

TÁI SỬ DỤNG NGUỒN PHÉ PHẨM NÔNG NGHIỆP THÀNH CHẤT Độn CƠ HỌC CHO VẬT LIỆU NỀN EPOXY

Phạm Thị Hương

Khoa Giáo dục đại cương, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

Email: phamhuongdhspktd@gmail.com

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 06/9/2021; Ngày nhận chỉnh sửa: 09/11/2021; Ngày duyệt đăng: 09/12/2021

Tóm tắt

Nước ta là một đất nước phát triển về nông nghiệp. Sản lượng lúa thu hoạch được mỗi năm từ các tỉnh là rất lớn và là nguồn kim ngạch xuất khẩu ra nước ngoài cao. Trong quá trình thu hồi và xay xát lúa thành gạo thì lượng vỏ trấu được tách ra là quá lớn. Vì thế vỏ trấu thường được thu hồi và sử dụng làm chất đốt hoặc làm chất ủ cho các cây trồng khác. Tuy nhiên, có một điều đặc biệt là trong thành phần của tro trấu chứa nhiều silicon oxide rất phù hợp làm chất độn cơ học cho vật liệu polymer composite. Vì vậy, bài báo đã nghiên cứu quá trình thu hồi, xử lý vỏ trấu ban đầu để tái sử dụng nó làm chất độn cho vật liệu composite nền epoxy. Kết quả nghiên cứu cho thấy với hàm lượng 30 phần khối lượng, trấu sau xử lý cho độ bền cơ học của vật liệu polymer composite là tốt nhất so với độ bền cơ học của vật liệu nền.

Từ khóa: *Tính chất cơ học, trấu, vật liệu composite nền epoxy.*

RE-USE AGRICULTURAL RESOURCES TO MECHANICAL FILLER FOR EPOXY FOUNDATION MATERIAL

Pham Thi Huong

Faculty of General Education, Nam Dinh University of Technical Education

Email: phamhuongdhspktd@gmail.com

Article history

Received: 06/9/2021; Received in revised form: 09/11/2021; Accepted: 09/12/2021

Abstract

Our country is a developed agricultural country. The yield of rice harvested each year from the provinces is huge and is a source of high export turnover abroad. During the process of recovering and milling rice into rice, the amount of separated rice husks is too large. Therefore, rice husks are often recovered and used as fuel or compost for other crops. However, there is a special thing in the composition of the rice husk contains a lot of silicon oxide which is very suitable as a mechanical filler for polymer composite materials. Therefore, the paper has studied the process of recovering and treating the original husk to reuse it as filler for epoxy-based composite materials. Research results show that with the content of 30pkl, the treated rice husks give the best mechanical strength of composite material compared with that of the substrate.

Keywords: *Mechanical properties, rice husk, epoxy composite.*

DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.12.2.2023.1033>

Trích dẫn: Phạm Thị Hương. (2023). Tái sử dụng nguồn phế phẩm nông nghiệp thành chất độn cơ học cho vật liệu nền epoxy. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 12(2), 59-65.

1. Mở đầu

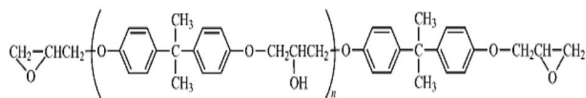
Vật liệu polymer composite là một loại vật liệu tổ hợp, nó được hình thành từ nhựa nền polyme và các chất độn khác nhau nhằm tạo ra sản phẩm có những tính năng vượt trội so với từng vật liệu thành phần. Trong đó, vật liệu nền polymer đóng vai trò liên kết các vật liệu độn rời rạc tạo nên một thể thống nhất, đồng thời cũng quyết định đến độ bền nhiệt và khả năng gia công của vật liệu composite. Còn chất độn đóng vai trò là thành phần chịu tải trọng vì nó có tính chất cơ lý cao hơn vật liệu nền. Do đó tính chất của vật liệu composite phụ thuộc vào bản chất của từng thành phần và phụ thuộc vào khả năng phân tán của chất độn trong nhựa nền polymer. Hiện nay, các chất độn được sử dụng phổ biến cho vật liệu composite là bột đá vôi, bột thạch anh, bột talc, bột barium sulfate. Tuy nhiên, nguồn nguyên liệu ngày càng hạn chế, do đó vấn đề đặt ra là cần nghiên cứu tìm ra nguồn nguyên liệu mới để thay thế hoặc có thể tái sử dụng các loại phế phẩm khác biến chúng thành nguyên liệu có giá trị, với giá thành rẻ.

