

CHẾ TẠO VÀ XÁC ĐỊNH TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE TRÊN NỀN EPOXY/AMIN GIA CƯỜNG SỢI XƠ DỪA

FABRICATING AND DETERMINATING PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY/AMINE REINFORCED BY COCONUT FIBERS

Nguyễn Đình Lâm¹, Nguyễn Thanh Hội²

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; ndlam@dut.udn.

²Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng; nthoi@ud.edu.vn

Tóm tắt - Sự phát triển của vật liệu composite polyme gia cường sợi tổng hợp đã làm gia tăng lượng chất thải khó phân hủy vào môi trường. Việc sử dụng sợi tự nhiên để thay thế một phần hoặc toàn bộ sợi tổng hợp đã và đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Ứng dụng sợi xơ dừa vào lĩnh vực vật liệu composite là một hướng mới không những đem lại hiệu quả kinh tế cao mà còn góp phần đáng kể vào việc bảo vệ môi trường. Nghiên cứu này được thực hiện trên các mẫu composite (epoxy/amin) gia cường sợi xơ dừa với hàm lượng 25% khối lượng. Một loạt các kỹ thuật cho phép xác định các tính chất cơ lý của composite được thực hiện bởi các thiết bị trong phòng thí nghiệm như: phân tích nhiệt trọng lượng (TGA), phép đo uốn 3 điểm, phép đo độ bền kéo và khả năng hấp thụ nước... Ngoài ra, việc so sánh tính chất cơ lý của composite nghiên cứu với các loại ván thông dụng cũng như ứng dụng loại vật liệu này để sản xuất vật lưu niệm cũng được đề cập đến.

Từ khóa - composite; epoxy/amin; xơ dừa; tính chất cơ lý; sợi sinh học

1. Đặt vấn đề

Các loại sợi gia cường truyền thống hay dùng cho vật liệu composite là sợi cacbon, sợi thủy tinh, sợi aramit. Tuy nhiên các loại sợi này được tổng hợp từ nguồn nguyên liệu không tái tạo, có giá thành cao làm tăng giá thành sản xuất sản phẩm, không có khả năng phân hủy, kéo theo vật liệu composite từ chúng sau quá trình sử dụng bị thải ra đã gây ô nhiễm môi trường một cách nghiêm trọng, gây hại trực tiếp đến sức khỏe con người và sự phát triển bền vững của xã hội. Chính vì vậy, trong những năm gần đây, ngày càng có nhiều sự quan tâm từ các nhà nghiên cứu, các nhà sản xuất để chế tạo ra những vật liệu có khả năng tự phân hủy hoặc phân hủy dưới tác động của vi sinh vật [1], [2]. Như vậy loại vật liệu này sau khi sử dụng, thải ra sẽ bị phân hủy và hạn chế được ô nhiễm môi trường. Bên cạnh đó, vấn đề giá thành cũng là yếu tố quan trọng để mở rộng khả năng ứng dụng của vật liệu. Để đáp ứng được yêu cầu trên, vật liệu composite gia cường bằng sợi thực vật đang được đặc biệt quan tâm bởi một số ưu điểm nổi trội của sợi thực vật so với các sợi gia cường truyền thống như: có khả năng phân hủy sinh học, rẻ tiền, sẵn có, nhẹ và có độ bền riêng tốt [3]. Một số sợi tự nhiên thông dụng đã và đang được nghiên cứu hiện nay là: sợi đay, tre, dừa, dứa, sisal... Trong các loại sợi kể trên, sợi xơ dừa đang thu hút được sự tập trung nghiên cứu của các nhà khoa học cả trong lẫn ngoài nước bởi sự dồi dào và phổ biến của nguồn nguyên liệu. Ở Việt Nam, dừa là một loại cây được trồng với diện tích khá lớn (Bến Tre, Bình Định). Việc sử dụng phế phẩm vỏ dừa để sản

Abstract - The development of polymeric composite materials reinforced by synthetic fibers has increased the amount of persistent pollutants released into the environment. Therefore, the use of natural fibers to partially or wholly replace synthetic fibers has been a research interest for scientists. The application of coconut fibers in the field of composite materials is a new approach, which not only brings back high cost-effectiveness but also makes a significant contribution to environmental protection. This study has been carried out on composite samples (epoxy/amine) reinforced by coconut fibers accounting for 25% of their weight. With the use of laboratory equipment, the physico-mechanical properties of the composite materials were identified via a wide range of techniques such as thermo-gravimetric analysis (TGA), three-point bending measure, tensility and water absorption test... Besides, this paper also presents a comparison between the composite materials under study and commonly used types of plywood in terms of their mechanic-physical properties as well as the application of composite in the production of souvenirs.

