

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU CỦA LỖI 3D ĐẾN ĐỘ BỀN CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU TỔ HỢP CẤU TRÚC ĐA LỚP SỬ DỤNG SỢI XƠ DỪA

STUDY ON THE EFFECTS OF MATERIAL AND 3D STRUCTURE OF THE CORE ON MECHANICAL STRENGTH OF MULTI-LAYER COCONUT BIOFIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIAL

Trưởng Thị Nguyệt Ánh, Đặng Thảo Yến Linh, Trần Hùng Thuận, Chu Xuân Quang, Thái Thị Xuân Trang

Trung tâm Công nghệ Vật liệu, Viện Ứng dụng Công nghệ (NACENTECH)

Đến Tòa soạn ngày 15/11/2020, chấp nhận đăng ngày 01/12/2020

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, vật liệu tổ hợp đa lớp cốt sợi xơ dừa sử dụng kết cấu lõi 3D được chế tạo bằng công nghệ prepreg và hút chân không. Loại lõi xốp, độ dày lớp lõi, kết cấu 3D của lớp lõi và độ dày lớp bề mặt, là những yếu tố ảnh hưởng đến tính chất cơ học của vật liệu thành phẩm, đã được đánh giá. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy sử dụng kết cấu lõi 3D đã cải thiện đáng kể độ bền cơ học của vật liệu (độ bền uốn, độ bền kéo trượt), trong đó đặc biệt độ bền kéo trượt tăng từ 1,8 - 3,15 lần so với mẫu vật liệu tổ hợp không có kết cấu lõi 3D. Với cùng mật độ sợi, kiểu sắp xếp sợi tạo kết cấu lõi 3D có ảnh hưởng lớn đến tính chất cơ học của mẫu vật liệu, độ bền trượt và độ bền uốn tăng theo các kiểu sắp xếp: Kiểu dây liên tục (CDW) < Kiểu dây liên tiếp cách đều (CDR) < Kiểu tường luân phiên (CDWA), tuy nhiên độ bền nén hầu như không có sự khác biệt. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng độ dày lớp bề mặt của vật liệu trong khoảng từ 2-3 mm là phù hợp, vừa đảm bảo được đặc tính cơ lý cần thiết cũng như trọng lượng cho vật liệu đối với một số ứng dụng trong dân dụng.

Từ khóa: vật liệu đa lớp, cấu trúc 3D, vật liệu polyme compozit, prepreg, công nghệ túi hút chân không.

Abstract: In this study, 3D multi-layer biofiber reinforced composite material was prepared by the prepregs and vacuum bag process. The type, the thickness and the 3D structure of the foam core, and the thickness of the surface layer, which influence the mechanical properties of the material, were evaluated. The result showed that, the 3D core structure has significantly improved the mechanical strength of the material (flexural strength, tensile strength, and compressive strength), especially the tensile strength increased from 1.8 to 3.15 times as compared to the composite material without a 3D core structure. With the same fiber density, the 3D core structure greatly affects the mechanical properties of the sample material, the tensile and flexural strengths increased in the order: Composite 3D-Wall (CDW) < Composite 3D-Regular (CDR) < Composite 3D- Alternating Wall (CDWA). However, the compressive strength was less affected. The thickness of the surface layer of 2-3 mm are appropriate for good physical properties as well as for light weight of the material.

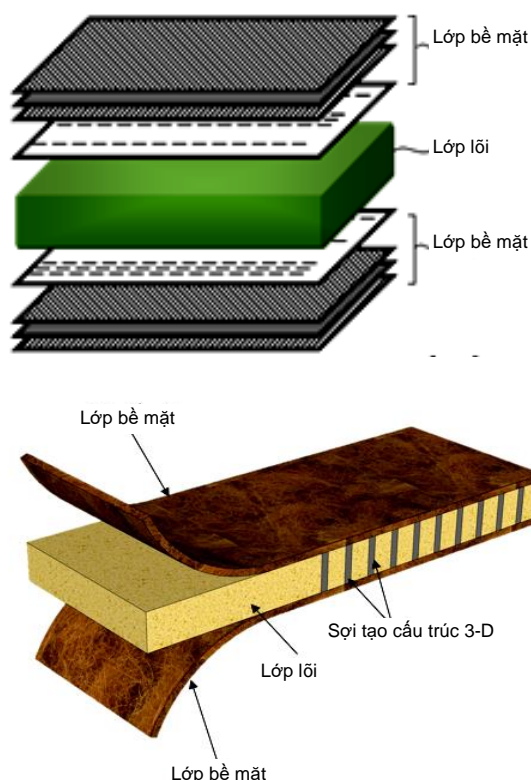
Keywords: sandwich composite, 3D composite, polymer composite, prepreg, vacuum bag processing.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong nhiều năm trở lại đây, vật liệu tổ hợp gia cường cốt sợi sinh học đã thu hút sự chú ý của

