Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption
Tạp chí xúc tác và hấp phụ Việt Nam

https://jca.edu.vn

Chế tạo vật liệu có khả năng lưu trữ nhiệt năng từ tre, polyethylene glycol và epoxy
Preparation of thermal energy storage materials from bamboo polyethylene glycol and epoxy

Lê Đức Thọ[1,*], Trương Ngọc Toan[1], Lê Thị Hoa[1], Nguyễn Thị Thanh Bảo[2], Tống Thị Thanh Hương[1,*]

[1] *Khoa Dầu khí và Năng lượng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Bắc Từ Liêm, Hà Nội*
[2] *Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 10 Đào Tấn, Ba Đình, Hà Nội*
** Email: leductho.tk@gmail.com, tongthithanhhuong@humg.edu.vn*

ARTICLE INFO

Received: 02/04/2024
Accepted: 24/06/2024
Published: 30/12/2024

Keywords:
Transparent; bamboo;
phase change material PCM;
bamboo; epoxy; PEG

ABSTRACT

A Thermal Energy Storage Bamboo Plastic Composite (TESBP) was developed using bamboo,polyethylene glycol (PEG) and epoxy. The material exhibited a transmittance of 42% and 63%, indicating effective pigment processing. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis revealed the removal of chromophore groups from the original bamboo structure, stabilize with intercalated polymers. Scanning Electron Microscopy (SEM) showed tight integration of the phase change material within the wood matrix. Thermogravimetric analysis results show that the composites of TB/epoxy and TB/PEG samples began to decompose at 325°C and 329°C, respectively. The phase transition thermal properties, evaluated through differential scanning calorimetry (DSC), revealed that the melting and solidification enthalpies were 160.2 J/g and 147.6 J/g, respectively. These characteristics highlight TESBP's potential for medium temperature range thermal energy storage, presenting a viable composite material for such applications.

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu, tăng nhiệt độ trên toàn cầu là hệ quả của phát thải độc hại trong quá trình sản xuất, chế biến và sinh hoạt trên trái đất. Xu hướng chuyển dịch năng lượng và giảm thiểu ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường luôn là mối quan tâm hàng đầu ở mỗi quốc gia cũng như trên các châu lục. Các vật liệu tiết kiệm năng lượng có nguồn gốc tự nhiên luôn được chú ý nghiên cứu và phát triển ứng dụng nhằm mục đích tăng giá trị sử dụng. Tre là loài thực vật khá phổ biến ở các nước nhiệt đới. Có khoảng 1500 loài tre và 36 triệu ha diện tích trồng tre phân bố rộng khắp Châu Á, Châu Mỹ và Châu Phi [1]. Tre là một nguồn tài nguyên quan trọng, có năng suất cao, tốc độ tăng trưởng nhanh hơn các loài gỗ thông thường. Bên cạnh đó tre thể hiện tính định hình cao, tính chất cơ học ổn định cũng như khả năng phân huỷ sinh học tốt. Xét về tốc độ sinh trưởng, tre có chu kỳ sinh trưởng ngắn từ 3–5 năm, trong khi gỗ có chu kỳ sinh trưởng từ 20–60 năm. Hơn nữa, sợi tre đơn có độ bền kéo và mô đun đàn hồi trung bình lần lượt là 1,6 GPa và 33 GPa [2], cao hơn đáng kể so với các loại sợi tự nhiên khác như bông, xơ dừa, gai [3]. Do đó, tre đã được sử dụng rộng rãi để chế tạo các vật liệu tổng hợp kết cấu khác nhau, bao gồm vật liệu tổng hợp từ tre [4], gỗ tre ép và các vật liệu gia cố [5,6]. Việt Nam là đất nước nhiệt đới, cây tre gắn liền với đời sống của người dân nhiều thế hệ bởi tính thân thiện với môi trường và khả năng sinh trưởng tốt.

Đối với môi trường, xu hướng chuyển dịch năng lượng đang diễn ra trên toàn cầu. Quá trình chuyển dịch sang năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, năng