Key words - composite; epoxy/amine; coconut fibers; physico-mechanical properties; bio-fibers.

xuất sợi dùng làm vật liệu gia cường cho composite góp phần làm tăng giá trị cho cây dừa, tăng nguồn thu nhập cho người nông dân.

Nghiên cứu của Agunsoye et al. [4] trên composite nền polyetylen gia cường từ 5% đến 25% thể tích vỏ dừa dạng bột cho thấy độ cứng của composite thu được tăng với sự tăng của hàm lượng vỏ dừa, trong khi độ bền kéo, mô đun đàn hồi và độ dẻo lại giảm. Tương tự, Han-Seung Yang et al. [5] cũng nhận thấy rằng độ bền kéo của vật liệu bio-composite giảm nhẹ khi hàm lượng độn tăng lên, điều này được lý giải là do khi hàm lượng độn tăng lên, liên kết bề mặt giữa độn và nhựa nền polymer yếu đi làm giảm độ bền kéo, đồng thời cũng làm gia tăng số lượng các vi lỗ, dẫn đến tăng tính hấp thụ nước.

Mục đích của nghiên cứu này nhằm chế tạo ra một vật liệu composite trên nền nhựa epoxy đóng rắn bởi amin được gia cường bằng sợi xơ dừa, bao gồm các kết quả về chế tạo vật liệu, xác định các tính chất vật lý, các tính chất cơ học của vật liệu composite thu được, sau đó so sánh với các tính chất của nhựa. Ngoài ra, kết quả của nghiên cứu này cũng được ứng dụng để sản xuất ra một loại vật lưu niệm, mà cụ thể là logo của Trường Cao đẳng Công nghệ.

2. Vật liệu, quy trình tạo mẫu và các phương pháp phân tích

2.1. Vật liệu sử dụng

Nhựa epoxy và chất đóng rắn là amin sử dụng trong nghiên cứu này là những sản phẩm thương mại có tên lần

lượt là E44 và T31. Cả hai sản phẩm này đều có xuất xứ từ Trung Quốc và được cung cấp bởi công ty Green Chemical Technology. Tỷ lệ pha trộn theo khối lượng của E44 và T31 được đưa ra bởi nhà sản xuất là 4:1[6].

Sợi gia cường sử dụng trong nghiên cứu này là sợi xơ dừa tách ra từ các vỏ dừa thu gom trên địa bàn thành phố Đà Nẵng. Sợi xơ dừa sau khi tách ra khỏi vỏ dừa được làm sạch hết các mụn dừa, sau đó rửa sạch bằng nước, sấy khô ở 70°C đến khối lượng không đổi để tách, loại hoàn toàn nước, rồi cắt nhỏ thành từng đoạn có chiều dài khoảng 2-3mm và được bảo quản trong bình hút ẩm. Tỷ lệ khối lượng sợi xơ dừa sử dụng để gia cường trong composite được ước tính là 25% khối lượng nhựa[4].

2.2. Quy trình chế tạo mẫu sản phẩm

Khuôn sử dụng để tạo mẫu và sản xuất vật lưu niệm được làm bằng hợp kim nhôm và gia công bằng kỹ thuật CNC (Hình 1). Để quá trình lấy sản phẩm dễ dàng, bề mặt khuôn trước khi gia công được xử lý bằng lớp phủ chống dính Honey Wax 250 sản xuất bởi Specialty Products Co, USA.

