

Tính chất cơ học của vật liệu composite nền epoxy epikote 828 gia cường bằng tổ hợp hybrid thủy tinh/carbon

Hoàng Nhật Minh¹, Nguyễn Đức Mạnh¹, Nguyễn Tiến Đạt¹, Đặng Thị Thảo Vân¹, Huỳnh Việt Tiên¹, Lê Văn Long²,
Đặng Hữu Trung^{1*}

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Vật liệu Xây dựng

TỪ KHOÁ

Composite
Nhựa epoxy
Sợi thủy tinh
Sợi carbon
Tính chất cơ học

TÓM TẮT

Nghiên cứu này cho thấy hiệu quả của các loại sợi gia cường đơn (carbon hoặc thủy tinh) so với tổ hợp gia cường hybrid sợi thủy tinh/carbon trên cơ sở nhựa epoxy epikote 828. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi sử dụng sợi gia cường đơn lẻ cho tính chất cơ học thuần túy và đặc trưng cho từng loại sợi gia cường. Trong khi đó, sử dụng tổ hợp hybrid gia cường thủy tinh/carbon cho kết quả hiệp đồng về tính chất cơ học của composite. Cụ thể, độ bền kéo đạt 205 MPa, độ bền uốn đạt 331 MPa và độ bền va đập 75 KJ/m². Bề mặt phá hủy của mẫu composite được phân tích bằng ảnh SEM và tính chất nhiệt của vật liệu composite được xác định bằng tổn hao khối lượng khi gia nhiệt-TGA. Kết quả cho thấy với sự có mặt của tổ hợp sợi gia cường hybrid cho độ ổn định nhiệt tốt hơn so với mẫu composite đơn thuần sợi thủy tinh.

KEYWORDS

Composite
Epoxy resin
Glass fiber
Carbon fiber
Mechanical properties

ABSTRACT

This study investigates the effectiveness of single-fiber reinforcements (carbon or glass) in comparison with glass/carbon hybrid reinforcements in epoxy resin (Epikote 828) based composites. The results show that composites reinforced with a single type of fiber exhibit mechanical properties governed by the intrinsic characteristics of the respective reinforcement. In contrast, the incorporation of glass/carbon hybrid fibers leads to a synergistic improvement in the overall mechanical performance. Specifically, the hybrid composite achieves a tensile strength of 205 MPa, a flexural strength of 331 MPa, and an impact strength of 75 kJ/m². The fracture morphology is analyzed by scanning electron microscopy (SEM), while the thermal stability is evaluated using thermogravimetric analysis (TGA). The results demonstrate that hybrid fiber reinforcement significantly enhances the thermal stability of the composite compared with that reinforced solely with glass fibers.

1. Giới thiệu

Vật liệu composite gia cường tổ hợp hybrid carbon/thủy tinh có tiềm năng to lớn cho vật liệu kỹ thuật trong nhiều ứng dụng. Vật liệu này cho phép nhà thiết kế đạt được các đặc tính cần thiết một cách có kiểm soát thông qua việc lựa chọn sợi và nền. Các đặc tính này được điều chỉnh trong vật liệu bằng cách lựa chọn các loại sợi khác nhau được kết hợp trong cùng một nhựa nền [1-4]. Nhóm nghiên cứu của Jagannatha và cộng sự [5] đã nghiên cứu tính chất cơ học của vật liệu composite gia cường bằng tổ hợp sợi carbon và sợi thủy tinh. Tỷ lệ khối lượng của nhựa epoxy chiếm 40 % và 60 % còn lại là sợi gia cường carbon/thủy tinh. Các đặc tính cơ học như độ bền kéo, mô đun kéo, độ dẻo và tải trọng cực đại của vật liệu composite lai đã được xác định theo các tiêu chuẩn ASTM. Các đặc tính cơ học được cải thiện khi hàm lượng sợi gia cường trong vật liệu nền tăng.