https://doi.org/10.62239/jca.2024.089

lượng gió ngày càng được hiện thực hoá một cách mạnh mẽ. Tuy nhiên các dạng năng lượng mặt trời, năng lượng gió lại là những quá trình gián đoạn. Chính vì vậy, để duy trì những nguồn năng lượng này một cách liên tục, cần phải có phương thức lưu trữ năng lượng. Vật liệu chuyển pha là một trong những loại vật liệu có khả năng lưu trữ năng lượng ẩn. Tuy nhiên, nhược điểm của loại vật liệu này là khả năng định hình trong điều kiện nhiệt độ thường bị hạn chế [7, 8]. Do đó, nếu định hình được vật liệu chuyển pha trong khung cốt ổn định sẽ làm tăng hiệu quả ứng dụng của vật liệu chuyển pha trong thực tiễn. Trong những năm gần đây, theo xu hướng xanh và an toàn môi trường, các vật liệu có nguồn gốc tự nhiên như gỗ luôn thu hút sự quan tâm. Từ gỗ tự nhiên có thể tạo nên vật liệu có khả năng xuyên thấu, ứng dụng làm vật liệu xây dựng với mục đích giảm mức tiêu thụ năng lượng [9]. Những vật liệu này có cơ tính ổn định, tính cách nhiệt tốt, khả năng truyền quang cao và đặc biệt được chế tạo từ nguồn nguyên liệu thân thiện với môi trường [10]. Thông thường gỗ thấu quang được chế tạo trên cơ sở gỗ tự nhiên được loại ligin và lấp đầy lỗ trống trong gỗ bằng polyme có chiết suất phù hợp [11]. Tre và gỗ có nhiều đặc điểm chung: chúng có hệ thống phân cấp liên kết cao và chứa các thành phần chính tương tự nhau bao gồm cellulose, hemicellulose và lignin [12]. Như đã đề cập ở trên, tre có một số ưu điểm so với gỗ như tốc độ sinh trưởng nhanh, chu kỳ sinh trưởng ngắn. Tuy nhiên, đặc tính mật độ cao, độ xốp thấp, của tre đặt ra những thách thức đáng lưu ý trong việc chế tạo tre thấu quang [13]. Mật độ cao của tre làm giảm tính thấm của nó trong quá trình xử lý; mật độ của tre trưởng thành (~0,65 g/cm^3) cao hơn nhiều so với các loại gỗ có mật độ thấp như gỗ balsa, gỗ thông (thông thường ~0,1–0,4 g/cm^3) [13]. Độ xốp của tre nguyên bản ảnh hưởng nhiều đến quá trình xử lý lignin. Chính những điều bất lợi này yêu cầu điều kiện khắt khe đối với quá trình biến tính tre. Mặt khác, trong quá trình chế tạo vật liệu composite từ tre, việc lựa chọn vật liệu polyme phù hợp làm pha nền sẽ giúp cho polyme chuyển pha được định hình ổn định. Làm tăng giá trị sử dụng của vật liệu tre trong lưu trữ năng lượng.

Với những phân tích về nhu cầu chuyển dịch năng lượng, ưu và nhược điểm của tre với mục tiêu chế tạo sản phẩm tre thấu quang, vật liệu lưu trữ năng lượng, nghiên cứu này sẽ tập trung vào phương pháp chế tạo vật liệu thấu quang từ tre đảm bảo tính cơ học và đặc tính quang học tốt. Qua đó định hướng ứng dụng tre thấu quang trong các toà nhà tiết kiệm năng lượng, các bộ phận trang trí và thiết bị quang điện. Bên cạnh đó đưa ra phương pháp tạo vật liệu chuyển pha có khả năng lưu trữ năng lượng từ tre, làm tăng hiệu quả sử dụng tre trong lưu trữ năng lượng nhiệt.

2. Thực nghiệm

Nguyên liệu, hoá chất

Tre nguyên liệu thuộc bộ hỏa thảo, tông tre - Bambuseae 4 tuổi được lấy từ Thanh Hoá, Việt Nam. Tre được cạo bỏ lớp vỏ, làm sạch và cắt dọc thành tấm kích thước 30mmx15mm, dầy 1mm. Tre được sấy khô ở 110^{o}C trong thời gian 8 tiếng, có khối lượng riêng 0,55 g/cm^3. Na_2SO_3, NaOH, acetone, polyethylene glycol 600 (PEG 600), toluene có nguồn gốc từ Công ty Xilong, Trung Quốc. ethanol từ Công ty cổ phần Hoá chất Đức Giang, Việt Nam. Nhựa epoxy bisphenol A phân tử lượng thấp, chất đóng rắn polyetheramine có nguồn gốc từ công ty hoá chất JDiction.

Chế tạo tre thấu quang, vật liệu lưu trữ năng lượng

Tre sau khi sấy khô, ổn định khối lượng được ngâm trong dung dịch Na_2SO_3 0,2M và NaOH 1,0M theo tỷ lệ thể tích 1:1. Sau đó toàn bộ hệ được đặt trong buồng siêu âm ổn định ở nhiệt độ 80^{o}C trong thời gian 3 tiếng. Sau đó mẫu được lấy ra tẩm NaOH 1M, ngâm trong dung dịch H_2O_2 30% và đặt trong buồng chiếu UV trong khoảng thời gian 15 tiếng. Mẫu được lấy ra rửa sạch bằng ethanol và toluen, thu mẫu tre đã xử lý lignin (DB).