Vì lượng chất đóng rắn T31 sử dụng chỉ bằng 1:4 so với nhựa E44 và thời gian đóng rắn tương đối nhanh (45 phút), do đó để đảm bảo lớp nhựa xung quanh sợi được đóng rắn hoàn toàn và kéo dài thời gian gia công mẫu. Đầu tiên hỗn hợp của chất đóng rắn T31 và xơ dừa được trộn đều theo tỉ lệ khối lượng là $\frac{m_{T31}}{m_{Xơ\ dừa}} = \frac{4}{5}$. Sau đó nhựa epoxy E41 được cho vào với tỷ lệ khối lượng là $m_{E41}:m_{T31}:m_{Xơ\ dừa} = 16:4:5$. Hỗn hợp tiếp tục được trộn và phân bố đều trên khuôn. Sau khi loại bọt khí bằng con lăn hỗn hợp được ép trên máy ép thủy lực với áp lực 10kgf/cm². Áp lực này được duy trì trong suốt thời gian đóng rắn 60 phút ở nhiệt độ phòng.



Hình 1. Khuôn tạo sản phẩm

2.3. Phương pháp phân tích

Khối lượng riêng của vật liệu được xác định dựa trên nguyên lý Archimedes theo tiêu chuẩn TCVN 6039-1-2008. Các mẫu composite và nhựa được cân ở 23°C trong không khí và trong chất lỏng có khả năng thấm ướt tốt, có khối lượng riêng biết trước như nước cất hạn (ở 23°C và 1atm, $\rho_{H_2O} = 0,9982 \text{ g.cm}^{-3}$). Khối lượng riêng của nhựa (ρ_r) và của composite (ρ_c) được xác định trên trung bình 5 mẫu theo phương trình sau:

$$\rho_r, \rho_c = \rho_{H_2O} * \frac{m_a}{(m_a - m_n)}$$

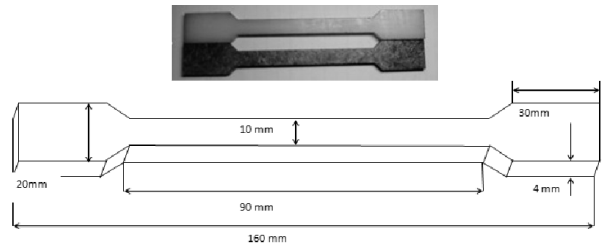
Trong đó, m_a : là khối lượng của mẫu trong không khí (g);

m_n : khối lượng mẫu ngâm trong nước (g).

Tính ổn định nhiệt của vật liệu được nghiên cứu theo

phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng nhờ thiết bị STA 6000 của hãng PerkinElmer, USA. Mẫu có khối lượng khoảng 10g được đặt trong chén nung và được gia nhiệt với tốc độ 10°C/phút từ 50⁰÷600⁰C dưới dòng khí N₂ có lưu lượng 20ml/phút.

Tính chất cơ học của vật liệu được xác định theo tiêu chuẩn ISO 527 (đối với độ bền kéo) và ISO 178 (đối với độ bền uốn) nhờ vào thiết bị AG-X plus của hãng Shimadzu, Nhật Bản. Đối với phép đo độ bền uốn, các mẫu thử được cắt theo hình chữ nhật với kích thước 80x10x4mm. Đối với phép đo độ bền kéo, hình dạng và kích thước của các mẫu thử được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Hình dạng và kích thước mẫu đo độ bền kéo

Khả năng hút nước của vật liệu theo khối lượng được khảo sát theo tiêu chuẩn TCVN 6355-3:1998 (tính trên trung bình 5 mẫu) bằng cách cân khối lượng của vật liệu trước và sau khi ngâm trong nước ở những thời điểm khác nhau. Khối lượng nước hấp phụ vào vật liệu được tính theo công thức:

$$\%m_{H_2O} = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100\%$$

Trong đó: m_0 , m_i lần lượt là khối lượng (g) của mẫu trước khi và sau khi ngâm ở những thời điểm khác nhau.

