chống cháy

Kết quả khảo sát khả năng chống cháy của các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP thông qua phương pháp UL-94 được thể hiện ở Bảng 2 và Hình 4. B-PUF không đạt được chuẩn UL-94V (Hình 4a), kết quả UL-94HB (Hình 4b) cho thấy thanh mẫu bị cháy qua vạch 25 mm đầu tiên nhưng tốc độ cháy lan thấp (39,48 mm/phút) nhỏ hơn 40 mm/phút do đó mẫu đạt HB. Với sự hiện diện của 20 php AHP, mẫu không bị cháy lan qua vạch đầu tiên và đạt kết quả HB, mẫu B-PUF/AHP₂₀ đạt chuẩn và UL-94 V-1, tuy nhiên đây



Hình 2: Hình ảnh các mẫu B-PUF khảo sát: a) thời gian khuấy khác nhau, sử dụng cánh khuấy đường kính 4,5 cm và b) khảo sát hai loại cánh khuấy với đường kính (ø) 4,5 và 7,0 cm



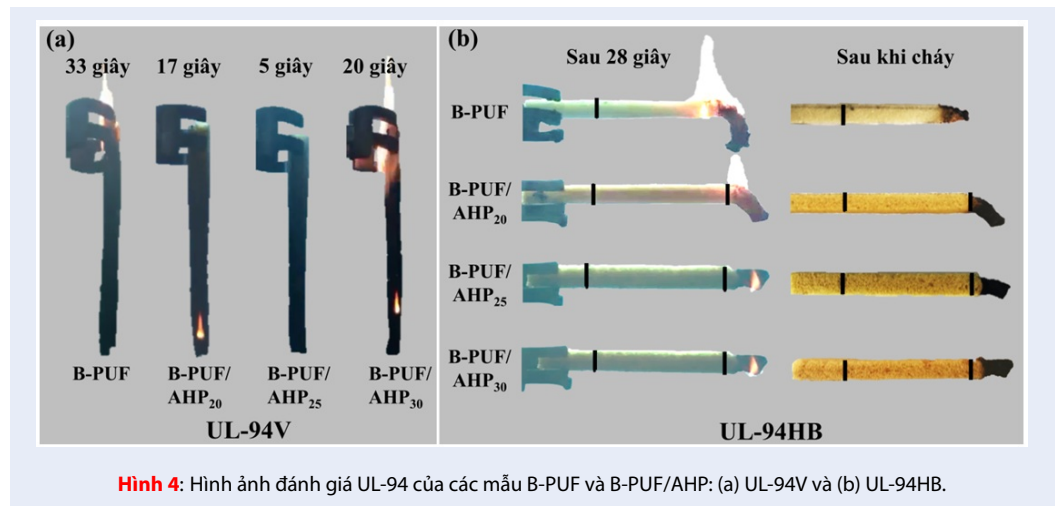
Hình 3: Hình ảnh các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP ở kích thước 50 x 50 x 25 mm³

Bảng 2: Kết quả UL-94 của các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP

Mẫu	UL-94HB	UL-94V	
		T* (giây)	Kết quả
B-PUF	HB	33	Không đạt**
B-PUF/AHP ₂₀	HB	17	V-1
B-PUF/AHP ₂₅	HB	5	V-0
B-PUF/AHP ₃₀	HB	20	Không đạt**

* Tổng thời gian cháy của mẫu sau 2 lần đốt

** Cháy tới giá đỡ mẫu



Hình 4: Hình ảnh đánh giá UL-94 của các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP: (a) UL-94V và (b) UL-94HB.

chưa phải là chuẩn chống cháy tốt nhất mà nghiên cứu hướng tới. Mẫu đạt V-0 khi tăng hàm lượng AHP lên 25 ph với thời gian cháy sau hai lần đốt của mẫu rút ngắn còn 5 giây và mẫu có khả năng tự dập tắt ngọn lửa trước vạch đầu tiên trong thử nghiệm UL-94 HB như trên Hình 4b. Ở hàm lượng AHP lớn hơn (30 ph), mẫu cho kết quả khả năng chống cháy giảm, tuy vẫn đạt chuẩn HB nhưng trong thử nghiệm UL-94V, mẫu đã không thể đạt được bất kì chuẩn nào vì ngọn lửa cháy đến giá giữ mẫu, điều này có thể do với hàm lượng AHP lớn, phụ gia không được phân tán đều trong B-PUF, ảnh hưởng đến quá trình tạo xốp với các lỗ xốp không đồng đều (Hình 3) từ đó làm giảm khả năng chống cháy. Như vậy mẫu B-PUF/AHP₂₅ là mẫu cho kết quả chống cháy tối ưu.