Để chế tạo tre có độ truyền quang tốt, mẫu tre đã xử lý lignin được ngâm trong epoxy với tỷ lệ bisphenol A: chất đóng rắn 3:1. Mặt khác, hỗn hợp epoxy/PEG 600 cũng được chuẩn bị để tẩm vào tre đã xử lý lignin. Quá trình tẩm polyme được thực hiện trong buồng chân không. Kết quả thu được composite tre/epoxy (TB/epoxy) và composite tre/PEG.600 (TB/PEG).

Phân tích đặc trưng sản phẩm

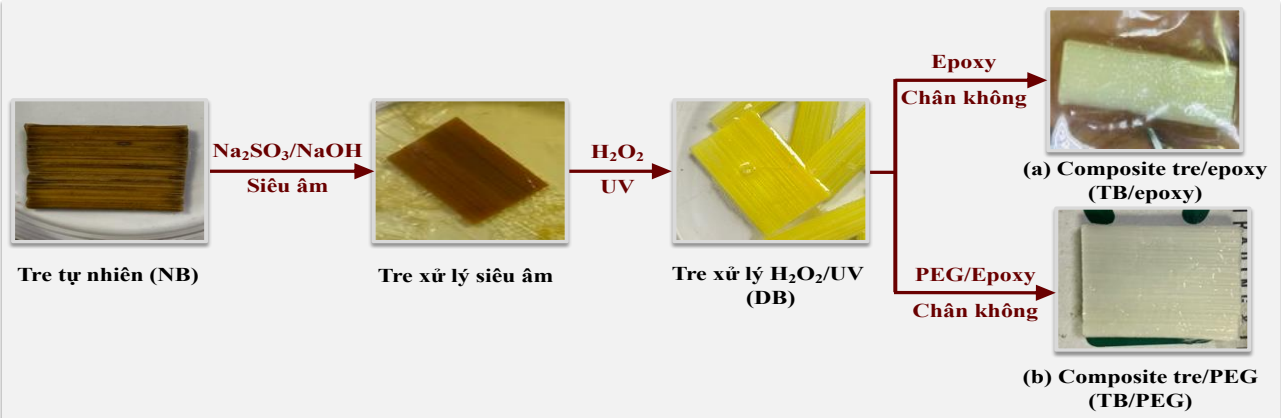
Đặc tính của tre trong trước và sau khi biến tính được phân tích bằng những phương pháp đặc trưng. Phương pháp quang phổ hồng ngoại (IR) xác định liên kết trong cấu trúc tre trước và sau khi xử lý được phân tích bằng kỹ thuật phổ hồng ngoại biến đổi Fourier trên thiết bị (IRAffinity-1, Shimadzu). Phổ FTIR được ghi lại theo phương pháp KBr, với dải đo từ 4000 - 500 cm^{-1}. Độ truyền quang được xác định trên máy đo phổ tử ngoại Shimadzu UV-2600 với dải sóng từ 300 - 800 nm. Cấu trúc bề mặt của mẫu được xác định trên máy FE-SEM: Regulus 8100 (Hitachi). Phân tích nhiệt vi sai thực hiện trên máy Q 2000 (TA, USA) tốc độ gia nhiệt 2^{o}C/ phút và đẳng nhiệt 15 phút. Phân tích nhiệt TG thực hiện trên máy TG Q5000IR (USA) trong khoảng nhiệt độ 30 – 600^{o}C, tốc độ gia nhiệt 10^{o}C/phút trong môi trường nitơ.

