Nghiên cứu sự ảnh hưởng của hàm lượng và phương pháp xử lý sợi thủy tinh đến tính chất của hạt nhựa compound chế tạo từ nhựa polyethylen tỷ trọng cao tái chế gia cường sợi thủy tinh ngắn bằng phương pháp ép đùn hai trục vít

Đặng Thảo Yến Linh*, Nguyễn Tiến Đạt, Đoàn Hoàng Linh, Nguyễn Ngọc Diệp, Tưởng Thị Nguyệt Ánh, Chu Xuân Quang*

Trung tâm Công nghệ Vật liệu, Viện Ứng dụng Công nghệ, C6, phường Thanh Xuân Bắc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 26/7/2024; ngày chuyển phản biện 1/8/2024; ngày nhận phản biện 21/8/2024; ngày chấp nhận đăng 24/8/2024

Tóm tắt:

Ô nhiễm môi trường do rác thải nhựa đang là vấn đề cấp bách toàn cầu, thúc đẩy các quốc gia tìm giải pháp giảm thiểu và tái chế nhựa. Nghiên cứu này tập trung vào việc phát triển vật liệu từ nhựa polyethylen tỷ trọng cao (HDPE) tái chế bằng cách kết hợp nhựa tái chế với sợi thủy tinh để tạo ra vật liệu composite ứng dụng trong xây dựng dân dụng. Nghiên cứu tiến hành khảo sát các yếu tố bao gồm: tỷ lệ phối trộn giữa các nguyên liệu chính, phương pháp xử lý sợi thủy tinh và tỷ lệ phối trộn phụ gia tương hợp để vật liệu đạt được tính chất mong muốn phù hợp cho ứng dụng trong xây dựng. Kết quả thử nghiệm cho thấy, tỷ lệ phối trộn HDPE tái chế/nguyên sinh là 80/20, kết hợp với 15% sợi thủy tinh đã qua xử lý bằng acetone và 3% phụ gia tương hợp Fusabond E528, tạo ra vật liệu có độ bền kéo đạt 15,59 MPa. Nghiên cứu khẳng định tiềm năng của vật liệu composite từ HDPE tái chế và sợi thủy tinh trong việc bảo vệ môi trường và tiết kiệm tài nguyên.

Từ khóa: **composite gia cường, polyethylen tỷ trọng cao, sợi thủy tinh, tái chế nhựa.**

Chỉ số phân loại: **2.4, 2.5, 2.11**

Investigation of the effects of fibreglass content and treatment techniques on the properties of compound granules produced from recycled high-density polyethylene reinforced with short fibreglass via twin-screw extrusion

Thao Yen Linh Dang*, Tien Dat Nguyen, Hoang Linh Doan, Ngoc Diep Nguyen, Thi Nguyet Anh Tuong, Xuan Quang Chu*

Center for Advanced Materials and Environmental Technology, National Center for Technological Progress, C6, Thanh Xuan Bac Ward, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam

Received 26 July 2024; revised 21 August 2024; accepted 24 August 2024

Abstract:

Environmental pollution from plastic waste is an urgent global issue, prompting countries to seek solutions for reducing and recycling plastic. This study focuses on developing materials from recycled high-density polyethylene (HDPE) by combining recycled plastic with glass fibres to create composite materials for civil construction applications. The research investigates factors including the mixing ratio of the main materials, the method of glass fibre treatment, and the compatibiliser mixing ratio to achieve desired properties suitable for construction applications. Experimental results show that a mixing ratio of 80/20 recycled/virgin HDPE combined with 15% glass fibres treated with acetone and 3% compatibiliser Fusabond E528 produces a material with a tensile strength of 15.59 MPa. The study confirms the potential of composite materials made from recycled HDPE and glass fibres in protecting the environment and conserving resources.

Keywords: **glass fibre, high-density polyethylene (HDPE), plastic recycling, reinforced composite.**