các nhà nghiên cứu. Việc ứng dụng các sản phẩm chế tạo từ vật liệu này đã được mở rộng trong hầu hết các lĩnh vực nhằm tận dụng sự

sẵn có của nguồn nguyên liệu sợi sinh học [1, 2]. Các nghiên cứu tại Việt Nam hiện nay chủ yếu là các nghiên cứu về vật liệu tổ hợp cốt sợi sinh học trên nền polyme đơn thuần. Các vật liệu này có ứng dụng trong một số lĩnh vực không đòi hỏi tính chất cơ học quá cao hay điều kiện môi trường khắc nghiệt. Do đó, các nghiên cứu cải thiện các tính năng của vật liệu, tăng cường tính chất cơ lý, tận dụng tốt tính chất của vật liệu đơn pha trong hệ vật liệu tổ hợp là cần thiết. Vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học được chế tạo bằng công nghệ hút chân không sử dụng nguyên liệu sợi đã tẩm nhựa ở dạng bán thành phẩm (prepreg) có nhiều tiềm năng ứng dụng. Đối với loại vật liệu này, lớp lõi có kết cấu 3D đã được sử dụng để làm tăng cường độ bền cơ lý và đặc biệt làm giảm sự tách pha giữa lớp bề mặt và lớp lõi [3].



Hình 1. Kết cấu vật liệu tổ hợp đa lớp [6]

Điểm khác biệt của nghiên cứu này so với các nghiên cứu khác trong nước được thể hiện ở những điểm sau: i) nguyên liệu là sợi sinh học được sử dụng kết hợp với kết cấu lõi 3D để tạo

thành cấu trúc sandwich; ii) sử dụng tích hợp các công nghệ và phương pháp chế tạo tiên tiến hiện nay (phương pháp tạo kết cấu lõi 3D, phương pháp tạo hình sản phẩm cấu trúc đa lớp sandwich, công nghệ prepreg, công nghệ hút chân không). Vật liệu được chế tạo thử nghiệm trong nghiên cứu có khả năng ứng dụng để sản xuất các sản phẩm dân dụng như: giường, tủ, bàn ghế, cửa ra vào và các loại vách ngăn,... đến các ứng dụng cao cấp trong giao thông vận tải và hàng không [4,5].

Nghiên cứu này tập trung vào việc xác định ảnh hưởng của chiều dày lớp bề mặt, lớp lõi và kiểu kết cấu 3D (hình 1) đến tính chất cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp sử dụng hai lớp bề mặt là vật liệu composit trên cơ sở nhựa polyester không no cốt sợi xơ dừa và lõi xốp (polystyren, polyurethane). Mẫu vật liệu được chế tạo bằng phương pháp hút chân không có sử dụng prepreg trên cơ sở nhựa polyester và cốt sợi xơ dừa.

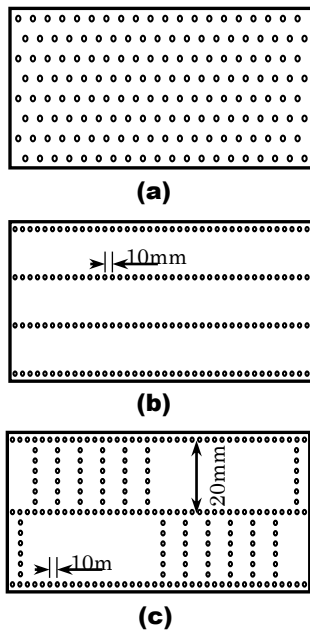
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên vật liệu

- Sợi xơ dừa: Sợi xơ dừa thô được xử lý bằng cách ngâm nước trong 3 ngày, ngâm trong dung dịch NaOH 4% trong 3 ngày và rửa lại nhiều lần đến khi nước rửa đạt pH=7, sợi sau đó được sấy ở 70°C trong 24h. Sợi xơ dừa sau đó được dùng để làm prepreg với tỷ lệ giữa sợi và nhựa là 1:1.
- Nhựa nền: Polyeste không no loại isophtalic (P7334, Swancor, Đà Loan); chất khơi mào: Metyletylketonperoxit (MEKP, Swancor, Đà Loan); chất xúc tác: coban naphthenat 6% (Sawncor, Đà Loan).
- Vật liệu lõi: Hai loại lõi xốp được sử dụng là lõi xốp Ppolystyren (XPS, tỷ trọng 30-50 kg/m³, độ dày 25, 30, 40 mm, hệ số dẫn nhiệt 0,028 W/m.k, Việt Nam); lõi xốp polyurethan (PU, tỷ trọng 55-60 kg/m³, độ dày 25, 30, 40 mm, hệ số dẫn nhiệt 0,018 W/m.k, Việt Nam).