Nước ta có nền nông nghiệp rất phát triển, chính vì thế nguồn phế phẩm vỏ trấu là rất lớn và rẻ, sau khi đốt vỏ trấu thành tro trấu, chúng có thể ứng dụng được trong rất nhiều lĩnh vực như làm phân bón hữu cơ rất tốt cho cây trồng, làm giá thể cho một số giống nấm, làm chất độn thay thế một phần xi măng, ứng dụng trong hệ thống lọc nước và làm chất độn cho vật liệu composite. Đặc biệt, với thành phần chứa nhiều SiO_2 khi đốt trấu thành tro và qua xử lý hóa chất, tro trấu có kích thước rất nhỏ, dễ phân tán trong nền nhựa polymer để làm chất độn cho vật liệu composite. Tuy nhiên, với vật liệu composite nền epoxy còn chưa được nghiên cứu nhiều, đặc biệt là trong nước, vì thế đề tài đã lựa chọn nguyên liệu vỏ trấu, xử lý chúng thành tro trấu và trộn hợp với nhựa nền epoxy để tạo nên vật liệu polymer composite mới. Sản phẩm tạo thành được tiến hành kiểm tra các tính chất cơ học theo đúng tiêu chuẩn với mong muốn có được độ bền cơ học tốt hơn nhựa nền hoặc tương đương với các vật liệu polymer composite từ một số chất độn khác như CaCO_3 , tro bay, talc.

2. Thực nghiệm

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

- Nhựa nền epoxy DER 331 của hãng Dow Chemical - Công ty Hóa chất của Hoa Kỳ, có $d = 1,16\text{g/cm}^3$, hàm lượng nhóm epoxide: 22- 22,6%.



- Chất đóng rắn amine của hãng Dow Chemical
- Công ty hóa chất của Hoa Kỳ. Khối lượng phân tử: 103; Khối lượng riêng ở 25°C : $0,95\text{g/cm}^3$; Nhiệt độ sôi: 207°C .

DETA (diethylenetriamine)



- Vỏ trấu từ vừa lúa xay xát Kim Sơn - Ninh Bình.

- Dung dịch acid HCl 2N, nước cất, acetone.

2.2. Phương pháp xử lý vỏ trấu

Để nâng cao tính chất cơ học của vật liệu composite, chất độn thường được nghiền mịn hoặc qua xử lý làm tăng diện tích bề mặt hoặc tăng hoạt tính bề mặt nhằm cải thiện sự phân tán cũng như khả năng kết dính với nhựa nền. Vỏ trấu ban đầu được rửa sạch bằng nước cất, sấy khô và nghiền mịn, sau đó đem đốt cháy trong 3 giờ ở 400°C thu được tro trấu. Lấy mẫu tro trấu trộn với dung dịch acid HCl 2N theo tỷ lệ 100 (g) tro trấu: 800 ml dung dịch acid HCl 2N. Hỗn hợp này được gia nhiệt và khuấy trộn đều liên tục trong vòng 1 giờ ở 70°C . Lọc, rửa loại bỏ axit dư và đem mẫu gia nhiệt trong lò nung với tốc độ 10°C/phút ở 800°C trong 3 giờ để loại bỏ carbon và thu hồi được oxide có hàm lượng cao. Mẫu tro trấu sau quá trình xử lý được kí hiệu là NTR. Đặc tính của mẫu NTR: khối lượng riêng, thành phần hóa học được tiến hành kiểm tra trước khi đem trộn hợp với nhựa nền epoxy DER 331.