Vấn đề nghiên cứu tìm ra giải pháp chế tạo vật liệu composite nhẹ nhưng có độ bền cao đang là thách thức cho ngành công nghiệp chế tạo ô tô. Một trong những nhiệm vụ khó khăn nhất là giảm trọng lượng xe

để giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng. Việc giảm 10 % trọng lượng xe sẽ dẫn đến việc giảm 6-8 % mức tiêu thụ năng lượng. Vật liệu composite có tỷ lệ độ bền trên trọng lượng cao là một trong những lựa chọn phù hợp cho việc lập kế hoạch, thiết kế và sản xuất các thành phần nhẹ composite dạng hybrid. Trong ngành công nghiệp ô tô, việc sử dụng vật liệu composite sẽ làm giảm trọng lượng của xe điện cũng như ảnh hưởng đến các đặc tính khí động học của chúng. Do đó, nó cũng sẽ làm giảm mức tiêu thụ nhiên liệu bằng cách cắt giảm khí thải độc hại và các hạt vật chất. Composite gia cường dạng sợi, đặc biệt là các loại được chế tạo trên cơ sở sợi thủy tinh và sợi carbon, đã thu hút sự chú ý của ngành công nghiệp ô tô nhờ có độ bền cao và trọng lượng nhẹ [4,6,7].

So với các vật liệu thông thường, phần lớn vật liệu composite được thiết kế với mục tiêu có độ bền cao, trọng lượng nhẹ hơn, khả năng chống ăn mòn tốt. Nhìn chung, trong ngành công nghiệp ô tô, vật liệu composite nhẹ hơn so với hầu hết các kim loại được sử dụng phổ biến. Vật liệu composite sử dụng sợi carbon gia cường là vật liệu composite polyme có độ bền cao nhất được sử dụng trong ô tô, hàng không vũ trụ, quân sự và các mặt hàng thể thao [8, 9]. Về sợi gia cường

*Liên hệ tác giả: huutrong@hau.edu.vn

Nhận ngày 20/11/2025, sửa xong ngày 05/01/2026, chấp nhận đăng ngày 06/01/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2026.1187>

thủy tinh hay carbon cho vật liệu composite được các nhà khoa học trong nước quan tâm nghiên cứu. Vật liệu composite chế tạo được chủ yếu gia cường duy nhất một loại sợi đơn lẻ thủy tinh hay carbon. Nhóm tác giả Nguyễn Huy Tùng và cộng sự [10] đã sử dụng sợi thủy tinh gia cường hay Đặng Hữu Trung và nhóm nghiên cứu [11] đã sử dụng sợi carbon gia cường cho nền nhựa epoxy để chế tạo vật liệu composite. Một nghiên cứu về độ bền kéo và bền uốn của vật liệu composite sử dụng tổ hợp hybrid gia cường giữa sợi thủy tinh và sợi carbon đã được nhóm tác giả D.Bino [12] và cộng sự thực hiện. Hàm lượng hybrid gia cường chiếm 30 % thể tích và phần còn lại 70 % là nhựa nền epoxy. Sự khác biệt của công trình này là sử dụng tổ hợp sợi gia cường hybrid thủy tinh/carbon với hàm lượng 50 % phần khối lượng (pkl) làm vật liệu gia cường cho nhựa epoxy epikote 828 để chế tạo vật liệu composite và xác định các tính chất cơ học như độ bền kéo, bền uốn, bền va đập, tính chất nhiệt và hình thái cấu trúc của vật liệu một cách có hệ thống.

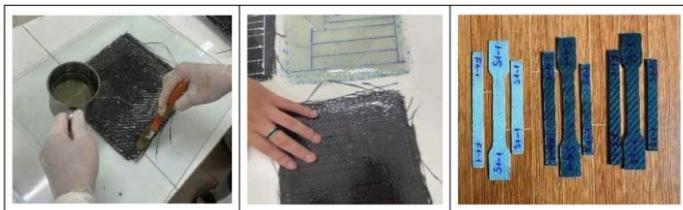
2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Hóa chất và thiết bị

- Nhựa epoxy Epikote 828 (Shell Chemicals) có khối lượng riêng ở 25 °C là 1,16, hàm lượng nhóm epoxy 22,63 %, độ nhớt 12-14 Pa.s (25 °C)
- Chất đóng rắn Fujicure FXD 822 (Đài Loan) có các thông số kỹ thuật:
 - Độ nhớt ở 25 °C 600 ÷ 700 mPa.s
 - Tỷ trọng ở 25 °C: 1,03
 - Điểm chớp cháy: 115 °C
- Khuôn thép đúc mẫu, máy khuấy cơ học, tủ sấy, bơm chân không, lô sắt ép mẫu.
- Sợi thủy tinh loại C, có mật độ 300 g/m² (Trung Quốc).
- Sợi carbon loại SYT45 3K, có mật độ 200 g/m² (Trung Quốc).