Tính chất nhiệt

Tính chất nhiệt của các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP được đánh giá thông qua phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng TGA trong môi trường nitrogen và kết quả được thể hiện ở Hình 5 và Bảng 3. Từ giản đồ Hình 5 có thể thấy B-PUF và B-PUF/AHP₂₅ đều có hai bước phân hủy nhiệt chính diễn ra tại hai khoảng nhiệt là 240 - 400°C và 400 - 650°C lần lượt liên quan đến quá trình phân hủy phân đoạn cứng và phân đoạn mềm trong mạch polyurethane¹⁵⁻¹⁷. Ở bước phân hủy thứ nhất mẫu chứa phụ gia chống cháy có độ mất khối lượng là 27,84% thấp hơn hẳn so với B-PUF (36,08%), kết quả cũng tương tự ở giai đoạn thứ hai B-PUF/AHP₂₅ có độ mất khối lượng thấp hơn mẫu trắng là 7,21%. Như vậy sự có mặt của AHP đã làm chậm tốc độ phân hủy nhiệt của B-PUF. AHP hoạt động chống cháy trong pha rắn¹⁸, hàm lượng lớp than rắn bên nhiệt tại 750°C khá lớn (74,34%), do đó đã góp phần làm tăng đáng kể hàm lượng rắn còn lại của

mẫu B-PUF/AHP₂₅. Kết quả thể hiện ở giá trị hàm lượng than rắn của B-PUF/AHP₂₅ ở 750°C (37,37%) lớn hơn so với B-PUF (23,52%). Lớp than rắn này cũng có vai trò như hàng rào cách nhiệt ngăn không cho nhiệt tiếp cận với nhựa nền từ đó làm giảm sự cháy trong B-PUF.