Classification numbers: **2.4, 2.5, 2.11**

**Tác giả liên hệ: Email: dangthaoyenlinh@gmail.com; quangcx@gmail.com*

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm môi trường, đặc biệt là từ rác thải nhựa, đang thu hút sự quan tâm của các chính quyền và người dân trên toàn thế giới. Quá trình đô thị hóa và tăng trưởng kinh tế nhanh chóng đã dẫn đến sự gia tăng sản xuất và tiêu thụ nhựa, gây ra vấn nạn "ô nhiễm trắng". Để giảm thiểu rác thải nhựa, các tổ chức môi trường quốc tế và nhiều quốc gia đang kêu gọi người dân hạn chế sử dụng sản phẩm nhựa và túi nilon, đồng thời khuyến khích sử dụng các sản phẩm thân thiện với môi trường [1]. Việc tái chế nhựa cũng đang được chính phủ các nước khuyến khích và đầu tư phát triển. Tại Việt Nam, ngày 20/08/2020, Thủ tướng Chính phủ đã ký ban hành Chỉ thị số 33/CT-TTg về tăng cường quản lý, tái sử dụng, tái chế, xử lý và giảm thiểu chất thải nhựa. Những mục tiêu cụ thể và các nhiệm vụ chiến lược đã được xác định, trong đó nhấn mạnh đến các hoạt động khoa học và công nghệ nhằm thúc đẩy, hỗ trợ các nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và công nghệ liên quan đến tái chế và xử lý chất thải nhựa; thẩm định quy chuẩn kỹ thuật quốc gia liên quan đến tái chế và xử lý chất thải nhựa. Tiếp đó, ngày 30/12/2020, Thủ tướng Chính phủ đã ban hành Quyết định số 38/2020 QĐ-TTg về Danh mục công nghệ cao được ưu tiên đầu tư phát triển và Danh mục sản phẩm công nghệ cao được khuyến khích phát triển. Quyết định có hiệu lực từ ngày 15/02/2021, trong đó lĩnh vực vật liệu được ưu tiên đầu tư và khuyến khích phát triển bao gồm công nghệ tái chế polyme, vật liệu polyme tái chế, vật liệu polyme tiên tiến và composite nền cao phân tử chất lượng cao sử dụng trong môi trường khắc nghiệt, bền với khí hậu nhiệt đới... Trên cơ sở đó, việc nghiên cứu xây dựng quy trình tái chế nhựa cũng như ứng dụng nhựa tái chế trong các lĩnh vực khác nhau của đời sống xã hội nhằm kéo dài vòng đời của nguyên liệu nhựa là yêu cầu cấp thiết, tất yếu. Lĩnh vực đời sống xã hội, lĩnh vực xây dựng dân dụng, đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế của mỗi quốc gia, việc kết hợp sản xuất vật liệu xây dựng với tái chế nhựa, không chỉ bảo vệ môi trường mà còn mang lại lợi ích kinh tế như tiết kiệm tài nguyên, giảm chi phí xây dựng, tạo việc làm và thúc đẩy phát triển nền kinh tế tuần hoàn.

Một trong số các loại nhựa đã được tái chế nhiều là HDPE. Đặc tính chung của các sản phẩm được chế tạo từ HDPE là bền bỉ, không bị bạc màu, oxy hóa hoặc kiềm hóa, không bị rão. Ngoài ra, chất liệu này còn chịu va đập và nhiệt rất tốt [2]. Với những ưu điểm trên, nhựa HDPE tái chế được đánh giá là phù hợp sử dụng cho các ứng dụng xây dựng dân dụng. Các nghiên cứu nhận thấy rằng, nhựa tái chế nên được tách ra để sản xuất một thế hệ nhựa mới với các đặc tính tương đương với nhựa nguyên sinh, tuy nhiên trong thực tế việc đảm bảo tính chất cơ học của các loại nhựa tái chế gặp không ít khó khăn bởi việc trải qua nhiều lần gia nhiệt làm ảnh hưởng đáng kể đến tính chất của nhựa nền. Vì vậy, để có thể sử dụng nhựa HDPE tái chế trong xây dựng dân dụng cần lựa chọn được vật liệu gia cường phù hợp để tăng cường tính chất cơ lý cho vật liệu.

Sợi thủy tinh là một trong những vật liệu gia cường hiệu quả nhất cả về tính chất và chi phí cho nhựa nhiệt dẻo tái chế. Chúng có thể được cung cấp bởi nhiều nhà sản xuất và quy trình sản xuất sợi thủy tinh khá tiết kiệm năng lượng, do đó việc sử dụng không ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả môi trường [3]. Hơn nữa, sử dụng sợi thủy tinh gia cường cho nhựa nhiệt dẻo tái chế có sự cải thiện hơn về tính chất cơ lý so với các loại sợi gia cường khác như sợi gỗ, các loại sợi tự nhiên [4]. Sợi thủy tinh có độ bền cao, khả năng chống hóa chất và cách điện tốt [5, 6]. Gia cường sợi thủy tinh từ 10-40% trọng lượng sẽ làm tăng đáng kể độ bền cơ học của nhựa tái chế, độ bền kéo và môđun kéo có thể được tăng lên đến 2,5-3,5 lần với việc bổ sung 30% sợi thủy tinh [4]. Tuy nhiên, sợi thủy tinh là vật liệu vô cơ còn nhựa nhiệt dẻo tái chế là vật liệu hữu cơ. Hai vật liệu này tự nhiên không tương thích và không tạo liên kết bền. Chính vì vậy, vấn đề đặt ra cần giải quyết là nghiên cứu sử dụng các loại phụ gia tương hợp để cải thiện độ kết dính bề mặt giữa sợi gia cường và nhựa, từ đó sẽ dẫn đến việc truyền ứng suất hiệu quả hơn và làm tăng độ bền cơ học của nhựa tái chế [7]. Ngoài ra, các tính chất cơ học của sợi thủy tinh không chỉ bị ảnh hưởng bởi bề mặt kết dính giữa sợi thủy tinh và nền polyme, mà còn chịu ảnh hưởng bởi chiều dài và đường kính của các sợi cũng như bởi phần thể tích, định hướng và phân bố trong hỗn hợp [8]. Do đó, các tác nhân ghép nối hoặc các chất phụ gia phản ứng cần được sử dụng để cải thiện độ kết dính giữa sợi thủy tinh và nhựa nền polyme [6]. Có hai yếu tố ảnh hưởng đến độ bền liên kết giữa bề mặt các thành phần của vật liệu composite là lực ma sát giữa các thành phần và lực liên kết tạo ra do tương tác hóa học hoặc vật lý. Lực liên kết do tương tác hóa học hoặc vật lý phụ thuộc vào tính chất bề mặt của sợi thủy tinh, còn lực ma sát phụ thuộc chủ yếu vào đường kính sợi. Do đó, mục đích của việc xử lý sợi thủy tinh là giúp tăng sự liên kết giữa bề mặt các thành phần của vật liệu composite, hay nói cách khác là tăng cường sự liên kết giữa nhựa nền và sợi thủy tinh gia cường. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, sợi thủy tinh được xử lý sẽ kết hợp tốt hơn với nền nhựa, đảm bảo phân tán đều và tạo liên kết mạnh mẽ giữa sợi và nhựa. Kết quả sẽ giúp cải thiện tính chất cơ học của vật liệu composite như độ bền, độ cứng và khả năng chịu lực [9]. Trong ngành công nghiệp nhựa, Fusabond là một loại phụ gia tương hợp thường được sử dụng để cải thiện sự tương thích giữa các loại polyme khác nhau trong các hỗn hợp nhựa. Điều này đặc biệt hữu ích khi trộn các loại nhựa khác nhau như HDPE tái chế và HDPE nguyên sinh, hoặc khi gia cường nhựa với các vật liệu khác như sợi thủy tinh. Trong nghiên cứu này, Fusabond E528, một loại LDPE gắn với nhóm chức anhydride, được sử dụng làm phụ gia trợ tương hợp để cải thiện tính kết dính, độ bền và khả năng chịu nhiệt của sản phẩm [10].