2.3. Phương pháp gia công chế tạo vật liệu polymer composite

Tro trấu sau khi xử lý dưới dạng bột được trộn hợp với nhựa nền epoxy DER 331 với các phần khối lượng khác nhau ($10 \div 50$ pkl). Hỗn hợp được khuấy trộn đều bằng cánh khuấy cơ với tốc độ 400 vòng/phút trong 30 phút rồi để ổn định ở nhiệt độ phòng trong 2 ngày để nhựa nền có thể thấm đều bề mặt trấu. Sau đó hệ nhựa và trấu được trộn hợp với chất đóng rắn DETA theo đúng lượng đã được tính toán (12 g DETA cho 100 g nhựa epoxy) và đổ khuôn mẫu tạo hình vật liệu composite. Sản phẩm đổ khuôn được đóng rắn ở nhiệt độ phòng trong 1 ngày và tiếp tục được gia nhiệt để đóng rắn sâu ở 80°C trong vòng 3

giờ. Mẫu sau khi tháo khuôn được để ổn định trong bình hút ẩm 1 tuần rồi đem kiểm tra các tính chất cơ học của vật liệu.

2.4. Phương pháp xác định đặc tính của tro trấu và tính chất cơ học của vật liệu polymer composite

Thành phần hóa học của tro trấu NTR được xác định bằng phổ huỳnh quang tia X (XRF) trên thiết bị VietSpace 5006-HQ02 tại Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Diện tích bề mặt các mẫu trấu ban đầu được xác định bằng phương pháp BET trên thiết bị Autosorb iQ Station1 Analyzer của Viện Khoa học Vật liệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.



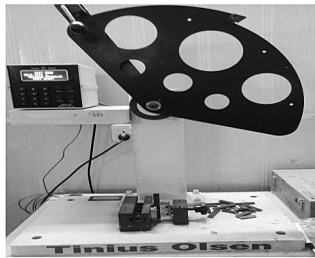
Thiết bị đo diện tích bề mặt hạt BET



Thiết bị đo thành phần hóa học XRF

Hình 1. Thiết bị đo diện tích bề mặt BET và thành phần hóa học XRD

Mẫu composite tạo thành có kích thước chuẩn được đem đi kiểm tra các tính chất cơ học: độ bền kéo, độ bền uốn, độ bền va đập theo tiêu chuẩn ISO 527 - 1993, ISO 178 - 1993 trên máy INSTRON 5582 - 100 KN (Hoa Kỳ) và tiêu chuẩn ISO 180:1993 (E) trên máy Tinius Olsen (Hoa Kỳ) của Trung tâm Nghiên cứu Vật liệu Polyme Composite - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

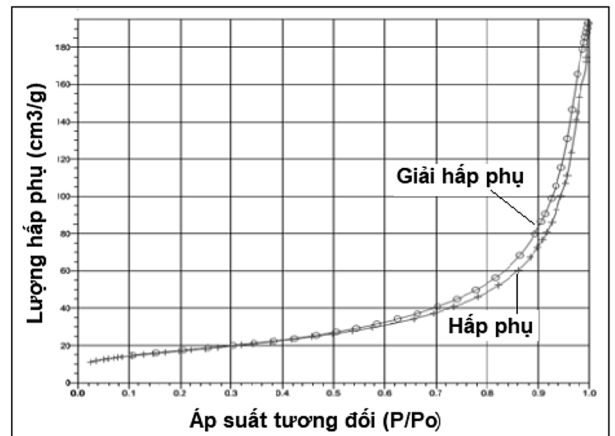


Thiết bị đo độ bền kéo, uốn Thiết bị đo độ bền va đập
Hình 2. Thiết bị đo các tính chất cơ học của vật liệu polymer composite

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khảo sát đặc tính kỹ thuật của trấu trước và sau khi xử lý