2.2. Phương pháp chế tạo vật liệu composite

Vật liệu composite trong nghiên cứu này chúng tôi đã chế tạo theo phương pháp lăn ép bằng tay (hand layup) ở nhiệt độ phòng và được mô tả trong Hình 1.



Hình 1. Chế tạo mẫu composite theo các tiêu chuẩn quy định.

Có 3 loại vật liệu khác nhau mà chúng tôi đã chế tạo là vật liệu composite nền epoxy gia cường bằng sợi thủy tinh (8 lớp) dạng dệt trơn; vật liệu composite nền epoxy gia cường bằng sợi carbon (8 lớp) dạng dệt chéo và vật liệu composite nền epoxy gia cường bằng tổ hợp hybrid thủy

tinh (4 lớp)/carbon (4 lớp), được đặt lần lượt xen kẽ nhau (sợi carbon/nhựa nền/sợi thủy tinh/nhựa nền/sợi carbon/nhựa nền...). Tất cả các mẫu composite đều được chế tạo theo tỷ lệ nhựa nền epoxy/sợi gia cường = 50/50 phần khối lượng (pkl). Trong đó nền nhựa epoxy được thiết lập theo tỷ lệ nhựa epoxy/chất đóng rắn = 2/1 pkl.

2.3. Các phương pháp nghiên cứu

a. Phương pháp xác định tính chất cơ học

Độ bền kéo đứt được xác định theo tiêu chuẩn ISO 527-2019, trên thiết bị đo cơ lý vạn năng INSTRON 3382 (Mỹ). Độ bền uốn được xác định theo tiêu chuẩn ISO 178-2019, trên thiết bị đo cơ lý vạn năng INSTRON 3382 (Mỹ). Độ bền va đập được xác định theo tiêu chuẩn ISO 179-2010, trên thiết bị đo cơ lý vạn năng INSTRON 9050 (Mỹ). Các phép đo tính chất cơ học đều được thực hiện tại Trung tâm Vật liệu Hữu cơ và Hóa phẩm Xây dựng-Viện Vật liệu Xây dựng.

b. Phương pháp xác định tính chất nhiệt

Phân tích nhiệt trọng lượng TGA để xác định độ bền nhiệt của vật liệu thông qua sự suy giảm khối lượng của chúng theo sự tăng nhiệt độ. Phép đo được thực hiện trên máy LINSEIS (Đức) tại Phòng thí nghiệm Phân tích và Ứng dụng, Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội. Mẫu được đựng trong chén platin, gia nhiệt với tốc độ 10 °C/phút trong môi trường khí nitơ từ nhiệt độ phòng đến 600 °C.

c. Phương pháp chụp ảnh SEM bề mặt phá hủy

Hình thái học bề mặt của các mẫu được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) (JEOL 6490, Nhật Bản) tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Mẫu được cắt với kích thước phù hợp, gắn trên giá đỡ, bề mặt cắt của mẫu được phủ một lớp bạc mỏng bằng phương pháp bốc hơi trong chân không để tăng độ tương phản của mẫu.

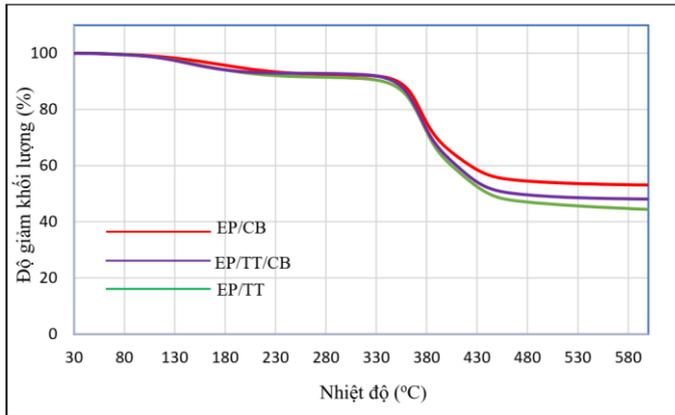
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của các loại sợi gia cường đến tính chất nhiệt của vật liệu composite

Ảnh hưởng của các loại sợi gia cường đến tính chất nhiệt của các loại vật liệu composite nền epoxy đã được nghiên cứu và khảo sát. Kết quả đánh giá các mẫu composite gia cường sợi thủy tinh (EP/TT), mẫu composite gia cường sợi carbon (EP/CB) và mẫu composite gia cường tổ hợp hybrid thủy tinh và carbon (EP/TT/CB), được trình bày trên Hình 2.