2.2. Phương pháp chế tạo

- Chế tạo lớp lõi có kết cấu 3D: sợi xơ dừa (bó 15-20 sợi) qua xử lý được chạy từ trên xuống dưới lớp lõi theo các kiểu sau:

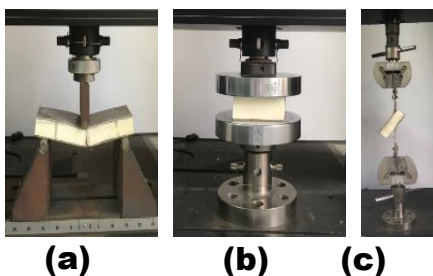


Hình 2. Kiểu kết cấu sợi tạo cấu trúc lõi 3D

- (a) Kiểu liên tiếp cách đều (CDR, Composite 3D-Regular); (b) Kiểu dây liên tục (CDW, Composite 3D-Wall); (c) Kiểu tường luân phiên (CDWA, Composite 3D-Alternating Wall)

- Chế tạo vật liệu composit cấu trúc sandwich kết cấu lõi 3D theo công nghệ prepreg và ép hút chân không. Trộn chất khơi mào, chất xúc tác vào nhựa polyeste không no theo hàm lượng đã xác định để chế tạo prepreg, xếp vật liệu vào khuôn sau đó ép hút chân không định hình sản phẩm.

2.3. Phương pháp xác định độ bền cơ học



Hình 3. Thử nghiệm đo độ bền cơ lý của vật liệu
(a) bền uốn; (b) bền nén; (c) bền trượt

- Độ bền uốn được thử nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C393 (hình 3a); độ bền nén của

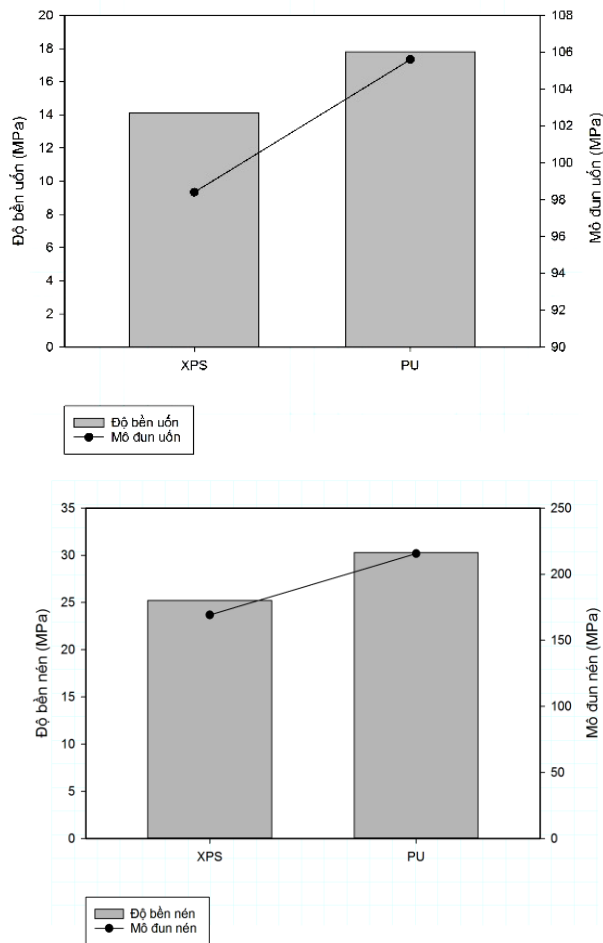
vật liệu được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C365 (hình 3b).

- Độ bền kéo trượt được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C273 (hình 3c) trên máy kéo vạn năng Instron 5569 (Hoa Kỳ).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của vật liệu lõi khác nhau

Kết quả đo đặc tính chất cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp được chế tạo từ 02 loại lõi xốp PU và XPS với lớp bề mặt là sợi xơ dừa chế tạo theo công nghệ prepreg, độ dày 2mm được thể hiện ở hình 4.