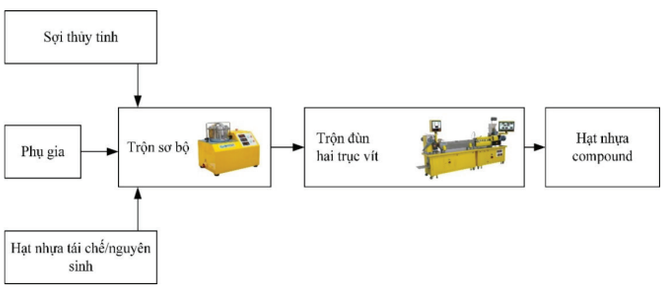
Nghiên cứu này sẽ tập trung khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến tính chất của vật liệu làm từ HDPE tái chế và sợi thủy tinh dạng ngắn.

2. Vật liệu và phương pháp thực nghiệm

2.1. Nguyên vật liệu

Nguyên vật liệu chính sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: HPDE tái chế được mua từ làng nghề tái chế nhựa tại Hưng Yên. HDPE nguyên sinh được mua từ Công ty TNHH Thương mại và Xuất nhập khẩu Sông Hồng có tỷ trọng 0,946 g/cm^3, chỉ số chảy (2,16 kg, 190^{o}C) đạt 7,4 g/10 phút. Sợi thủy tinh dạng ngắn (E-glass) với đường kính sợi 9-13 µm, chiều dài 12-18 mm và tỷ trọng là 2,5 gm/cm^3 mua tại Trung Quốc. Phụ gia trợ tương hợp Fusabond E528 tỷ trọng 0,922 g/cm^3, chỉ số chảy (2,16 kg, 190^{o}C) đạt 6,7 g/10 phút với nhiệt độ nóng chảy là 114^{o}C được mua từ Thái Lan. Phụ gia tương hợp titanate LICA-38 với số CAS 103432-54-8, với tỷ trọng 1,13 g/cm^3 và độ nhớt <5000 cps mua từ Trung Quốc.

Quy trình chế tạo hạt nhựa compound cốt sợi thủy tinh từ nhựa tái chế: Quy trình chế tạo hạt nhựa được thực hiện theo quy trình trong hình 1.



Hình 1. Quy trình chế tạo hạt nhựa compound.

Nguyên vật liệu được xử lý và cân định lượng theo đơn phối liệu sau đó được trộn hợp sơ bộ. Hỗn hợp sau đó được đưa vào máy đùn hai trục vít Labtech LTE16-52 để làm nóng chảy và trộn đều các nguyên liệu. Máy đùn hai trục vít có tỷ số L/D=52 với 13 vùng điều chỉnh nhiệt độ đảm bảo sự trộn hợp đồng nhất của sợi thủy tinh và nhựa HDPE tái chế. Các điều kiện vận hành của máy đùn hai trục vít được mô tả ở bảng 1.

Bảng 1. Điều kiện vận hành của máy đùn hai trục vít.

Tốc độ trục vít	Áp suất đầu ra	Vùng nhiệt độ (°C)												
		1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*Đầu ra*
350 vòng/phút	51 PSI	175	175	175	180	180	180	185	185	190	190	195	195	190

Hỗn hợp được đùn ra khỏi đầu đùn ở dạng sợi. Sau đó được đưa vào máy cắt hạt để tạo hạt nhựa compound. Hạt nhựa compound được sấy nhằm loại bỏ ẩm trong quá trình làm nguội ở giai đoạn đùn. Các mẫu hạt nhựa chế tạo được đem đi xác định các tính chất đặc trưng. Hạt nhựa compound được chế tạo thành các mẫu cho quá trình khảo sát tính chất của vật liệu.