Kết quả trên Hình 2 cho thấy, cả ba mẫu đều thể hiện hai giai đoạn giảm khối lượng. Giai đoạn đầu (dưới 300 °C) chủ yếu do bay hơi ẩm và các hợp chất dễ bay hơi [13-15]. Giai đoạn phân hủy mạnh diễn ra trong khoảng 350-450 °C, đặc trưng cho sự phá vỡ mạng polymer epoxy [13, 14]. Tuy nhiên, ở giai đoạn này có sự khác biệt đáng kể, ở

mẫu EP/CB cho mức độ phân hủy thấp nhất, tiếp đến là mẫu composite tổ hợp hybrid EP/TT/CB và mẫu EP/TT có độ phân hủy cao nhất. Sự khác biệt này có thể được giải thích là do bản chất của sợi gia cường: sợi carbon có khả năng ổn định nhiệt tốt hơn rất nhiều so với sợi thủy tinh nên ở mẫu composite sử dụng sợi hybrid có độ ổn định nhiệt tốt hơn so với mẫu composite sử dụng sợi thủy tinh. Sau 450 °C, khối lượng mẫu dần đi vào ổn định, biểu thị qua lượng cặn than còn lại.



Hình 2. Ảnh hưởng của sợi gia cường đến tính chất nhiệt của composite.

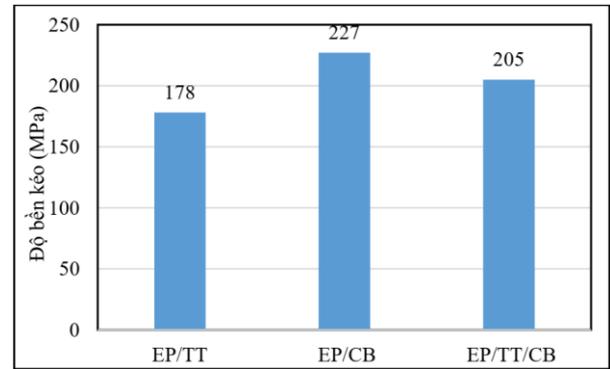
Mẫu hybrid thể hiện tính chất trung gian, cho thấy hiệu ứng cộng hưởng tích cực giữa hai loại sợi. Như vậy, mẫu hybrid EP/TT/CB dù có tính ổn định nhiệt thấp hơn so với EP/CB nhưng vẫn vượt trội hơn so với mẫu EP/TT đơn thuần sợi thủy tinh, chứng tỏ hiệu ứng cộng hưởng tích cực giữa hai loại sợi trong hệ composite tổ hợp.

3.2. Ảnh hưởng của các loại sợi gia cường đến tính chất cơ học của vật liệu composite

3.2.1. Độ bền kéo

Độ bền kéo của vật liệu composite nền epoxy gia cường bằng sợi thủy tinh, sợi carbon và tổ hợp hybrid thủy tinh/carbon đã được xác định và kết quả được trình bày trên Hình 3.

Kết quả trên Hình 3 cho thấy, bản chất của sợi gia cường ảnh hưởng lớn đến độ bền kéo của vật liệu composite. Cụ thể với sợi thủy tinh gia cường cho độ bền kéo đạt 178 MPa, sợi carbon cho độ bền kéo đạt 227 MPa, trong khi sử dụng tổ hợp hybrid cho độ bền kéo ở mức trung gian là 205 MPa. Xảy ra điều này chủ yếu là do tính chất của sợi gia cường và mức độ bám dính giữa sợi gia cường và nhựa nền. Sợi carbon có độ trợ về mặt hóa học so với sợi thủy tinh nên ít nhiều làm giảm khả năng bám dính với nhựa nền epoxy kém hơn so với sợi thủy tinh. Tuy nhiên, bù vào nhược điểm trên là độ bền kéo chiếm ưu thế vượt trội của sợi carbon so với sợi thủy tinh [16, 17] nên kết quả nhận được là hợp lý. Qua nghiên cứu về độ bền kéo cho thấy vật liệu hybrid có khả năng dung hòa tốt về tính chất cơ học, qua đó khẳng định ưu điểm nổi bật của cấu trúc gia cường hybrid trong thiết kế ứng dụng linh hoạt.