Ngoài ra, độ trương nở chiều dày sau 24h ngâm trong nước cũng được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 7756-5:2007. Mẫu thử hình vuông có kích thước cạnh 50 mm được nhúng vào nước cất ở nhiệt độ 27°C trong thời gian 24h, sau đó lấy ra, lau sạch nước dư trên bề mặt và đo chiều dày tại tâm mẫu. Độ trương nở chiều dày sau 24h ngâm trong nước được xác định trên trung bình 5 mẫu theo công thức sau:

$$D = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100.$$

Trong đó d_1 , d_2 là chiều dày (mm) tại tâm mẫu thử trước và sau khi ngâm.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá một số tính chất vật lý của composite và nhựa nền

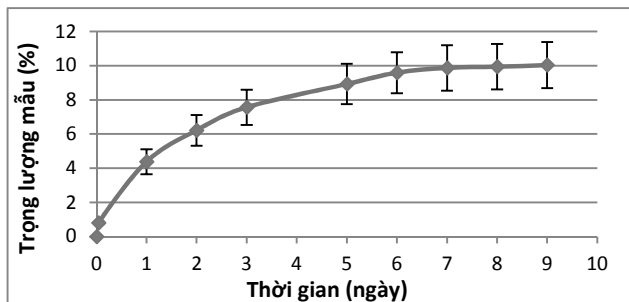
Bảng 1 trình bày một số tính chất vật lý của composite và nhựa nền được xác định theo quy trình và tiêu chuẩn mô tả trên mục 2.3. Từ Bảng 1 ta có thể thấy khối lượng riêng của composite tăng lên (~2,7%) khi gia cường 25% khối lượng sợi xơ dừa vào nhựa nền. Kết quả này là phù hợp với kết quả nghiên cứu của Alok [7] và cộng sự trên composite nền epoxy gia cường bột vỏ dừa, cũng cho thấy một sự tăng khoảng 1,6% khi tăng khối lượng bột vỏ dừa từ 20% lên 40%.

Kết quả độ trương nở chiều dày sau 24h ngâm trong nước cho thấy vật liệu composite thu được hầu như không bị trương nở.

Bảng 1. Một số tính chất vật lý của nhựa nền và composite epoxy/sợi xơ dừa

Tính chất	Composite gia cường sợi xơ dừa	Nhựa nền epoxy
Khối lượng riêng (g/cm ³)	1,1085 ($\pm 0,0005$)	1,0786 ($\pm 0,001$)
Độ trương nở chiều dày sau 24h ngâm trong nước (%)	0,015 ($\pm 0,003$)	0,008 ($\pm 0,002$)

So với nhựa nền thì vật liệu composite gia cường sợi xơ dừa có độ trương nở lớn hơn. Điều này có thể được giải thích bởi 2 lý do. Thứ nhất, do bản chất của nhựa nền chúng tôi sử dụng ở đây là epoxy đóng rắn bởi amin nên hệ cơ tương tác với các phân tử nước mạnh hơn so với hệ epoxy đóng rắn bởi anhydric [7]. Sự trương nở thường là do sự cắt đứt các liên kết hydro giữa các chuỗi mạch bởi các phân tử nước [8]. Theo Zhou và Lucas [9, 10], chỉ những phân tử nước tạo một liên kết hydro với nhựa nền (dạng I) gây nên sự trương nở, trong khi các phân tử nước tạo hai liên kết hydro với nhựa nền (dạng II) sẽ làm tăng cường sự liên kết giữa các mạch và do đó không gây nên sự trương nở. Các phân tử nước chiếm thể tích rỗng của vật liệu (composite hoặc nhựa nền) cũng không gây nên sự trương nở. Thứ hai là do bản chất sợi gia cường. Ở đây chúng tôi sử dụng là sợi xơ dừa chưa xử lý có thành phần chủ yếu là xenlulo, hemi-xenlulo và lignin [11] và đây nguyên nhân chính gây nên sự hút nước của vật liệu (do các nhóm -OH phân cực) [12]. Nghiên cứu của Alok và cộng sự [13] cũng cho thấy hàm lượng nước hấp thụ vào vật liệu tăng khi tăng hàm lượng bột vỏ dừa gia cường trong composite. Khả năng hút nước theo khối lượng của vật liệu composite gia cường sợi xơ dừa sau 9 ngày được thể hiện trong Hình 2.