Trấu được lấy từ vựa lúa xay xát của Kim Sơn - Ninh Bình. Ban đầu trấu có màu vàng, ở dạng dài, dẹt. Trong trấu chứa nhiều thành phần hữu cơ, chất hữu cơ chứa chủ yếu là cellulose, lignin và hemicellulose, ngoài ra có thêm thành phần khác như hợp chất chứa nitro và vô cơ. Các chất hữu cơ này có mạch poly carbohydrate rất dài, là những thành phần rất dễ cháy. Sau khi đốt cháy thành phần của tro trấu chứa các chất vô cơ trong đó có silicon oxide SiO_2 . Tuy nhiên nếu đốt trấu trong điều kiện tự nhiên thì thành phần tro trấu còn chứa nhiều C và hàm lượng SiO_2 đạt được không cao, không có hiệu quả kinh tế. Vì vậy tro trấu thu được cần được xử lý bằng dung dịch acid, sau đó đem nhiệt phân trong lò nung cao.



Hình 3. Đường cong hấp phụ/giải hấp phụ N_2 của vỏ trấu sau khi nghiền mịn

Trấu sau khi nghiền mịn có màu vàng nâu nhạt, diện tích bề mặt của bột trấu được xác định bằng phương pháp BET có giá trị là $60\text{m}^2/\text{g}$ (Hình 3). Sau khi đốt tự nhiên thành tro có màu xám và sau khi đã qua xử lý và nhiệt phân tro trấu có màu trắng bạc do có chứa nhiều thành phần silicon oxide.

Sau nhiệt phân thành phần có trong tro trấu chủ yếu là các oxide vô cơ, thành phần carbon đã mất gần hết do quá trình nhiệt phân trong lò nung ở nhiệt độ cao, trong đó thành phần silicon oxide chiếm tỉ lệ lớn, đạt 94,5%. Đây là thành phần giúp nâng cao độ bền cơ học của vật liệu composite. Tỷ trọng của trấu sau nhiệt phân là $d = 1,86\text{g}/\text{cm}^3$.

Bảng 1. Thành phần hóa học của tro trấu sau xử lý

Thành phần	Hàm lượng (%)
SiO ₂	94,5
CaO	1,2
Fe ₂ O ₃	1,1
Na ₂ O	0,9
MgO	0,6
K ₂ O	0,6
Thành phần khác	0,2

Mẫu tro trấu sau nhiệt phân được kí hiệu là NTR. Thành phần hóa học của mẫu được xác định bằng phương pháp XRF và được trình bày qua Bảng 1.

3.2. Khảo sát độ nhớt và thời gian đóng rắn của hệ nhựa epoxy và tro trấu

Epoxy DER 331 là loại nhựa epoxy lỏng, được tổng hợp từ epichlorhydrin và Bisphenol A. Độ nhớt của nhựa epoxy DER 331 ở nhiệt độ 25°C là 40 (poise) bằng phương pháp đo độ nhớt Brookfield, khối lượng riêng là 1,16 g/cm³. Hàm lượng nhóm epoxide được xác định bằng phương pháp Hg(NO₃)₂ với dung dịch phản ứng HCl/dioxan là 22,67%. Chất đóng rắn nguội được lựa chọn cho nhựa epoxy DER 331 là diethylentriamine với lượng amine DETA tính toán cho 1 gam nhựa là 0,12 gam. Thời gian gel hóa là 85 phút. Mức độ đóng rắn của nhựa epoxy DER 331 sau 1 tuần là 92,3%. Đây là phần tạo lưới không gian và không bị trích ly bởi axetone trong dụng cụ Soxhlet với thời gian 24 giờ.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro trấu đã xử lý (kí hiệu NTR) đến vật liệu nền epoxy DER 331, nghiên cứu đã tiến hành khảo sát với 5 hàm lượng tro trấu khác nhau từ 10 ÷ 50 phần khối lượng (kí hiệu pkl). Lượng NTR đưa vào nhựa nền epoxy DER 331 được khuấy trộn đều trên máy khuấy cơ học và để ổn định trong bình hút ẩm trong 2 ngày để nhựa có thể thấm đều. Các yếu tố như khối lượng

riêng, độ nhớt, thời gian đóng rắn của hỗn hợp (nhựa nền epoxy + NTR) được trình bày ở Bảng 2.