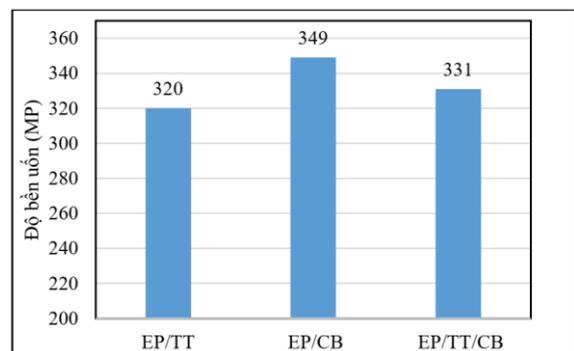


Hình 3. Ảnh hưởng của sợi gia cường đến độ bền kéo của composite.

3.2.2. Độ bền uốn

Độ bền uốn của vật liệu composite nền epoxy gia cường bằng sợi thủy tinh, sợi carbon và tổ hợp hybrid thủy tinh/carbon đã được xác định, kết quả nhận được trình bày trên Hình 4.

Kết quả trình bày trên Hình 4 cho thấy loại sợi gia cường có ảnh hưởng đáng kể đến độ bền uốn của vật liệu composite. Do có mô đun đàn hồi và độ cứng cao hơn, nên sợi carbon giúp cải thiện đáng kể khả năng chịu uốn của composite so với khi sử dụng sợi thủy tinh [9]. Mặt khác do bản chất của sợi gia cường nên khả năng phá hủy liên kết pha giữa nhựa nền epoxy và sợi cũng khác nhau nên kết quả nhận được có sự khác biệt. Cụ thể, mẫu composite gia cường bằng sợi thủy tinh đạt độ bền uốn 320 MPa, trong khi mẫu sử dụng sợi carbon đạt tới 349 MPa. Đối với vật liệu composite hybrid sử dụng đồng thời sợi thủy tinh và sợi carbon, giá trị độ bền uốn thu được nằm giữa hai giá trị trên và cao hơn so với mẫu sợi thủy tinh đơn thuần nhưng thấp hơn đôi chút so với mẫu sử dụng sợi carbon và đạt 331 MPa. Điều này cho thấy hiệu ứng cộng hưởng giữa hai loại sợi giúp cải thiện một phần tính chất cơ học của vật liệu, đồng thời góp phần tối ưu hóa vào mục đích sử dụng.

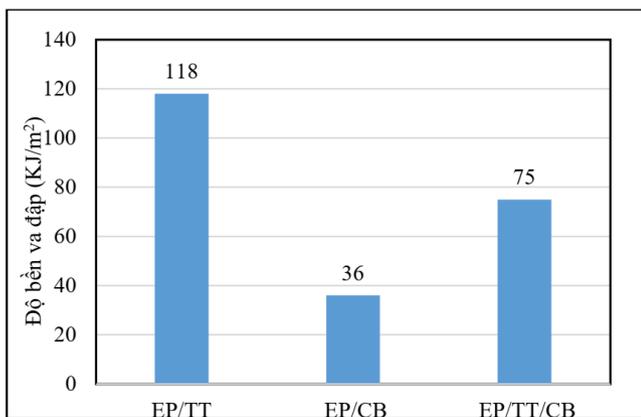


Hình 4. Ảnh hưởng của sợi gia cường đến độ bền uốn của composite.

3.2.3. Độ bền va đập

Độ bền va đập izod của vật liệu composite nền epoxy gia cường bằng sợi thủy tinh, sợi carbon và tổ hợp hybrid thủy tinh/carbon được xác định, kết quả được trình bày trên Hình 5.