Hình 4. Độ bền cơ lý của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp với vật liệu lõi khác nhau

Thực nghiệm cho thấy vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp với lõi là xốp PU cho độ bền cơ học cao hơn vật liệu với lõi xốp XPS. Một trong những nguyên nhân khiến cho độ bền cơ học của vật liệu cấu trúc đa lớp lõi PU cao hơn là do dung

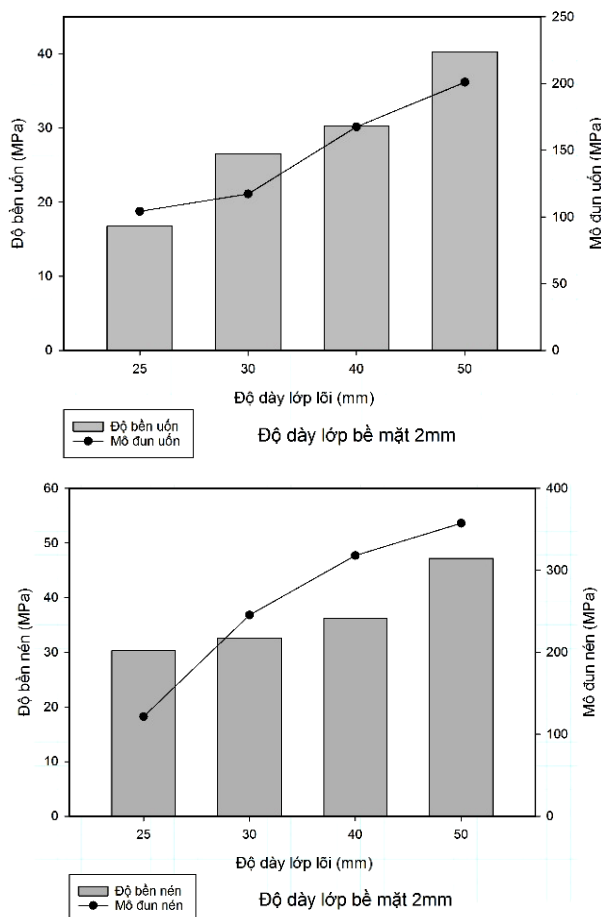
môi styrene trong nhựa polyeste không no hòa tan polystyrene của lõi xốp XPS, vì vậy, lõi xốp XPS dễ bị chảy, móp méo trong thời gian nhựa đóng rắn làm giảm khả năng liên kết giữa các lớp (hình 4.2) từ đó làm giảm độ bền cơ lý của vật liệu.



Hình 5. Bề mặt cắt ngang vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học với vật liệu lõi khác nhau

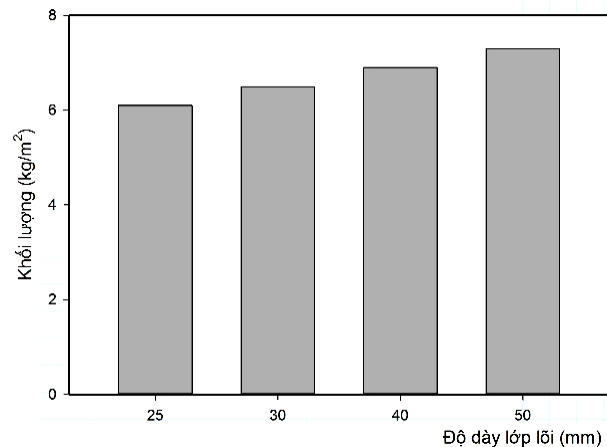
a) Lõi xốp XPS; b) Lõi xốp PU

3.2. Ảnh hưởng của độ dày lớp lõi



Hình 6. Ảnh hưởng của chiều dày lớp lõi đến độ bền uốn và bền nén của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học

Độ dày của lớp lõi được lựa chọn tùy theo yêu cầu của sản phẩm. Trong đó, hai yếu tố quan trọng là độ bền cơ học và trọng lượng. Sử dụng lõi xốp PU có độ dày từ 25 đến 50 mm để chế tạo mẫu vật liệu. Kết quả đo độ bền và trọng lượng của vật liệu được thể hiện lần lượt trong hình 6 và 7.