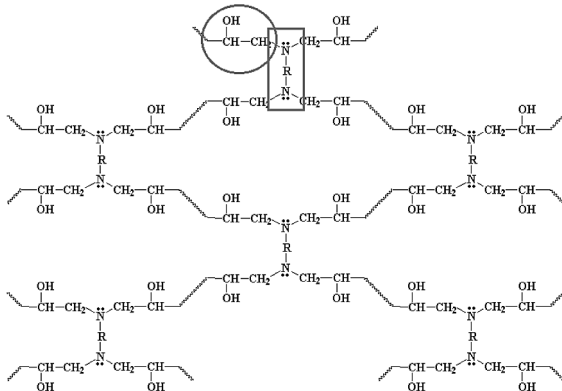
Bảng 2. Ảnh hưởng của hàm lượng NTR đến khối lượng riêng, độ nhớt, thời gian gel hóa của hệ epoxy DER 331/NTR

Mẫu epoxy/ NTR	0 (pkl)	10 (pkl)	20 (pkl)	30 (pkl)	40 (pkl)	50 (pkl)
d (g/cm³)	1,16	1,23	1,26	1,31	1,37	1,45
Độ nhớt (poise)	40	42	44	56	72	95
Thời gian gel (phút)	85	80	80	75	70	60

Kết quả từ Bảng 2 cho thấy, khi tăng hàm lượng NTR từ 0 ÷ 50 pkl thì khối lượng riêng của hệ tăng, độ nhớt của hệ epoxy DER 331/NTR gia tăng cùng với hàm lượng NTR đưa vào. Đó là do tro trấu có tỷ trọng lớn hơn so với nhựa nền epoxy. NTR có d = 1,86 g/cm³, còn epoxy DER 331 có d = 1,16 g/cm³. Do thành phần NTR chứa nhiều vật liệu vô cơ nên khi trộn hợp đã làm gia tăng độ nhớt của hệ. Đặc biệt ở hàm lượng 50 pkl, giá trị độ nhớt tăng lớn, điều này gây cản trở cho quá trình gia công vật liệu composite.

Khi mẫu epoxy DER 331 được trộn với NTR và bổ sung lượng chất đóng rắn vào thì trong hỗn hợp xảy ra phản ứng giữa nguyên tử hydrogen hoạt động của amine và nhóm chức epoxide để tạo ra sản phẩm có cấu trúc không gian. Vì hàm lượng epoxy ở mỗi mẫu là khác nhau nên thời gian gel hóa cũng sẽ khác, thời gian gel hóa trung bình của hệ nhựa epoxy DER 331/NTR là 75 phút. Đây là thời gian đóng rắn mẫu composite chưa hoàn toàn. Để có thể đóng rắn sâu, mẫu được để ổn định trong 1 tuần, sau đó các mẫu composite sẽ được khảo sát mức độ gel hóa (mức độ đóng rắn) bằng phương pháp Soxhlet.

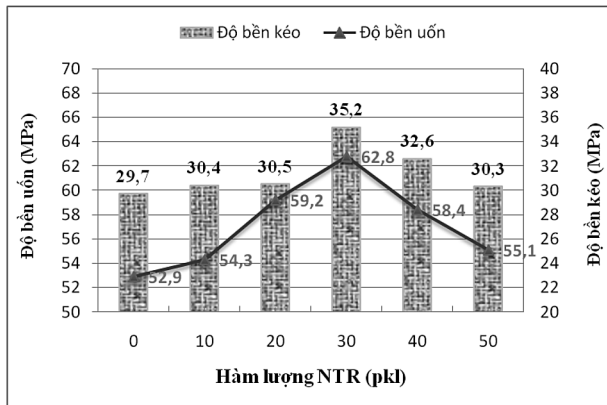
Kết quả khảo sát mức độ gel hóa của các mẫu composite đóng rắn sau một tuần đều trên 90%. Điều này cho thấy hiệu suất của phản ứng đóng rắn nguội bằng amine thẳng đạt được là đáng kể.