Tỉ trọng và hình thái khoang xốp

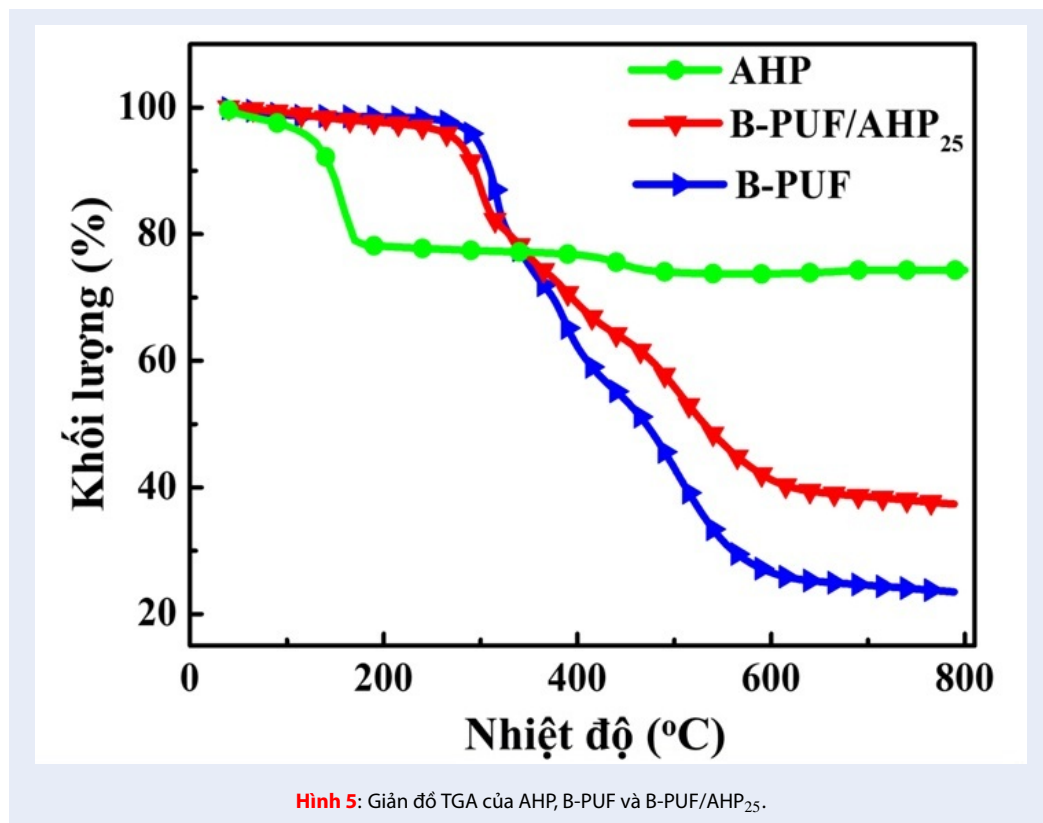
Tỉ trọng là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến các tính chất của vật liệu. Bảng 4 cho thấy tỉ trọng của mẫu B-PUF đạt 122,0 kg/m³, giá trị nằm trong khoảng giá trị cao đối với vật liệu PUF. Khi thêm AHP tỉ trọng của mẫu giảm dần, cụ thể giá trị của các mẫu B-PUF/AHP₂₀, B-PUF/AHP₂₅, và B-PUF/AHP₃₀ lần lượt là: 101,6; 90,8; và 78,1 kg/m³, như vậy việc thêm phụ gia chống cháy đã có ảnh hưởng tới quá trình tạo xốp của PUF. Khi kiểm tra hình thái cấu trúc xốp của vật liệu (Hình 6), có thể thấy đường kính lỗ xốp trung bình của B-PUF nhỏ hơn B-PUF/AHP₂₅ với giá trị tương ứng là 0,51 mm và 0,72 mm, đồng thời độ đồng đều của các lỗ xốp ở mẫu B-PUF/AHP₂₅ tốt hơn mẫu B-PUF. Kết quả cho thấy phụ gia AHP đã giúp cải thiện khả năng tạo xốp của của B-PUF, mẫu tạo thành có giá trị tỉ trọng nhỏ hơn.

KẾT LUẬN

B-PUF chống cháy đã được tổng hợp thành công từ BHET với sự tham gia của phụ gia chống cháy phi halogen AHP. Kết quả cho thấy khả năng chống cháy của vật liệu được cải thiện từ không thể đạt chuẩn chống cháy UL-94V đối với mẫu B-PUF thì khi thêm 25 ph AHP, mẫu B-PUF/AHP₂₅ đã đạt được chuẩn UL-94 V-0. Với sự hiện diện của AHP đã làm chậm tốc độ phân hủy nhiệt của B-PUF. AHP hoạt động

Bảng 3: Tóm tắt kết quả từ đường cong TGA của các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP₂₅

Mẫu	B-PUF	B-PUF/AHP ₂₅
Độ mất khối lượng (240 - 400°C) (%)	36,08	27,84
Độ mất khối lượng (400 - 650°C) (%)	37,09	29,88
Hàm lượng rắn tại 750°C (%)	23,52	37,37



Bảng 4: Kết quả tỉ trọng của các mẫu B-PUF và B-PUF/AHP.

Mẫu	Tỉ trọng (kg/m ³)
B-PUF	122,0
B-PUF/AHP ₂₀	101,6
B-PUF/AHP ₂₅	90,8
B-PUF/AHP ₃₀	78,1