Hình 7. Ảnh hưởng của chiều dày lớp lõi đến trọng lượng của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học

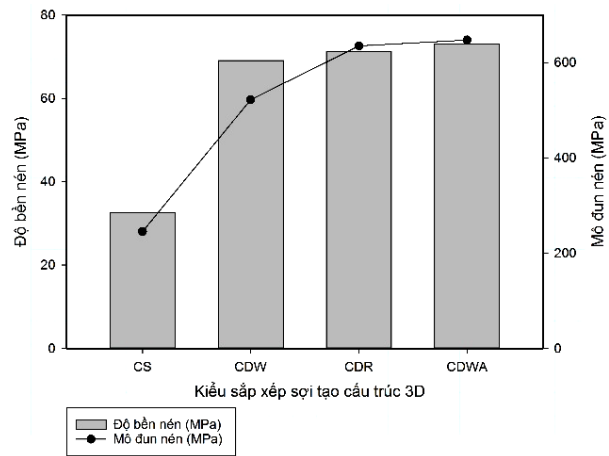
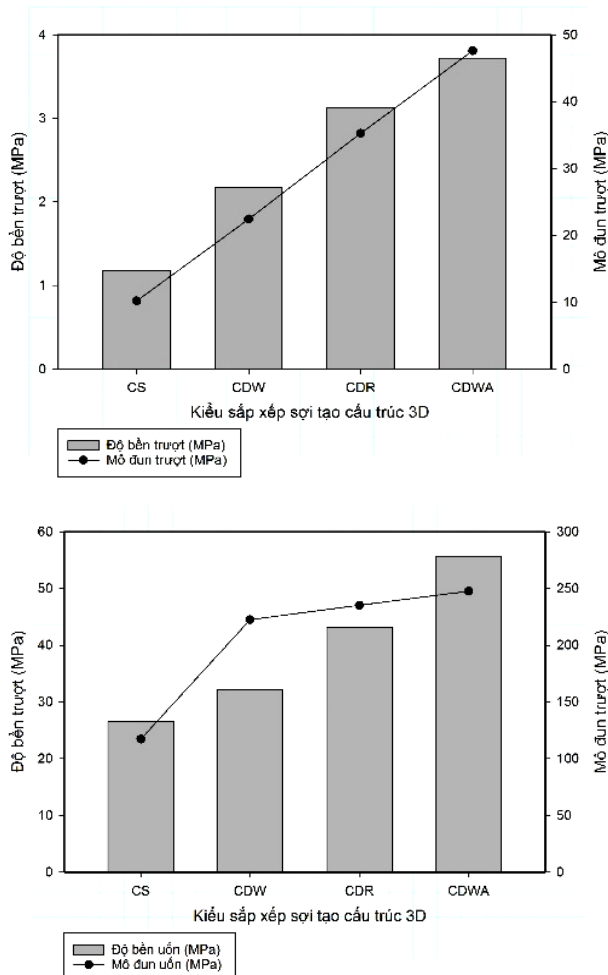
Kết quả hình 6 thể hiện, khi tăng chiều dày của lớp lõi thì độ bền cơ học của vật liệu tăng lên, cụ thể, với độ dày lõi là 25 mm độ bền uốn và độ bền nén của vật liệu đạt lần lượt 16,8 và 24,3 MPa, tiếp tục sử dụng lõi với độ dày 30, 40 và 50 mm độ bền cơ học của vật liệu cũng tăng dần đều và ở độ dày lõi là 50 mm độ bền uốn và độ bền nén đạt lần lượt 40,2 và 47,2 MPa. Tương tự, mô đun uốn và mô đun nén của vật liệu cũng tăng tỷ lệ thuận với chiều dày của lớp lõi. Bên cạnh đó, do có tỷ trọng thấp ($55\text{--}60\text{ kg/m}^3$) nên việc tăng chiều dày của lớp lõi ảnh hưởng ít đến trọng lượng của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp. Hình 7 cho thấy, khi tăng chiều dày của lớp lõi lên 5-10 mm thì trọng lượng của toàn bộ tấm vật liệu chỉ tăng từ $6,1\text{ kg/m}^2$ lên $6,5\text{ kg/m}^2$ (tăng 5mm) và tăng $6,9\text{ kg/m}^2$ kích thước $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ (khoảng 6,5%-13,1%). Vì vậy, tính trung bình, khi tăng 1mm chiều dày thì trọng lượng chỉ tăng 1,3%.

Chính vì vậy, có thể tăng chiều dày của lớp lõi khi muốn nâng cao độ bền cơ học của sản phẩm composit sandwich hoặc tăng các tính năng cách âm, cách nhiệt của thành phẩm.

Như vậy, thay đổi độ dày của lớp lõi vật liệu cấu trúc đa lớp sẽ làm tăng độ bền cơ học, trong khi khối lượng của tấm vật liệu chỉ tăng lên rất nhỏ. Do đó, tùy vào từng ứng dụng có thể lựa chọn lõi có độ dày khác nhau để đáp ứng được nhu cầu trong thực tế.