Hình 4. Phản ứng khâu mạch epoxy bằng chất đóng rắn amine tạo vật liệu composite

3.3. Khảo sát các tính chất cơ học của vật liệu polymer composite

Tro trấu sau xử lý được rửa sạch bằng axetone và sấy khô trước khi đem trộn hợp với nhựa nền epoxy. Hỗn hợp sau khi được khuấy trộn đều cần để ổn định trong bình hút ẩm để đảm bảo nhựa nền thấm đều bột trấu. Các mẫu composite được chế tạo theo tiêu chuẩn kích thước mẫu và để ổn định trước khi đem xác định các tính chất cơ học. Phân tích các giá trị độ bền kéo đứt và độ bền uốn của vật liệu composite epoxy DER 331/NTR biến đổi theo hàm lượng NTR được thể hiện ở Hình 5.

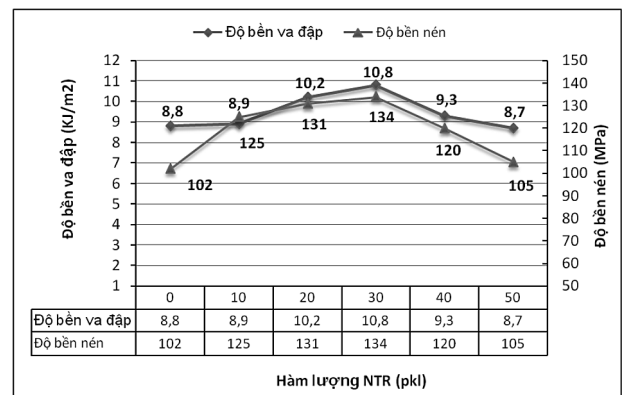


Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng NTR đến độ bền kéo và độ bền uốn của vật liệu composite epoxy DER 331/ NTR

Từ Hình 5 nhận thấy, độ bền kéo và độ bền uốn của mẫu composite đều gia tăng khi đưa NTR vào nhựa nền epoxy DER 331. Khi tăng hàm lượng NTR đến 30 (phl) giá trị độ bền kéo đạt được lần lượt là 35,2 MPa, nhưng khi tiếp tục tăng lên 40; 50 (phl) thì độ bền kéo lại có xu hướng giảm. Tuy nhiên, mặc dù

giá trị độ bền có giảm nhưng giá trị độ bền kéo đạt được vẫn lớn hơn so với mẫu chưa có NTR. Các giá trị độ bền uốn đạt được cũng cho cùng một xu hướng. Giá trị đạt được lớn nhất ở 30PKL, độ bền uốn đạt 62,8MPa. Điều này cho thấy khi đưa NTR vào nhựa nền epoxy đã có tác dụng làm giảm tính giòn của vật liệu, phát huy được đặc tính của từng thành phần, làm gia tăng độ bền cơ học của vật liệu.