Kết quả trình bày trên Hình 5 cho thấy xu hướng độ bền va đập có sự khác biệt rõ rệt so với độ bền kéo và độ bền uốn. Cụ thể, vật liệu composite gia cường bằng sợi carbon (EP/CB) có độ bền va đập thấp nhất, chỉ đạt 36 KJ/m², trong khi composite gia cường bằng sợi thủy tinh (EP/TT) lại cho giá trị cao nhất, đạt 118 KJ/m². Tổ hợp hybrid sợi thủy tinh/carbon (EP/TT/CB) thể hiện giá trị trung gian, đạt 75 KJ/m². Hiện tượng này có thể được lý giải do đặc tính cơ học khác nhau của hai loại sợi. Sợi carbon có modul đàn hồi cao, mang lại độ cứng lớn nhưng khả năng hấp thụ năng lượng va đập thấp. Ngược lại, sợi thủy tinh có modul đàn hồi thấp hơn, giúp vật liệu có khả năng biến dạng dẻo tốt hơn và do đó cải thiện đáng kể khả năng chịu va đập. Kết quả này nhận được cũng tương tự như các công trình nghiên cứu trước đây [5, 11] và là cơ sở đúng đắn để giải thích tính ưu việt của tổ hợp hybrid gia cường trong vật liệu composite.



Hình 5. Ảnh hưởng của sợi gia cường đến độ bền va đập của composite.

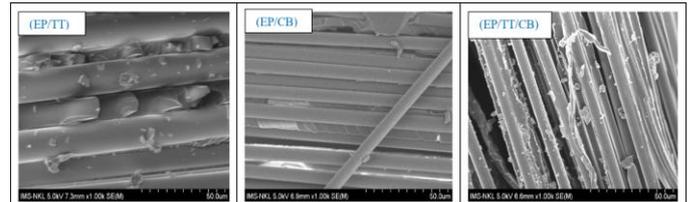
Như vậy, khi so sánh tổng hợp các tính chất cơ học bao gồm độ bền kéo, độ bền uốn và độ bền va đập, có thể thấy việc sử dụng tổ hợp hybrid sợi thủy tinh/carbon mang lại sự cân bằng tối ưu giữa tính chất cơ học và chi phí chế tạo, đồng thời cải thiện đáng kể hiệu quả tổng thể của vật liệu composite nền epoxy.

3.3. Nghiên cứu bề mặt phá hủy của vật liệu composite

Hình thái bề mặt phá hủy của các mẫu composite gia cường bằng sợi thủy tinh, sợi carbon và tổ hợp hybrid thủy tinh/carbon được thể hiện trong Hình 6. Có thể thấy rằng hình thái bề mặt sau phá hủy phản ánh trực tiếp cơ chế phá hủy cũng như mức độ tương tác giữa pha nền và pha gia cường của vật liệu composite.

Quan sát bằng ảnh SEM (Hình 6) cho thấy mẫu composite gia cường sợi thủy tinh (EP/TT) có lượng nhựa bám lên sợi nhiều và bề mặt phá hủy không đồng nhất. Trong khi đó mẫu gia cường sợi carbon (EP/CB) cho bề mặt mẫu nhẵn và phẳng hơn, lượng nhựa bám lên bề mặt sợi kém hơn. Điều này có thể là do sợi carbon có tính trơ về mặt hóa học nên khả năng bám dính giữa nền nhựa và sợi kém hơn so với sợi thủy tinh. Kết quả này nhận được là cơ sở cho việc giải thích độ

bền va đập của mẫu EP/TT (118 KJ/m²) cao hơn rất nhiều so với mẫu EP/CB (36 KJ/m²). Còn ở mẫu hybrid thủy tinh/carbon (EP/TT/CB) có bề mặt phá hủy tương tự mẫu gia cường sợi thủy tinh, có lượng nhựa nền bám dính lên bề mặt sợi nhiều hơn so với mẫu EP/CB. Đặc điểm này cho thấy cơ chế phá hủy của mẫu EP/TT/CB mang tính dẻo dai hơn, do với sự có mặt của sợi thủy tinh bám dính tốt với nền epoxy, giúp hấp thụ năng lượng phá hủy cao hơn.



Hình 6. Ảnh SEM bề mặt phá hủy của mẫu composite gia cường bằng các loại sợi khác nhau.