3.3. Ảnh hưởng của kết cấu lõi 3D đến độ bền cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học

Ảnh hưởng của kiểu sắp xếp sợi tạo kết cấu lõi 3D đến độ bền cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp (với mật độ sợi tương đương nhau khoảng 1 sợi/cm²) đã được khảo sát. Kết quả được thể hiện trên hình 8.



Hình 8. Ảnh hưởng của kiểu sắp xếp sợi tạo kết cấu 3D đến độ bền cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học

Kết quả tại hình 8 cho thấy, kết cấu lõi 3D có ảnh hưởng rất lớn đến độ bền trượt của của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp, độ bền trượt chỉ đạt 1,18 MPa với vật liệu lõi không có kết cấu 3D (CS) và tăng lên 2,17 MPa khi sử dụng kiểu kết cấu 3D dạng dây liên tục (CDW). Kết quả cũng cho thấy, khi thay đổi kiểu sắp xếp sợi tạo kết cấu lõi 3D thì độ bền trượt cũng thay đổi. Với kiểu sắp xếp liên tiếp cách đều (CDR) độ bền trượt của vật liệu đạt 3,13 MPa, tuy nhiên với cùng một mật độ sợi tương đương thì cách bố trí theo kiểu CDW độ bền trượt giảm 30,7% xuống còn 2,17 MPa trong khi với kiểu tường luân phiên (CDWA) thì độ bền trượt lại tăng lên 3,72 MPa. Tương tự như độ bền trượt, mô đun trượt cũng tăng khi thay đổi kiểu sắp xếp sợi tạo kết cấu lõi 3D, lần lượt từ 22,43 MPa đến 35,27 MPa và cao nhất là 47,62 MPa đối với các kiểu sắp xếp CDW, CDR, CDWA.

Đối với độ bền uốn, tương tự như khi khảo sát độ bền trượt thì độ bền uốn của vật liệu cũng tăng lên đối với mẫu vật liệu tổ hợp có sử dụng lõi có kết cấu 3D và cũng đạt giá trị cao nhất khi sợi được bố trí theo kiểu CDWA, tăng khoảng 22,6-42,3% so với kiểu kiểu CDR và CDW.

Không giống như độ bền trượt và độ bền uốn, độ bền nén ít chịu ảnh hưởng bởi kiểu sắp xếp sợi của kết cấu lõi 3D. Tuy nhiên việc sử dụng kết cấu lõi 3D vẫn có hiệu quả làm tăng độ bền nén cho vật liệu khi so sánh với mẫu vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp với lớp lõi không có kết cấu 3D. Cụ thể, mẫu vật liệu không có kết cấu lõi 3D chỉ có độ bền nén đạt 32,6 MPa, trong khi các mẫu vật liệu có sử dụng kết cấu lõi 3D đều có độ bền nén đạt trên 60 MPa. Điều này có thể được giải thích là do kết cấu 3D đã có tác dụng dẫn nhựa vào bên trong lõi xốp từ đó sẽ giúp gia cường thêm độ bền cho lõi giúp tăng độ bền nén. Kết quả đo đạc cũng cho thấy rằng, trong cả 3 kiểu sắp xếp sợi tạo kết cấu lõi 3D, độ bền nén của vật liệu là không có sự khác biệt đáng kể, lần lượt là 69,1; 71,23 và 73,08 MPa đối với các mẫu vật liệu có kết cấu lõi 3D theo kiểu CDW, CDR và CDWA.

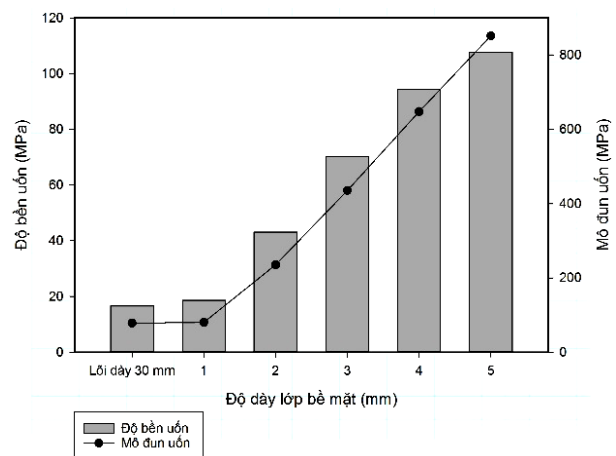
Như vậy, kiểu sắp xếp sợi tạo kết cấu lõi 3D cho thấy có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp khi mật độ sợi tạo kết cấu lõi 3D là tương đương. Trong đó, chịu ảnh hưởng nhiều nhất là độ bền trượt, tiếp đến là độ bền uốn và cuối cùng là độ bền nén. Qua các kết quả thực nghiệm và đo đạc trên kiểu kết cấu lõi 3D CDWA được lựa chọn cho các nghiên cứu tiếp theo.