2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm 1: Khảo sát tỷ lệ nhựa HDPE tái chế/nguyên sinh. Điều kiện thí nghiệm: Tỷ lệ nhựa HDPE tái chế/nguyên sinh: 100/0 (đối chứng), 90/10, 80/20, 70/30, 60/40. Chế độ gia công của máy đùn hai trục vít như bảng 1. Chỉ tiêu theo dõi: độ bền kéo và chỉ số chảy.

Thí nghiệm 2: Khảo sát ảnh hưởng của phương pháp xử lý sợi thủy tinh. Điều kiện thí nghiệm: Các phương pháp xử lý sợi thủy tinh: không xử lý (đối chứng); ngâm sợi thủy tinh trong aceton trong 1 giờ, sau đó sấy ở 80°C trong 60 phút (mẫu AS); ngâm sợi thủy tinh trong dung dịch của phụ gia trợ tương hợp LICA-38 và isopropyl alcohol trong 24 giờ, sau đó sấy 90 phút ở 65°C (mẫu LICA). Chế độ gia công của máy đùn hai trục vít như bảng 1, tỷ lệ HPDE tái chế/nguyên sinh xác định được từ thí nghiệm 1, hàm lượng sợi thủy tinh 15%. Chỉ tiêu theo dõi: độ bền kéo và ảnh chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM).

Thí nghiệm 3: Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng sợi thủy tinh. Điều kiện thí nghiệm: Hàm lượng sợi thủy tinh: 0% (đối chứng), 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. Chế độ gia công của máy đùn hai trục vít như bảng 1, tỷ lệ HPDE tái chế/nguyên sinh xác định được từ thí nghiệm 1, sợi thủy tinh được xử lý theo phương pháp xác định được từ thí nghiệm 2. Chỉ tiêu theo dõi: độ bền kéo và phân tích nhiệt trọng lượng (TGA).

Thí nghiệm 4: Khảo sát ảnh hưởng của phụ gia trợ tương hợp. Điều kiện thí nghiệm: Hàm lượng phụ gia trợ tương hợp Fusabond: 0% (đối chứng), 1%, 2%, 3%, 4%, 5%. Chế độ gia công của máy đùn hai trục vít như bảng 1, tỷ lệ HPDE tái chế/nguyên sinh xác định được từ thí nghiệm 1, sợi thủy tinh được xử lý theo phương pháp xác định được từ thí nghiệm 2, hàm lượng sợi thủy tinh xác định được từ thí nghiệm 3. Chỉ tiêu theo dõi: độ bền kéo, độ dãn dài khi đứt.

2.3. Phương pháp phân tích

Chỉ số chảy của hạt nhựa (MFI): được đo bằng Amade Tech Melt Flow Indexer ở nhiệt độ 190^{o}C, trọng lượng 2,16 kg, theo tiêu chuẩn ASTM D1238. Độ bền kéo đứt và độ dãn dài khi đứt được đo bằng thiết bị đo cơ lý đa năng Instron theo tiêu chuẩn ASTM D638.

Phân tích nhiệt trọng lượng (TGA): được thực hiện bằng thiết bị Mettler Toledo TGA/DSC 3+. Các mẫu hạt nhựa compound được khảo sát từ 25^{o}C đến 600^{o}C với tốc độ gia nhiệt 20^{o}C/phút dưới sự có mặt của nitơ.

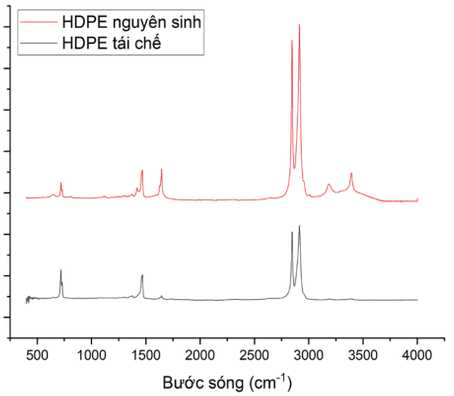
Phân tích phổ hồng ngoại FT IR: trong dải số sóng từ 400l đến 4000 cm^{-1} ở độ phân giải 4 cm^{-1} bằng máy quang phổ Thermo Scientific Nicolet iS20.

Chụp ảnh SEM: được thực hiện trên thiết bị Hitachi Tabletop Microscopes TM4000 dưới điện áp 10 kV.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Khảo sát ảnh hưởng tỷ lệ nhựa polyethylen tỷ trọng cao tái chế và nguyên sinh

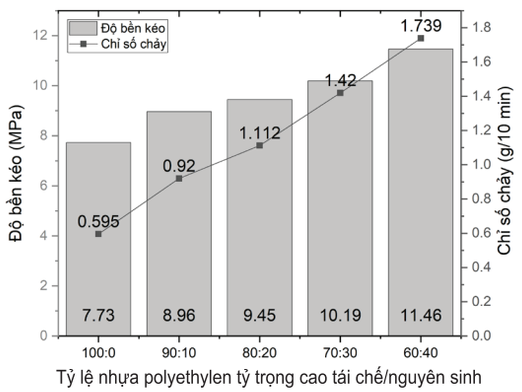
Phổ hồng ngoại của nhựa HDPE tái chế và nhựa HDPE nguyên sinh được xác định, kết quả thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Phổ hồng ngoại của nhựa polyethylen tỷ trọng cao tái chế và nguyên sinh.