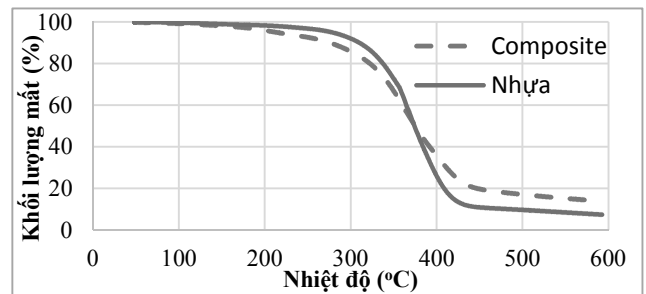
**Hình 2.** Sự thay đổi trọng lượng mẫu composite theo thời gian ngâm

Từ đồ thị chúng ta có thể thấy rằng lượng nước hấp thụ vào vật liệu tăng nhanh trong 6 ngày đầu, sau đó gần như không thay đổi. Kết hợp với kết quả độ trương nở chiều dày sau 24h ngâm trong nước (Bảng 1) cho thấy các phân tử nước tồn tại trong vật liệu ở 2 trạng thái: Phần lớn các phân tử nước ban đầu hấp thụ, khuếch tán và chiếm chỗ các lỗ xốp có trong vật liệu cho đến khi đạt trạng thái bão hòa (sau 6 ngày). Và các phân tử nước này không gây nên sự trương nở của vật liệu. Phương thức khuếch tán này được nhận thấy ở hầu hết các hệ epoxy [7], [14], [8] và được giải thích bởi quá trình khuếch tán Fickienne. Còn lại một phần nhỏ các phân tử nước sẽ hấp thụ vào các sợi xơ dừa không bị bao bọc bởi lớp nhựa nền và chính các phân tử nước này gây nên sự trương nở của vật liệu. Tuy nhiên ban đầu phần lớn các sợi xơ dừa được bao bọc

xung quanh bởi lớp nhựa nền epoxy và trong thời gian này lớp nhựa chưa bị phân hủy bởi ẩm nên khả năng trương nở của vật liệu composite vẫn còn nhỏ.

So sánh với chỉ tiêu độ trương nở chiều dày sau 24h ngâm trong nước đối với các loại ván sợi, ván MDF được quy định trong TCVN 7753: 2007 là không lớn hơn 30% đối với mẫu có chiều dày từ 2,5mm đến 4,0mm; cũng như đối với vật liệu tấm thạch cao sợi được quy định trong TCVN 8256:2009 là không lớn hơn 1% thì vật liệu composite thu được là hoàn toàn thỏa mãn.

Tính ổn định nhiệt của nhựa epoxy và composite gia cường sợi xơ dừa cũng được phân tích, so sánh và thể hiện trong Hình 3.

**Hình 3.** So sánh tính ổn định nhiệt của nhựa và composite

Từ đồ thị trên chúng ta có thể nhận thấy rằng tính ổn định nhiệt của composite gia cường sợi xơ dừa là kém hơn so với nhựa trong khi hàm lượng tro cuối cùng thì ngược lại. Điều này có thể được giải thích là do nhiệt độ bắt đầu phân hủy của sợi xơ dừa là tương đối thấp ở khoảng 200°C [15], còn đối với nhựa epoxy sử dụng trong nghiên cứu này nhiệt độ bắt đầu phân hủy là khoảng 250°C (Hình 3). Người ta cũng có thể cải thiện tính ổn định nhiệt của sợi xơ dừa bằng cách xử lý bởi dung dịch NaOH 1%, lúc đó nhiệt độ bắt đầu phân hủy của sợi xơ dừa có thể tăng đến 250°C [15]. Nghiên cứu trên hệ composite nền polyolefin độn trấu và mùn cưa [16] cũng cho một kết quả tương tự: tính ổn định nhiệt giảm khi tăng hàm lượng độn. Lượng dư còn lại sau quá trình phân hủy của composite lớn hơn nhựa là do hàm lượng tro trong sợi xơ dừa (~23%) [15] lớn hơn trong nhựa (~10%).