Ngược lại, sự xuất hiện của bề mặt phẳng và các vết nứt xuyên qua pha nền trong mẫu EP/CB phản ánh cơ chế phá hủy giòn, thường gắn liền với độ bền va đập thấp hơn. Các quan sát từ ảnh SEM phù hợp với kết quả cơ tính nhận được, cho thấy mối tương quan chặt chẽ giữa đặc trưng hình thái bề mặt phá hủy và tính chất cơ học của vật liệu composite. Theo các nghiên cứu trước đây [18-20], đều cho thấy khi bề mặt phá hủy có cấu trúc ngoằn ngoèo là biểu hiện của quá trình tách pha chậm và khả năng tiêu tán năng lượng cao, trong khi bề mặt nhẵn thể hiện sự lan truyền vết nứt nhanh và phá hủy giòn. Từ đó có thể khẳng định rằng hình thái bề mặt phá hủy quan sát được qua ảnh SEM là bằng chứng trực quan cho thấy hiệu quả cải thiện độ bền cơ học của composite phụ thuộc mạnh vào tương tác giữa sợi gia cường và nền epoxy.

4. Kết luận

Vật liệu composite gia cường bằng tổ hợp sợi hybrid có nhiều ưu điểm trong việc cân bằng giữa tính chất cơ học và mục đích ứng dụng. Kết quả nghiên cứu cho thấy cả hai loại sợi gia cường đơn carbon hoặc thủy tinh, đều góp phần cải thiện đáng kể độ bền cơ học cho nền nhựa epoxy epikote 828. Nghiên cứu thực tế cho thấy, vật liệu composite có chứa tổ hợp hybrid sợi thủy tinh/carbon cho hiệu quả tốt mà ở mỗi loại sợi gia cường đơn lẻ không có được. Cụ thể, mẫu composite gia cường bằng sợi carbon có độ bền kéo, bền uốn và khả năng ổn định nhiệt cao hơn so với mẫu composite sợi thủy tinh, trong khi mẫu có chứa sợi thủy tinh lại có ưu thế về độ bền va đập. Việc kết hợp hai loại sợi trong tổ hợp hybrid thủy tinh/carbon đã tạo ra sự dung hòa tối ưu giữa các tính chất này, giúp vật liệu đạt được đồng thời độ bền kéo, bền uốn và bền va đập lần lượt 205 MPa, 331 MPa và 75 kJ/m². Những kết quả đạt được khẳng định tiềm năng ứng dụng của vật liệu composite trên cơ sở nhựa epoxy epikote 828 gia cường bằng tổ hợp hybrid thủy tinh/carbon trong chế tạo các sản phẩm composite chất lượng cao, đặc biệt trong các lĩnh vực đòi hỏi tỷ lệ độ bền trên trọng lượng lớn và khả năng chịu tải tốt.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Khoa Công nghệ Hóa, Đại học Công nghiệp Hà Nội đã tài trợ một phần kinh phí để thực hiện công trình này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. E. Ansari, G. Majzoubi, K. Rahmani, M. Kashfi “The effect of middle layer material and thickness on the quasi-static energy absorption of FML”, *Journal of Science and Technology of Composites*, Vol. 5, 427-36, 2018, doi: 10.22068/JSTC.2018.72685. 1377.
- [2]. A. F. A. Ghani, N. Ngatiman, R. Jumaidin, S. A/L. Dharmalingam, F. A. Munir, R. Ranom “Hybrid Carbon/Glass Fiber Reinforced Polymer; A Frontier Material for Aerospace Industry : A Review on Mechanical Properties Enhancement”, *Current Science and Technology*, Vol. 1, Issue 2, 41-51, 2021, doi: <https://doi.org/10.15282/cst.v1i2.6919>.
- [3]. D.D Chung “Composite Materials: Functional Materials for Modern Technologies”, *England: Springer Science & Business Media*, 2013.
- [4]. Hồ Xuân Năng, Trần Vinh Diệu “Chất dẻo và polymer composite trong công nghiệp chế tạo ô tô”, *Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ*, str 113-132, 2021.
- [5]. T.D. Jagannatha, G. Harish “Mechanical properties of carbon/glass fiber reinforced epoxy hybrid polymer composite” *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res.* Vol. 4, No.2, 2015.
- [6]. A. Wazeer, A. Das, C. Abeykoon, A. Sinha, A. Karmakar “Composites for electric vehicles and automotive sector: A review”, *Green Energy and Intelligent Transportation*, Vol 2(1), 100043, 2023, doi:10.1016/j.geits.2022.100043.