Phân tích phổ hồng ngoại của nhựa HPDE tái chế và nguyên sinh nhận thấy phổ hồng ngoại của cả hai loại nhựa đều có các đỉnh tương tự nhau. Đỉnh ở 1470 cm^{-1} tương ứng với dao động cắt của -CH_2 của polyethylen, trong khi đỉnh ở 700 cm^{-1} thể hiện dao động uốn của liên kết C-H. Các đỉnh ở trong bước sóng từ 2800 đến 3000 cm^{-1} tương ứng với dao động kéo giãn các liên kết aliphatic-CH_x đối xứng và không đối xứng.

Với mục tiêu tăng tính chất cơ lý cho nhựa HDPE tái chế, thí nghiệm khảo sát 5 mẫu trộn hỗn hợp giữa nhựa HDPE tái chế và nguyên sinh với các tỷ lệ khác nhau, kết quả kiểm tra độ bền kéo và chỉ số chảy được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. Độ bền kéo và chỉ số chảy của các mẫu nhựa.

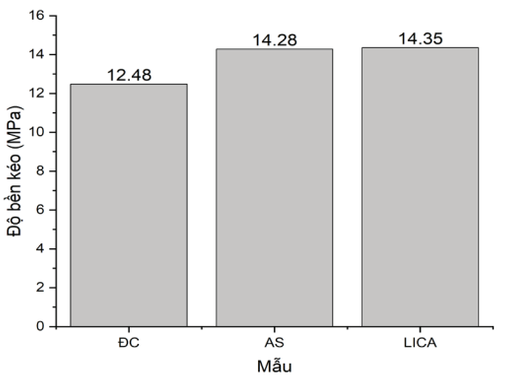
Kết quả cho thấy, cả độ bền kéo và chỉ số chảy đều tăng khi tỷ lệ HDPE nguyên sinh tăng lên. Điều này chứng tỏ rằng việc bổ sung HDPE nguyên sinh vào HDPE tái chế đã cải thiện đáng kể tính chất cơ học và khả năng gia công của vật liệu. Cụ thể, nhựa HDPE tái chế có độ bền kéo và chỉ số chảy đạt lần lượt là 7,73 MPa và 0,595 g/10 phút, sau khi bổ sung lên đến 40% HDPE nguyên sinh, vật liệu đạt độ bền kéo 11,46 MPa và chỉ số chảy 1,739 g/10 phút, tương đương tăng 48% về độ bền kéo và 192% về chỉ số chảy.

Với tỷ lệ giữa nhựa HDPE tái chế và nguyên sinh là 80/20 sẽ đảm bảo hài hòa giữa các yếu tố kỹ thuật, kinh tế và bảo vệ môi trường. Cụ thể là, sử dụng tỷ lệ HDPE tái chế cao hơn (80%) sẽ giúp giảm lượng nhựa thải ra môi trường, điều này góp phần hỗ trợ các nỗ lực bảo vệ môi trường và giảm thiểu ô nhiễm tự nhựa tái chế; ngoài ra, nhựa HDPE tái chế thường có chi phí thấp hơn so với HDPE nguyên sinh do đó việc sử dụng tỷ lệ tái chế cao hơn có thể giúp giảm chi phí sản xuất.

Do đó, nghiên cứu đã sử dụng nhựa nền với tỷ lệ 80:20 giữa HDPE tái chế và HDPE nguyên sinh, ở tỷ lệ này vật liệu có độ bền kéo đạt 9,45 MPa (tăng 22% so với HDPE tái chế) và chỉ số chảy đạt 1,112 g/10 phút (tăng 87% so với HDPE tái chế).

3.2. Khảo sát ảnh hưởng của phương pháp xử lý sợi thủy tinh

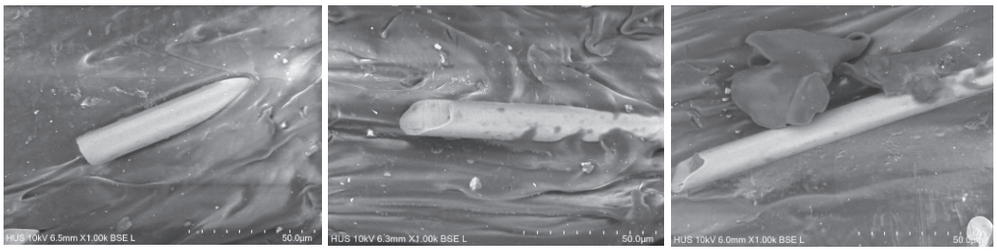
Trong thí nghiệm này, hai phương pháp xử lý sợi được sử dụng như đã miêu tả trong mục 2.3. Kết quả đánh giá hiệu quả của quá trình xử lý sợi được thể hiện ở hình 4.



Hình 4. Tính chất cơ học của vật liệu composite được gia cường 15% sợi thủy tinh đã xử lý và chưa xử lý.