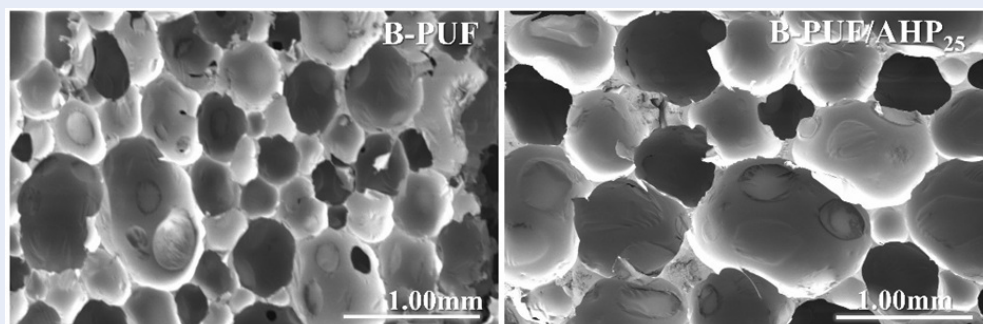
chống cháy trong pha rắn, hàm lượng lớp than rắn bền nhiệt tại 750°C khá lớn (74,34%), do đó đã góp phần làm tăng đáng kể hàm lượng rắn còn lại của mẫu B-PUF/AHP₂₅. Hàm lượng than rắn của B-PUF/AHP₂₅ ở 750°C (37,37%) lớn hơn so với B-PUF (23,52%). B-PUF có cấu trúc khoang xốp đồng đều đồng thời tỉ trọng của mẫu cũng giảm dần, quá trình tạo xốp tốt hơn khi thêm 25 phph phụ gia chống cháy phi halogen AHP.

LỜI CẢM ƠN

Đề tài được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T2020-24.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

AHP: Aluminum hydrogen phosphonate
BHET: Bis(2-hydroxyethyl) terephthalate
B-PUF: Polyurethane Foam based on BHET