- [7]. G. V. Săftoiu, C. Constantin, A.I.Nicoară, G. Pelin, D. Ficai, A. Ficai “Glass Fibre-Reinforced Composite Materials Used in the Aeronautical Transport Sector: A Critical Circular Economy Point of View”, *Sustainability*, Vol.16, 4632, 2014, doi:10.3390/su16114632.
- [8]. H. Singh, GS.Brar, H. Kumar, V. Aggarwal “A review on metal matrix composite for automobile applications” *Mater Today Proc*, Vol. 43:320-5, 2021, doi:10.1016/j.matpr.2020.11.670.
- [9]. M. Hasin, S. Kabir, M A Gafur, A. B Rashid, M. M. Ridom “Investigation of the Thermal and Surface Properties of Glass-Carbon Hybrid Fiber Epoxy Composite”, *Evergreen*, 12 (02) 780-791, 2025, doi: 10.5109/7363475.
- [10]. Nguyễn Huy Tùng, Trần Vinh Diệu, Đặng Hữu Trung, Đoàn Thị Yến Oanh “Tính chất cơ học của vật liệu compozit sử dụng prepreg trên cơ sở nhựa phenolic và epoxy gia cường sợi thủy tinh và thủy tinh-aramit” *Tap chí Hóa học*, 53 (3), 379-384, 2015, doi: 10.15625/0866-7144.2015-00148.
- [11]. Đặng Hữu Trung, Nguyễn Phạm Duy Linh, Trần Hải Ninh, Trần Vinh Diệu, Đoàn Thị Yến Oanh “Độ bền dai tách lớp và tính chất cơ học của vật liệu polyme compozit trên cơ sở nhựa epoxy Epikote 828/OELO gia cường sợi cacbon, đóng rắn bằng xyanetyldietylentiamin”, *Tap chí Hóa học*, 53(6) 760-765, 2015, doi: 10.15625/2015-00217.
- [12]. D.Bino, B. Stanly Jones Retnam, M. Ramachandran, M. Sivapragash “Analysis of mechanical properties of glass and carbon fiber reinforced polymer material”, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol.10(11), pp. 10387- 10391, 2015.
- [13]. Dang Huu Trung “Effect of micro-sized lotus fibers on the fracture toughness of epoxy resin”, *Iranian Polymer Journal*, 2025, doi: 10.1007/s13726-025-01488-w
- [14]. S. Alam, M. A. Chowdhury “Thermal gravimetric analysis of glass fiber reinforced composite for understanding the impact of copper oxide in relation to titanium oxide filler particles”, *Composites Theory and Practice* 21: 1-2, pp.12-21, 2021.
- [15]. D. Hwang, S. G. Lee, D. Cho “Dual-Sizing Effects of Carbon Fiber on the Thermal, Mechanical, and Impact Properties of Carbon Fiber/ABS Composites” *Polymers*, Vol.13, 2298, 2021, doi: 10.3390/polym13142298.
- [16]. J. Babazadeh, K. Rahmani, S. J. Hashemi, A. Sadooghi “Effect of glass, carbon, and kevlar fibers on mechanical properties for polymeric composite tubes produced by a unidirectional winding method. Mater”, *Res. Express* 8, 045301, 2021, doi: 10.1088/2053-1591/abf0ba.
- [17]. S. Eksi, K. Genel “Comparison of mechanical properties of unidirectional and woven carbon, glass and aramid fiber reinforced epoxy composites”, *ACTA PHYSICA POLONICA A*, Vol. 132, 879-82, 2017, doi: 10.12693/APhysPolA.132.879.
- [18]. N. T. Phong, M.H. Gabr, K. Okubo, B. Chuong, T. Fujii “Enhancement of mechanical properties of carbon fabric/epoxy composites using micro/nano-sized bamboo fibrils” *Mater Des* 47:624-632, 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2012.12.057.
- [19]. S. W. Ghorji, G. S. Rao, A. A. Rajhi, A. A. Duhduh, V. Tirth “Enhanced thermal and flexural properties of alkalinized date palm/ kenaf fiber-reinforced epoxy hybrid composites: A comparative study of untreated and treated fibers” *J. Nat. Fibers* 21:2421803, 2024, doi: 10.1080/15440478.2024.2421803.
- [20]. Y. Jiang Y, S. Wang, W. Dong, T. Kaneko, M. Chen, D. Shi “High-strength, degradable and recyclable epoxy resin based on imine bonds for its carbon-fiber-reinforced composites” *Materials* 16:1604, 2023, doi: 10.3390/ma16041604.