Từ kết quả thực nghiệm ở hình 4 cho thấy, mẫu vật liệu composite được chế tạo từ nhựa tái chế gia cường sợi thủy tinh đã qua xử lý bằng cách ngâm trong aceton có độ bền kéo cao hơn khi so sánh với mẫu đối chứng (sợi thủy tinh chưa qua xử lý). Đối với mẫu sợi thủy tinh được xử lý bằng LICA-38, đây là phụ gia tăng dính titanate được sử dụng để cải thiện độ bám dính giữa các thành phần của vật liệu composite, đặc biệt là giữa sợi gia cường và nhựa nền. Chúng hoạt động bằng cách tương tác hóa học với cả sợi và nhựa, tạo ra các liên kết mạnh hơn và ổn định hơn, giúp tăng cường tính chất cơ lý của vật liệu. Kết quả cho thấy, sợi được xử lý với LICA-38 khi kết hợp với nhựa nền tạo được vật liệu có độ bền kéo được cải thiện rõ rệt, tuy nhiên khi so sánh với sợi xử lý bằng acetone thì độ bền kéo của mẫu AS cũng thấp hơn không đáng kể. Thêm vào đó, acetone có ưu điểm nổi bật khi sử dụng để xử lý sợi thủy tinh nhờ chi phí thấp, dễ tiếp cận, acetone không chỉ mang lại tính kinh tế mà còn giảm thiểu thời gian và công sức tiêu tốn trong quá trình sản xuất.

Kính SEM đã được sử dụng để đánh giá hình thái của vật liệu composite chế tạo từ nhựa tái chế HDPE gia cường bằng sợi thủy tinh. Kết quả khảo sát bằng ảnh SEM đối với các mẫu vật liệu composite gia cường sợi thủy tinh với các quy trình xử lý sợi khác nhau được hiển thị ở hình 5.



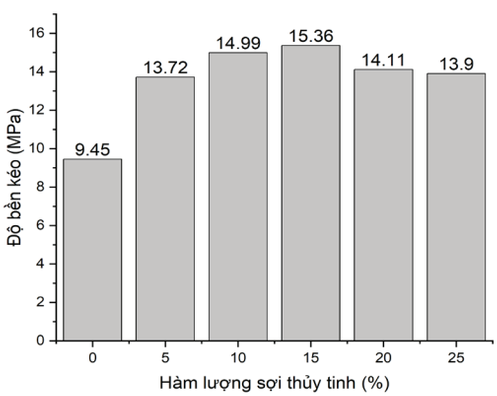
Mẫu ĐC **Mẫu AS** **Mẫu LICA**

Hình 5. Ảnh chụp kính hiển vi điện tử quét của các mẫu xử lý sợi khác nhau.

Từ kết quả ảnh SEM nhận được cho thấy, khả năng phân tán của sợi thủy tinh trong nhựa nền khác nhau giữa các mẫu vật liệu. Cụ thể là, với mẫu vật liệu có sợi thủy tinh không được xử lý (mẫu ĐC), hình ảnh cho thấy bề mặt phân chia giữa sợi thủy tinh và nhựa nền rõ ràng hơn, điều đó chứng tỏ liên kết giữa sợi với nhựa nền kém hơn. Ngược lại, với các mẫu vật liệu sử dụng sợi thủy tinh gia cường đã qua xử lý như ngâm với acetone (mẫu AS) hay xử lý với LICA-38 (mẫu LICA) cho thấy nhựa nền có liên kết tốt hơn với sợi gia cường. Điều này cũng được khẳng định trong thử nghiệm cơ lý của vật liệu composite, độ bền kéo được cải thiện đáng kể khi so sánh giữa các mẫu vật liệu có sợi thủy tinh được xử lý bề mặt và không xử lý bề mặt (với mẫu ĐC đạt 12,48 MPa; mẫu AS và mẫu LICA đạt độ bền kéo lần lượt là 14,28 MPa và 14,35 MPa).

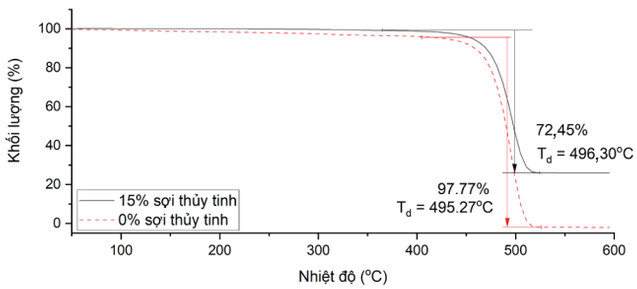
3.3. Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng sợi thủy tinh

Hình 6 thể hiện độ bền kéo của vật liệu composite chế tạo từ HPDE tái chế/nguyên sinh (với tỷ lệ 80:20) được gia cường bằng sợi thủy tinh (đã qua xử lý bằng acetone) với các hàm lượng khác nhau.



Hình 6. Độ bền kéo của vật liệu composite với hàm lượng sợi thủy tinh gia cường (0, 5, 10, 15, 20 và 25%).