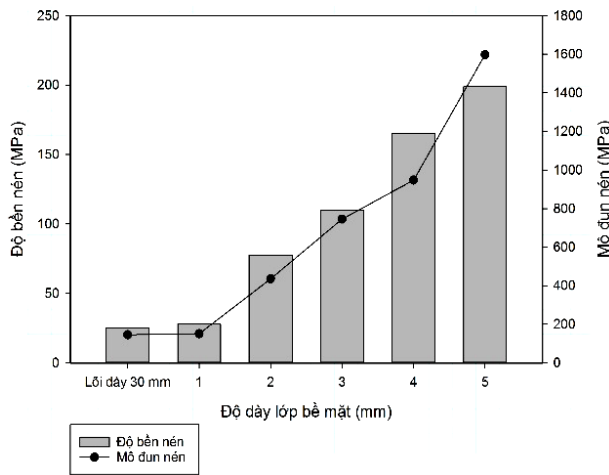
3.4. Ảnh hưởng có độ dày lớp bề mặt đến độ bền cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học

Độ dày lớp bề mặt có ảnh hưởng đến độ bền cơ lý của tấm vật liệu, vì vậy lựa chọn được độ dày của lớp bề mặt thích hợp sẽ giúp đảm bảo chất lượng cho tấm vật liệu và tiết kiệm được chi phí sản xuất. Để đánh giá ảnh hưởng này, các mẫu vật liệu đã được chế tạo với các độ dày lớp bề mặt lần lượt là 1, 2, 3, 4 và 5 mm, với kết cấu 3D của lớp lõi theo kiểu CDWA có

chiều rộng của tường là 50 mm, khoảng cách giữa các tường là 20 mm, độ dày lớp lõi là 30 mm. Kết quả độ bền cơ học của các mẫu được thể hiện trong hình 9.

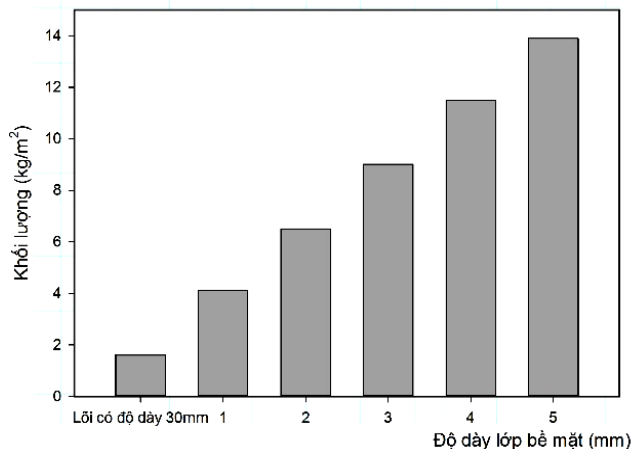
Kết quả cho thấy, vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp được chế tạo với cùng một kết cấu sợi gia cường và chế độ công nghệ như nhau, độ dày của lớp bề mặt ảnh hưởng đáng kể đến độ bền uốn của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp. Với chiều dày là 1 mm độ bền uốn và độ bền nén của vật liệu tăng không đáng kể lần lượt là 18,57 MPa và 25,12 MPa, so với độ bền của lõi xốp PU (16,54 và 25,12 MPa). Điều này có thể được giải thích rằng: độ dày của lớp bề mặt thấp nên chưa có tác dụng làm tăng độ bền cho vật liệu. Tuy nhiên, khi chiều dày của lớp bề mặt tăng lên 2 mm thì độ bền cơ học của vật liệu bắt đầu tăng lên đáng kể. Với chiều dày của lớp bề mặt là 3 mm thì độ bền uốn cũng như môđun uốn đã tăng lên gần gấp 2 lần, và với chiều dày là 5 mm thì độ bền tăng lên 2,4 lần so với mẫu vật liệu có lớp bề mặt dày 2 mm. Tương tự như độ bền uốn, kết quả cho thấy độ bền nén của tấm vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cũng tăng tỷ lệ thuận với độ dày của lớp bề mặt, với độ dày lớp bề mặt là 5 mm độ bền nén tăng lên gấp 2,5 lần so với tấm vật liệu có độ dày lớp bề mặt là 2 mm.