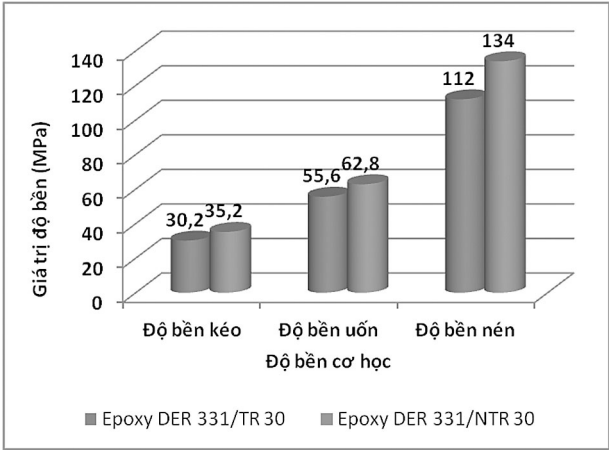
Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng NTR đến độ bền nén và độ bền va đập thu được kết quả như Hình 6. Trong đó, độ bền nén và độ bền va đập của vật liệu composite đều gia tăng khi tăng hàm lượng NTR từ 10; 20 và 30 (phl) vào nhựa nền epoxy. Giá trị độ bền va đập của nhựa nền từ 8,8 (kJ/m²) tăng lên 10,8 (kJ/m²) tại hàm lượng 30 (phl), còn độ bền nén của nhựa nền đạt được là 102 MPa, khi có 30 (phl) NTR đã tăng lên 134 MPa (tức là đã tăng 31,37%).



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng NTR đến độ bền nén và độ bền va đập của vật liệu composite epoxy DER 331/NTR

Tuy nhiên, giá trị độ bền nén và độ bền va đập sau đó lại có xu hướng giảm, đặc biệt ở hàm lượng trấu 50 (phl). Đây là mẫu có hàm lượng NTR lớn, có độ nhớt cao nên có thể đã gây cản trở cho quá trình gia công mẫu làm cho sự phân tán tương tác giữa tro trấu và nhựa nền epoxy bị suy giảm.

Để xác định hiệu quả của việc sử dụng tro trấu đã xử lý với tro trấu ban đầu làm chất độn cho vật liệu composite, nghiên cứu đã kiểm tra độ bền cơ học của các mẫu composite tạo thành với cùng hàm lượng TR và NTR là 30 (phl). Kết quả ghi nhận được ở Hình 7 cho thấy mẫu composite có NTR cho độ bền cơ học tốt hơn hẳn so với mẫu composite sử dụng TR.



Hình 7. So sánh giá trị độ bền cơ học của mẫu composite Epoxy DER 331/TR 30 và mẫu Epoxy DER 331/NTR 30

Cả ba giá trị độ bền kéo, uốn và độ bền nén ghi nhận được ở Hình 7 lần lượt là 30,2 MPa lên 35,2 MPa; 55,6 MPa lên 62,8 MPa và 112 MPa lên 134 MPa. Trong khi đó giá trị độ bền va đập của mẫu composite Epoxy DER 331/TR 30 là 9,3 kJ/m² và mẫu Epoxy DER 331/NTR 30 đạt được là 10,8 kJ/m².

Như vậy, việc sử dụng tro trấu đã qua xử lý để làm chất độn cho vật liệu composite nền nhựa epoxy đã cải thiện được một số tính chất cơ học của vật liệu như độ bền kéo, độ bền uốn, va đập và độ bền nén. Đặc biệt các giá trị độ bền này tăng khi tăng hàm lượng tro trấu và đạt giá trị lớn nhất ở 30 (phần trăm). Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng lượng tro trấu lên 40 đến 50 (phần trăm)

thì các tính chất cơ học có xu hướng suy giảm. Đó là do lượng tro trấu đưa vào nhựa nền epoxy lớn khiến lượng nhựa nền không đủ thấm đều bề mặt tro trấu, thêm vào đó độ nhớt của hệ cũng tăng nhiều dẫn đến sự phân tán khó đồng đều của tro trấu vào nhựa nền, gây cản trở cho quá trình gia công và làm ảnh hưởng xấu đến tính chất của vật liệu composite.

Trên cơ sở nghiên cứu đặc tính của tro trấu sau xử lý, tính chất vật lý và tính chất cơ học của vật liệu composite epoxy DER 331 ở trên, có thể thấy với hàm lượng NTR 30 (phần trăm) cho vật liệu composite có độ bền cơ học tốt hơn cả và phù hợp với điều kiện gia công.