Kết quả cho thấy, hàm lượng sợi thủy tinh có ảnh hưởng đáng kể đến độ bền của vật liệu composite trên cơ sở nhựa tái chế gia cường sợi thủy tinh. Khi hàm lượng sợi thủy tinh tăng lên, độ bền kéo của vật liệu cũng tăng theo. Tuy nhiên, nếu hàm lượng sợi quá cao, vật liệu có thể trở nên giòn và dễ gãy hơn. Do đó, việc xác định hàm lượng sợi thủy tinh tối ưu là rất quan trọng để đạt được sự cân bằng giữa độ bền và độ dẻo dai của vật liệu composite. Tại thí nghiệm này, 6 công thức thí nghiệm được tiến hành với hàm lượng sợi thủy tinh gia cường được bổ sung tăng dần từ 0 đến 25% phần khối lượng (0, 5, 10, 15, 20 và 25%). Kết quả thử nghiệm cho thấy, vật liệu composite đạt độ bền kéo tối đa tại hàm lượng sợi thủy tinh 15%, với độ bền kéo tăng 62,5% so với mẫu nhựa nền. Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng giữa mẫu đối chứng chứa 0% sợi thủy tinh và mẫu chứa 15% sợi thủy tinh được mô tả ở hình 7.

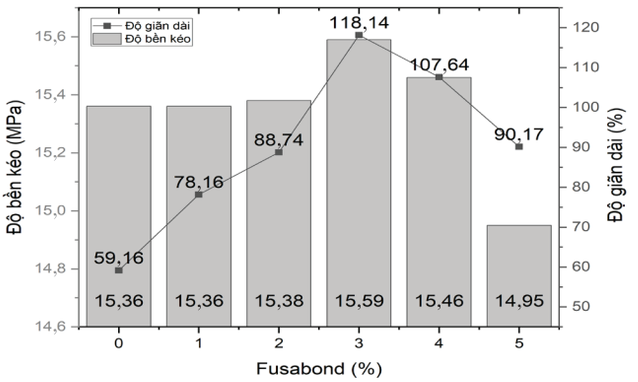


Hình 7. Phân tích nhiệt trọng lượng của vật liệu có chứa và không chứa sợi thủy tinh.

Kết quả cho thấy, hàm lượng sợi thủy tinh không chỉ ảnh hưởng đáng kể đến độ bền kéo của vật liệu composite mà còn liên quan mật thiết đến sự ổn định nhiệt của vật liệu. Vật liệu composite không chứa sợi thủy tinh có nhiệt độ phân hủy là 495,27°C, thấp hơn khoảng 1°C so với vật liệu chứa 15% khối lượng sợi thủy tinh, ở mức 496,30°C. Khi vật liệu không chứa sợi thủy tinh được nung nóng đến 500°C, phần khối lượng còn lại chiếm khoảng 1-2%. Điều này có thể do hàm lượng phụ gia còn tồn đọng trong nhựa HDPE tái chế, vì nguyên liệu tái chế HDPE có nguồn gốc từ nhiều nguồn khác nhau và dư lượng này có thể là titan oxit, một phụ gia thường dùng để nhuộm màu nhựa. Với vật liệu chứa 15% hàm lượng sợi thủy tinh, ở nhiệt độ trên 500°C, vẫn còn một phần khối lượng chưa bị phân hủy của sợi thủy tinh, điều này cho thấy, sợi thủy tinh đóng vai trò bảo vệ cấu trúc của vật liệu trước sự phân hủy nhiệt. Sợi thủy tinh, với nhiệt độ nóng chảy lên tới 1400°C, không bị ảnh hưởng trong khoảng nhiệt độ nghiên cứu (25°C đến 550°C), làm cho composite giữ được tính ổn định cơ học ngay cả ở nhiệt độ cao.

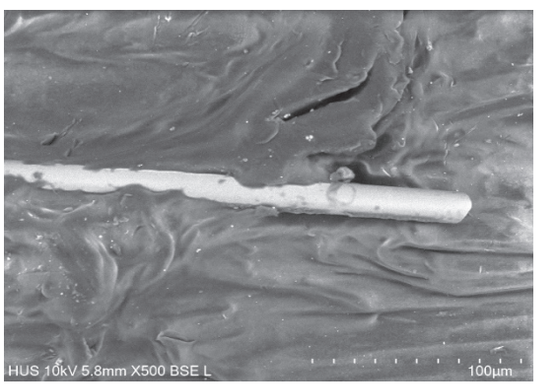
3.4. Khảo sát ảnh hưởng của phụ gia tương hợp

Các hàm lượng Fusabond khác nhau (từ 0 đến 5%) được bổ sung vào hỗn hợp phối trộn của nhựa nền và sợi thủy tinh đã qua xử lý. Độ bền kéo của các mẫu được thể hiện ở hình 8.



Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng Fusabond đến tính chất cơ học của vật liệu.

Kết quả cho thấy rằng, khi hàm lượng Fusabond tăng từ 0 đến 3%, độ bền kéo của vật liệu composite có sự tăng nhẹ, bên cạnh đó độ giãn dài của vật liệu tăng mạnh. Tuy nhiên, khi tăng lên đến 5%, tính chất cơ học của vật liệu bị giảm mạnh cả về độ bền kéo và độ giãn dài khi đứt của vật liệu. Điều này được giải thích là do nhựa nền của Fusabond là polyethylene mật độ thấp (LDPE), có độ bền kéo thấp hơn HDPE. Khi bổ sung đến 3%, tương tác giữa sợi thủy tinh và nhựa nền được hỗ trợ bởi Fusabond, làm cho độ bền kéo và độ giãn dài của vật liệu tăng lên. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng Fusabond lên trên 5%, do thành phần của Fusabond là LDPE đã làm giảm đi tính cơ học của vật liệu composite.