3.2. Đánh giá độ bền cơ học của nhựa nền và composite epoxy gia cường sợi xơ dừa

Kết quả thu được từ các phép đo độ bền kéo, độ bền uốn của composite gia cường sợi xơ dừa và nhựa nền được thể hiện trong Bảng 2.

Kết quả từ Bảng 2 cho thấy sự giảm mạnh độ bền kéo (~58%) và độ bền uốn (~47%) của composite epoxy gia cường sợi xơ dừa so với nhựa nền epoxy. Điều này cho thấy các sợi xơ dừa theo định hướng ngẫu nhiên không cung cấp một hiệu ứng gia cường trong vật liệu composite trên nền epoxy. Kết quả thu được là khá ngạc nhiên bởi vì bản thân các sợi xơ dừa có một ứng suất kéo tương đối cao từ 106MPa đến 270MPa [11], nhưng lại không có tác dụng làm tăng tính chất cơ học. Hiện tượng này cũng được ghi nhận trong một số các nghiên cứu [4], [5], [17] và được giải thích bởi sự tương hợp kém giữa nhựa nền và xơ dừa, khi gia cường sợi xơ dừa vào làm cho liên kết

bề mặt giữa các sợi và nhựa nền bị yếu dẫn đến độ bền kéo và uốn bị giảm. Một số các nghiên cứu khác [18] giải thích là do mô đun kéo của sợi xơ dừa thấp.

Bảng 2. Một số đặc trưng cơ học của nhựa nền epoxy và composite epoxy/sợi xơ dừa

Tính chất	Nhựa nền epoxy	Composite gia cường xơ dừa
Độ bền kéo (MPa)	26,4 ($\pm 3,02$)	10,97 ($\pm 1,3$)
Độ giãn dài khi kéo (%)	1,3 ($\pm 0,04$)	2 ($\pm 0,41$)
Độ bền uốn (MPa)	129 ($\pm 6,87$)	68 ($\pm 1,73$)

Mặt khác kết quả thu được từ Bảng 2 cũng cho thấy rằng vật liệu composite gia cường sợi xơ dừa có độ giãn dài khi kéo tăng lên rất đáng kể so với nhựa nền epoxy (~54%). Điều này cũng đã được nhận thấy trong nghiên cứu của Bhaskar và cộng sự [19] khi tăng hàm lượng sợi xơ dừa từ 2% lên 3%.

So sánh với các chỉ tiêu cơ lý đối với các loại ván sợi, ván MDF được quy định trong TCVN 7753: 2007 về độ bền kéo (không nhỏ hơn 0,7MPa đối với mẫu có chiều dày từ 2,5mm đến 4,0mm) và độ bền uốn (không nhỏ hơn 34MPa đối với mẫu có chiều dày từ 2,5mm đến 4,0mm) thì vật liệu composite gia cường sợi xơ dừa thu được hoàn toàn thỏa mãn.

3.3. Ứng dụng sản xuất vật lưu niệm: logo Trường Cao đẳng Công nghệ

Với mục đích tăng cường khả năng ứng dụng của loại vật liệu composite trên nền polymer gia cường sợi thực vật, chúng tôi đã sử dụng vật liệu nghiên cứu để sản xuất logo của Trường Cao đẳng Công nghệ - Đại học Đà Nẵng như được trình bày trên Hình 4. Sản phẩm thu được bền cơ học, có màu tự nhiên, đường nét trang trí sắc sảo, rõ ràng. Chi phí nguyên vật liệu ước tính cho mỗi sản phẩm (không tính công) là 30.000 VND.



Hình 4. Logo Trường Cao đẳng Công nghệ làm bằng vật liệu composite nền epoxy gia cường sợi xơ dừa