Hình 6: Ảnh FE-SEM của mẫu B-PUF và B-PUF/AHP₂₅

EG: Ethylene glycol

FE-SEM: Field Emission Scanning Electron Microscopes

FR: Flame retardant

MDI: Methylene diphenyl diisocyanate

php: parts per hundred of BHET (polyol) by weight

PUF: Polyurethane Foam

TGA: Thermogravimetric analysis

UL-94: Underwriters Laboratories Tests

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả tuyên bố rằng không có xung đột lợi ích.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Nghiên cứu được thiết kế bởi tác giả Phạm Thị Chi, Nguyễn Hà Tuyết Minh, và Hoàng Thị Đông Quý. Tác giả Phạm Thị Chi, Nguyễn Hà Tuyết Minh xử lý kết quả, lên ý tưởng, và tham gia viết bài. Tác giả Hoàng Thị Đông Quý chỉnh sửa nội dung cho bản thảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ionescu M. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. iSmithers Rapra Publishing. 2005;.
2. Eaves D. Handbook of polymer foams. Rapra Technology Limited. 2004;.
3. Roy PK, Mathur R, Kumar D, Rajagopal C. Tertiary recycling of poly(ethylene terephthalate) wastes for production of polyurethane-polyisocyanurate foams. J Environ Chem Eng. 2013;1(4):1062-9; Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2013.08.019>.
4. Lu M, Kim S. Unsaturated polyester resins based on recycled PET: Preparation and curing behavior. J Appl Polym Sci. 2001;80(7):1052-7; Available from: <https://doi.org/10.1002/app.1189>.
5. Öztürk Y, Güçlü G. Unsaturated Polyester Resins Obtained from Glycolysis Products of Waste PET. Polym Plast Technol Eng. 2005;43(5):1539-52; Available from: <https://doi.org/10.1081/PPT-200030272>.
6. Zahedi AR, Rafizadeh M, Ghafarian SR. Unsaturated polyester resin via chemical recycling of off-grade poly(ethylene terephthalate). Polym Int. 2009;58(9):1084-91; Available from: <https://doi.org/10.1002/pi.2637>.
7. Li M, Luo J, Huang Y, Li X, Yu T, Ge M. Recycling of waste poly(ethylene terephthalate) into flame-retardant rigid polyurethane foams. J Appl Polym Sci. 2014;131(19):40857; Available from: <https://doi.org/10.1002/app.40857>.
8. Pham CT, Nguyen BT, Nguyen MT, Nguyen TH, Hoang CN, Ngan Nguyen N, et al. The advancement of bis(2-hydroxyethyl)terephthalate recovered from post-consumer poly(ethylene terephthalate) bottles compared to commercial polyol for preparation of high performance polyurethane. J Ind Eng Chem. 2021;93:196-209; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.09.024>.
9. Ghaderian A, Haghighi AH, Taromi FA, Abdeen Z, Boroomand A, Taheri SMR. Characterization of rigid polyurethane foam prepared from recycling of PET waste. Period Polytech Chem Eng. 2015;59(4):296-305; Available from: <https://doi.org/10.3311/PPCh.7801>.
10. Smith RJ, Holder KM, Ruiz S, Hahn W, Song Y, Lvov YM, et al. Environmentally benign halloysite nanotube multilayer assembly significantly reduces polyurethane flammability. Adv Funct Mater. 2018;28(27):1703289; Available from: <https://doi.org/10.1002/adfm.201703289>.
11. Crummett WB. Decades of dioxin: Limelight on a molecule. Xlibris Corp. 2002;.
12. Lu S-Y, Hamerton I. Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers. Prog Polym Sci. 2002;27(8):1661-712; Available from: [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(02\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00018-7).
13. Pham T, Hoang Q. Fireproof behavior of polyurethane foam based on waste poly(ethylene terephthalate) using aluminum hydrogen phosphonate flame retardant. Sci Technol Dev J - Nat Sci. 2019;2(2):88-94; Available from: <https://doi.org/10.32508/stdjns.v2i2.739>.
14. Pham LH, Nguyen DH, Kim J, Hoang DQ. Thermal properties and fire retardancy of polypropylene/wood flour composites containing eco-friendly flame retardants. Fibers Polym. 2019;20:2383-9; Available from: <https://doi.org/10.1007/s12221-019-1179-8>.
15. Chattopadhyay DK, Webster DC. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. Prog Polym Sci. 2009;34(10):1068-133; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002>.
16. Wang S-X, Zhao H-B, Rao W-H, Huang S-C, Wang T, Liao W, et al. Inherently flame-retardant rigid polyurethane foams with excellent thermal insulation and mechanical properties. Polymer 2018;153:616-25; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.08.068>.
17. Wang C, Wu Y, Li Y, Shao Q, Yan X, Han C, et al. Flame-retardant rigid polyurethane foam with a phosphorus-nitrogen single intumescent flame retardant. Polym Adv Technol. 2018;29(1):668-76; Available from: <https://doi.org/10.1002/pat.4105>.
18. Li Q, Li B, Zhang S, Lin M. Investigation on effects of aluminum and magnesium hypophosphites on flame retardancy and thermal degradation of polyamide 6. J Appl Polym Sci.

Study of flame retardancy, thermal and physical properties of rigid polyurethane foam based on recycled poly(ethylene terephthalate) using non-halogen flame retardant

Nguyen Ha Tuyet Minh, Hoang Thi Dong Quy, Pham Thi Chi*



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Bis(2-hydroxyethyl) terephthalate (BHET) obtained from waste poly(ethylene terephthalate) bottles was used to synthesize polyurethane foams (B-PUF) and the fireproof B-PUF in the presence of non-halogen flame retardant, namely, aluminum hydrogen phosphonate (AHP). Loading of 25 php AHP was needed for B-PUF/AHP to achieve UL-94 V-0 rating. The thermal stability of B-PUF was improved with the addition of AHP through the thermogravimetric analysis (TGA) results. In addition, other properties such as density and foam structure were also investigated. The outcomes of this study also confirmed that the B-PUF prepared from recycled PET not only were composed of a high percentage of waste poly(ethylene terephthalate), which could help reduce the amount of recycled polymer materials and improved waste management but also met the high demands for the fire safety of polymer applications.

Key words: Waste PET, BHET, Polyurethane foams, Non-halogen flame retardants

Faculty of Materials Science and Technology, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh, Vietnam

Correspondence

Pham Thi Chi, Faculty of Materials Science and Technology, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh, Vietnam

Email: ptchi@hcmus.edu.vn

History

- Received: 20-01-2021
- Accepted: 24-3-2021
- Published: 30-4-2021

DOI : 10.32508/stdjns.v5i2.1011



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Minh N H T, Quy H T D, Chi P T. Study of flame retardancy, thermal and physical properties of rigid polyurethane foam based on recycled poly(ethylene terephthalate) using non-halogen flame retardant. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 5(2):1189-1197.