Hình 9. Ảnh kính hiển vi điện tử của mẫu vật liệu với 3% Fusabond.

Ảnh SEM bề mặt gãy của vật liệu composite HDPE gia cường sợi thủy tinh, với hàm lượng phụ gia trợ tương hợp Fusabond 3% được thể hiện trên hình 9. Kết quả cho thấy, sợi thủy tinh được liên kết tốt với nhựa nền. Việc bổ sung Fusabond không chỉ cải thiện tính chất cơ học mà còn tăng cường độ bền kéo và độ dãn dài của vật liệu composite. Điều này chứng tỏ rằng, phụ gia tương hợp Fusabond đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa sự tương thích giữa sợi thủy tinh và nhựa nền.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã tiến hành khảo sát và phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến tính chất cơ học của vật liệu composite chế tạo từ nhựa HDPE tái chế gia cường sợi thủy tinh. Kết quả đã xác định được tỷ lệ giữa nhựa HDPE tái chế và nguyên sinh là 80/20, giúp tối ưu hóa tính chất kỹ thuật và kinh tế của vật liệu. Xử lý sợi thủy tinh bằng cách ngâm trong acetone và sấy khô đã được lựa chọn để cải thiện độ bám dính với nhựa nền. Hàm lượng sợi thủy tinh gia cường thích hợp nhất là 15%, đảm bảo cân bằng giữa độ bền cơ học và độ dẻo dai của vật liệu. Tỷ lệ phụ gia trợ Fusabond với hàm lượng 3% được lựa chọn để nâng cao chất lượng sản phẩm cuối cùng. Những kết quả này cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng quy trình công nghệ chế tạo vật liệu composite từ nhựa HDPE tái chế gia cường sợi thủy tinh ứng dụng trong xây dựng dân dụng, góp phần giảm thiểu tác động môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài cấp Bộ Khoa học và Công nghệ năm 2023-2024: "Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ và chế tạo thử nghiệm hạt nhựa compound cốt sợi thủy tinh từ nhựa tái chế định hướng ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng dân dụng" do Trung tâm Công nghệ Vật liệu, Viện Ứng dụng Công nghệ, Bộ Khoa học và Công nghệ chủ trì thực hiện. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ và Viện Ứng dụng Công nghệ đã cấp kinh phí cho nhiệm vụ này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S.C. Kong, T.L. Wong, M. Yang, et al. (2017), *Emerging Practices in Scholarship of Learning and Teaching in a Digital Era*, Springer Singapore, DOI:10.1007/978-981-10-3344-5.

[2] B.I.S Murat, M.S. Kamalruzaman, M.H.N. Azman, et al. (2020), "Assessment of mechanical properties of recycled HDPE and LDPE plastic wastes", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **957**, DOI: 10.1088/1757-899X/957/1/012046.

[3] R.M. Bajracharya, A.C. Manalo, W. Karunasena, et al. (2014), "Glass fibre and recycled mixed plastic wastes: Recent developments and applications", *23rd Australasian Conference on The Mechanics of Structures and Materials (ACMSM23)*, **1**, pp.288-292.

[4] L. Scelsi, A. Hodzic, C. Soutis, et al. (2011), "A review on composite materials based on recycled thermoplastics and glass fibres", *Plastics, Rubber and Composites*, **40(1)**, pp.1-10, DOI: 10.1179/174328911X12940139029121.

[5] J.K. Kim, J.H. Song, S.T. Chung, et al. (1997), "Morphology and mechanical properties of injection molded articles with weld-lines", *Polymer Engineering and Science*, **37(1)**, pp.228-241, DOI: 10.1002/pen.11665.

[6] J. Lindhagen, L. Berglund (1998), "Microscopical damage mechanisms in glass fiber reinforced polypropylene", *Journal of Applied Polymer Science*, **69(7)**, pp.1319-1327, DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(19980815)69:7<1319::AID-APP6>3.0.CO;2-H.

[7] M.B. Kulkarni, P.A. Mahanwar (2014), "Studies on the effect of maleic anhydride-grafted polypropylene with different MFI on mechanical, thermal and morphological properties of fly ash-filled PP composites", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, **27(12)**, pp.1679-1700, DOI: 10.1177/0892705712475009.

[8] W. Qiu, K. Mai, H. Zeng (2000), "Effect of silane-grafted polypropylene on the mechanical properties and crystallization behavior of Talc/polypropylene composites", *Journal of Applied Polymer Science*, **77(13)**, pp.2974-2977, DOI:10.1002/1097-4628(20000923)77:13<2974::AID-APP22>3.0.CO;2-R.

[9] C.K. Moon, J. Lee, H.H. Cho, et al. (1992), "Effect of diameter and surface treatment of fiber on interfacial shear strength in glass fiber/epoxy and HDPE", *Journal of Applied Polymer Science*, **45(3)**, pp.443-450, DOI: 10.1002/app.1992.070450309.

[10] U. Saeed, K. Hussain, G. Rizvi (2014), "HDPE reinforced with glass fibers: Rheology, tensile properties, stress relaxation, and orientation of fibers", *Polymer Composites*, **35(11)**, pp.2159-2169, DOI: 10.1002/pc.22880.