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã cho phép chế tạo, xác định các đặc trưng của composite trên nền epoxy gia cường sợi xơ dừa. Kết quả phân tích cho thấy việc gia cường sợi xơ dừa vào nhựa nền epoxy sẽ làm tăng khối lượng riêng, độ trương nở sau 24h ngâm trong nước cũng như khả năng hút nước và độ biến dạng ẩm của composite thu được. Trong khi đó tính ổn định nhiệt của vật liệu composite lại giảm, tuy nhiên điều này có thể khắc phục bằng cách xử lý trước các sợi xơ dừa. Đối với các tính chất cơ lý, khi gia cường sợi xơ dừa

vào nhựa epoxy sẽ làm giảm độ bền kéo và uốn, nhưng ngược lại sẽ làm tăng đáng kể độ giãn dài khi kéo. Kết quả cũng cho thấy so sánh với ván sợi và ván MDF thì vật liệu composite gia cường sợi xơ dừa có các tính chất cơ lý cao hơn và hoàn toàn có thể thay thế cho các loại vật liệu này trong các ứng dụng trong đời sống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] AK Mohanty, M Misra, LT Drzal, Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 2002. 10(1-2). p. 19-26.
- [2] El Hadji Babacar LY, Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose. Thèse de doctorat soutenue à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 2008.
- [3] Maya Jacob John, S. T., Review: Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 2008. 71. p. 343-364.
- [4] Agunsoye J. Olumuyiwa, Talabi S. Issac, Sanni O, Samaua, Study of mechanical behavior of Coconut Shell reinforced Polymer matrix composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2012. 11. p. 774-779.
- [5] Han-Seung Yang, Hyun-Joong Kim, Hee-Jun Park, Bum-Jae Lee, Taek-Sung Hwang, Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyolefin bio-composites. *Composite Structures*, 2006. 72(4). p. 429-437.
- [6] <http://greenchemtech.com/category/composite/>.
- [7] Alok Singh, Savita Singh, Aditya Kumar, Study of mechanical properties and absorption behaviour of coconut shell powder-epoxy composites. *International Journal of Materials Science and Applications*, 2013. 2(5). p. 157-161.
- [8] P. Zinck, De la caractérisation micromécanique du vieillissement hydrothermique des interphases polyépoxydes-fibres de verre au comportement du composite unidirectionnel. Relations entre les échelles micro et macro. Thèse soutenue à l'INSA de Lyon, 1999.
- [9] Michael J. Adamson, Thermal expansion and swelling of cured epoxy resin used in graphite/epoxy composites materials. *Journal of Materials Science*, 1980. 15. p. 1736-1745.
- [10] Jiming Zhou, James P. Lucas, Hydrothermal effects of epoxy resin. Part II: Variations of glass transition temperature. *Polymer*, 1999. 40. p. 5513-5522.
- [11] Jiming Zhou, James P. Lucas, Hydrothermal effects of epoxy resin. Part I: The nature of water in epoxy. *Polymer*, 1999. 40. p. 5505-5512.
- [12] Majid Ali, Review: Natural fibres as construction materials. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 2012. 3(3). p. 80-89.
- [13] D. R. Mulinari et al., Mechanical properties of coconut fibers reinforced polyester composites. *Procedia Engineering*, 2011. 10. p. 2074-2079.
- [14] M.S.W.Woo, et M.R.Pigott, Water adsorption of resins and composites. II: Diffusion in carbon and glass reinforced epoxies. *Journal of Composites Technology and Research*, 1988. 9. p. 162-166.
- [15] Mulinari D.R., Baptista C.A.R.P., Souza J. V. C., Voorwald H.J.C., Mechanical properties of coconut fibers reinforced polyester composites. *Procedia Engineering*, 2011. 10. p. 2074-2079.
- [16] Đoàn Thị Thu Loan, Phân tích nhiệt trọng lượng composite nền polyolefin độn trấu và mùn cưa. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 2014. 6(79). p. 26-30.
- [17] Đoàn Thị Thu Loan, Nghiên cứu cải thiện tính năng của vật liệu composite sợi dây/nhựa polypropylene bằng phương pháp biến tính nhựa nền. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 2010. 1(36). p. 28-35.
- [18] Sergio N. Monteiro, Luiz Augusto H. Terrones, Felipe P. D. Lopes, José Roberto M. d'Almeida, Mechanical strength of polyester matrix composites reinforced with coconut fiber wastes. *Revista Matéria*, 2005. 10(4). p. 571-576.
- [19] Jitendra Bhaskar and V.K.Singh, Tensile and flexural strengths of coconut shell particle & coir fibre reinforced composite. *Journal of New Technology and Materials*, 2013. 3(1). p. 50-55.