3.4. So sánh tính chất cơ học của vật liệu composite Epoxy DER 331/NTR với vật liệu composite Epoxy DER 331/chất độn khác

Để có cái nhìn khách quan và thấy rõ hơn được vai trò của NTR như là một chất độn, có giá trị tương đương với các chất độn hiện có như đá vôi, tro bay, bột talc, nghiên cứu đã tiến hành khảo sát và lập bảng so sánh các tính chất cơ học của vật liệu composite khác nhau trên cùng nhựa nền epoxy DER 331. Kết quả được ghi nhận và phân tích qua Bảng 3 chứng minh được việc lựa chọn NTR làm chất độn cho vật liệu polymer composite là hoàn toàn phù hợp và có thể thay thế các chất độn khác khi nguồn nguyên liệu ngày càng hạn chế. Sản phẩm composite tạo thành đáp ứng được các yêu cầu đặt ra theo các tiêu chuẩn.

Bảng 3. Tổng hợp các tính chất cơ học của mẫu composite nền nhựa Epoxy DER 331 với một số chất độn khác nhau với cùng hàm lượng 30 (phần trăm)

Mẫu	Epoxy	Epoxy/NTR	Epoxy/tro bay	Epoxy/CaCO ₃	Epoxy/talc
Tính chất					
Khối lượng riêng (g/cm ³)	1,16	1,31	1,26	1,24	1,28
Độ bền kéo (MPa)	29,7	35,2	30,5	32,6	33,5
Độ bền uốn (MPa)	52,9	62,8	59,2	58,6	57,8
Độ bền va đập (kJ/m ²)	8,8	10,8	6,7	7,2	7,8
Độ bền nén (MPa)	102	134	138	124	132

4. Kết luận

Qua quá trình thực nghiệm cho thấy, với 30 phần trăm khối lượng tro trấu đã qua xử lý, độ bền cơ học vật

liệu polymer composite với nhựa nền epoxy DER 331 là tốt nhất. Việc khai thác, tái sử dụng vỏ trấu, một loại phế phẩm nông nghiệp, qua xử lý thành chất độn

cho vật liệu polymer composite rất có ý nghĩa. Không chỉ tạo nên một loại vật liệu mới có độ bền cơ học tương đương với vật liệu composite sử dụng các chất độn đang có trên thị trường mà còn tạo nên một vật liệu nhẹ, tiết kiệm chi phí sản xuất và cải thiện môi trường. Đây là một tiềm năng để khai thác, nghiên cứu và phát triển, đưa sản phẩm vào ứng dụng thực tiễn.

Tài liệu tham khảo

- Ahmed A. Moosa, Ban F. Saddam. (2017). Synthesis and Characterization of Nanosilica from Rice Husk with Applications to Polymer Composites. *American Journal of Materials Science*, 7(6), 223-231.
- Antaryami Mishra¹, Deepanjali Padhee. (2017). Evaluation of Mechanical Properties of Rice Husk-Fly Ash-Epoxy Hybrid Composites. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(3), 91-99.
- Autar K. Kaw. (2005). *Mechanics of Composite Materials*. CRC Press, 212-219.
- Đoàn Văn Diệp, Phạm Kim Điền. (2021). Tổng quan ứng dụng của tro trấu trong lọc nước, *Tạp chí Công Thương*, (17).
- Goodman, S.H. (1996). *Epoxy resins*. Handbook of Thermoset Plastics, Chap 6, 193-264.
- Neeraj Bisht, Prakash Chandra Gope. (2015). Mechanical properties of rice husk flour reinforced epoxy biocomposite. *Neeraj Bisht Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 5(6), (Part -3), 123-128.
- Nguyễn Thị Liên. (2016). *Chế tạo vật liệu hấp phụ từ phế phụ phẩm nông nghiệp để xử lý chất hữu cơ trong nước thải làng nghề chế biến nông sản xã Dương Liễu - huyện Hoài Đức- Thành phố Hà Nội*. Luận văn Thạc sĩ, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, 10-15.
- Valchev I., V. Lasheva, Tz. Tzolov, N. Josifov. (2009). Silica products from rice hulls. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 44(3), 257-261.