Hình 9. Ảnh hưởng của độ dày lớp bề mặt đến độ bền cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc lớp cốt sợi sinh học

Để có thể đưa ra những lựa chọn thích hợp đối với độ dày của lớp bề mặt, nhóm nghiên cứu đã tiến hành đo đặc trưng lượng của các mẫu vật liệu có chiều dày lớp bề mặt đã được chế tạo ở trên (hình 10).



Hình 10. Ảnh hưởng của độ dày lớp bề mặt đến trọng lượng của tấm vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học

Kết quả cho thấy, nếu lớp bề mặt có chiều dày tăng từ 2 mm lên 3 mm thì trọng lượng vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp sẽ tăng khoảng 27,8%, nếu tăng lên 4 mm trọng lượng sẽ tăng 55,7% và nếu tăng lên đến 5 mm thì trọng lượng sẽ tăng lên 85,2%. Như vậy, đối với vật liệu tổ

hợp cấu trúc đa lớp (lõi xốp PU) thì độ dày của lớp bề mặt có ảnh hưởng lớn đến trọng lượng của nó. Qua khảo sát các yêu cầu kỹ thuật, nhóm nghiên cứu đưa ra đề xuất rằng độ dày lớp bề mặt thích hợp là nằm trong khoảng từ 2-3 mm là có thể đảm bảo được độ bền cơ học khi ứng dụng vật liệu này vào chế tạo các loại cửa và vách ngăn dân dụng.

4. KẾT LUẬN

- Lõi xốp PU là phù hợp để chế tạo vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp kết cấu 3D. Độ dày lớp lõi ảnh hưởng ít đến trọng lượng của vật liệu, tùy thuộc vào từng ứng dụng có thể lựa chọn lõi có độ dày sao cho phù hợp và đáp ứng yêu cầu về độ bền của sản phẩm.

- Lớp lõi có kết cấu 3D đã cải thiện đáng kể độ bền cơ học của vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp. Trong đó, đặc biệt độ bền kéo trượt của vật liệu đã được cải thiện đáng kể, tăng từ 1,8-3,15 lần so với vật liệu tổ hợp mà lớp lõi không có kết cấu 3D. Với cùng một mật độ sợi, cách sắp xếp sợi tạo kết cấu 3D ảnh hưởng nhiều đến tính chất cơ học của vật liệu tổ hợp đa lớp. Độ bền kéo trượt và độ bền uốn tăng dần theo dãy: $CDW < CDR < CDWA$. Độ bền nén ít thay đổi theo kiểu kết cấu 3D của lớp lõi.

- Đối với các ứng dụng trong chế tạo các sản phẩm cửa, vách ngăn dân dụng, độ dày lớp bề mặt thích hợp là từ 2-3 mm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài cấp Bộ Khoa học và Công nghệ năm 2019-2020 “Nghiên cứu chế tạo vật liệu tổ hợp cấu trúc đa lớp cốt sợi sinh học ứng dụng trong sản xuất sản phẩm dân sinh” do Trung tâm Công nghệ vật liệu chủ trì.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H.P.G. Santafe Junior, F.P.D. Lopes, L.L. Costa and S.N. Monteiro, 2010. *Mechanical properties of tensile tested coir fiber reinforced polyester composites*. Revista Materia, 15, 113-118.
- [2] N. Ayilimis, S. Jarusombuti, V. Fueangvivat, P. Bauchongkol and R.H. White, 2011. *Coir fiber reinforced polypropylene composite panel for automotive interior applications*. Fibers and Polymers. 12, 919-926.
- [3] M.K. Bannister, R.Braemar and P.J. Crothers, 1999. *The mechanical performance of 3-D woven sandwich composites*. Composite Structures. 47, 687- 690.
- [4] E.M. Reis, J.F. Patrick and S.H. Rizkalla, 2006. *Material Properties of 3-D GFRP Sandwich Panels for Civil Infrastructures*, Composites 2006 Convention and Trade Show American Composites Manufacturers Association October 18-20.
- [5] J.L. Grenestedt, 2005. *New concepts for sandwich structures*, Sandwich Structures 7: Advancing with Sandwich Structures and Materials, 835–844.
- [6] G. Le Roy, C. Binetruy and P. Krawczak, 2005. *Continuous manufacture and performance of 3-D reinforced Sandwich structures*. Sandwich Structures 7: Advancing with Sandwich Structures and Materials, 603-702

Thông tin liên hệ: **Tường Thị Nguyệt Ánh**

Điện thoại: 0904201077; Email: nguyetanhk28@gmail.com

Trung tâm Công nghệ vật liệu, Viện Ứng dụng công nghệ.