https://doi.org/10.62239/jca.2024.089

3. Kết quả và thảo luận

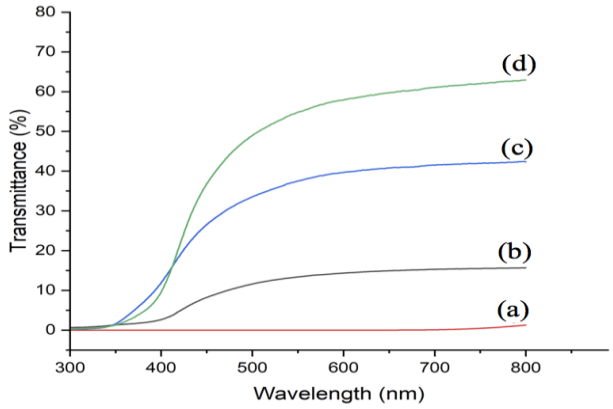
Độ truyền quang của vật liệu

Tre là nguyên liệu đầu chế tạo tre thấu quang (TB) và vật liệu lưu trữ năng lượng. Quá trình thực hiện qua 2 bước cơ bản: (i) loại lignin theo phương pháp kết hợp sử dụng Na_2SO_3/NaOH trong buồng siêu âm, sau đó chiếu UV, (ii) tẩm polyme epoxy hoặc PEG 600 tạo tre thấu quang. Theo quan sát thực nghiệm, tre nguyên liệu có mầu vàng, các sợi tre hiện rõ trong thớ tre. Tre là loại nguyên liệu có hàm lượng lignin cao, lignin có vai trò kết nối các sợi cellulose và hemicellulose trong vật liệu [14]. Khi lignin được loại bỏ hoàn toàn thì các sợi ống trong tre trở nên rời rạc. Do vậy trong nghiên cứu này, chúng tôi loại bỏ một phần lignin, sau đó sử dụng H_2O_2/UV để làm trắng mẫu. Mẫu tre sau quá trình loại lignin có mầu sáng và trong. Quá trình xử lý lignin và tạo composite TB/epoxy và TB/PEG được biểu thị trên hình 1.



Hình 1: Sơ đồ quá trình chế tạo composite tre (a) TB/epoxy, (b) TB/PEG

Kết quả xác định độ truyền quang của mẫu được đưa ra trên hình 2



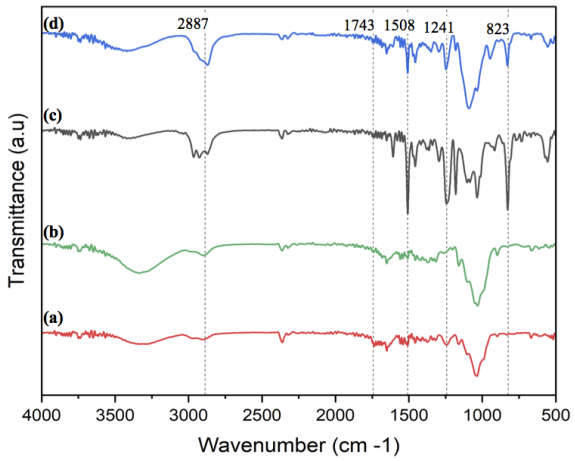
Hình 2: Độ truyền quang các mẫu tre nguyên liệu và tre biến tính (a) tre tự nhiên (NB), (b) tre được xử lý lignin (DB), (c) composite tre/PEG (TB/PEG), (d) composite tre/epoxy (TB/epoxy).

Kết quả phân tích độ truyền quang cho thấy mẫu tre nguyên liệu khá đặc. Các sợi cellulose, hemicelluose được kết nối bởi các sợi lignin, làm cho vật liệu có cấu trúc đặc khít. Khi chiếu bức xạ điện từ trong vùng bước sóng khả kiến và UV, tre tự nhiên hấp thụ hết bức xạ điện từ trong vùng bước sóng này, khiến độ truyền quang thấp, gần 0. Sau khi xử lý lignin qua 2 bước (siêu âm trong dung dịch Na_2SO_3/NaOH, và tẩy trắng với H_2O_2 trong UV), một phần lignin được loại bỏ. Kết quả phân tích độ truyền quang phù hợp với quan sát trực quan trong thực nghiệm. Mẫu loại lignin chỉ hấp thụ mạnh ở vùng bước sóng thấp (dưới 350 nm) khiến độ truyền quang thấp, ở vùng bức xạ trên 350 nm, độ truyền quang tăng dần và đạt giá trị 14% vùng bức xạ từ 450 – 800 nm. Độ truyền quang của mẫu composite TB/PEG đạt giá trị 42 %, thấp hơn độ truyền quang của mẫu composite TB/epoxy đạt 63%. Như vậy, với phương pháp xử lý lignin bằng Na_2SO_3/NaOH và H_2O_2 có áp dụng kỹ thuật siêu âm và chiếu bức xạ UV, lignin đã được xử lý và loại bỏ khỏi tre tự nhiên. Việc loại bỏ lignin giúp các polyme và vật liệu chuyển pha được đi sâu vào trong cốt gỗ tạo vật liệu composite có sự đan xen chặt chẽ giữa pha cốt tre và pha nền polyme, tạo vật liệu có độ truyền quang cao hơn gỗ tự nhiên nguyên liệu.

Phân tích phổ hồng ngoại

Để đánh giá khả năng loại lignin trong mẫu tre nguyên liệu cũng như việc xâm nhập vào trong cốt tre của các polyme, vật liệu chuyển pha, các mẫu tre tự nhiên (NB) và tre biến tính (DB, TB/PEG, TB/epoxy) được phân tích phổ hồng ngoại. Kết quả phổ hồng ngoại được đưa ra trên hình 3.

https://doi.org/10.62239/jca.2024.089

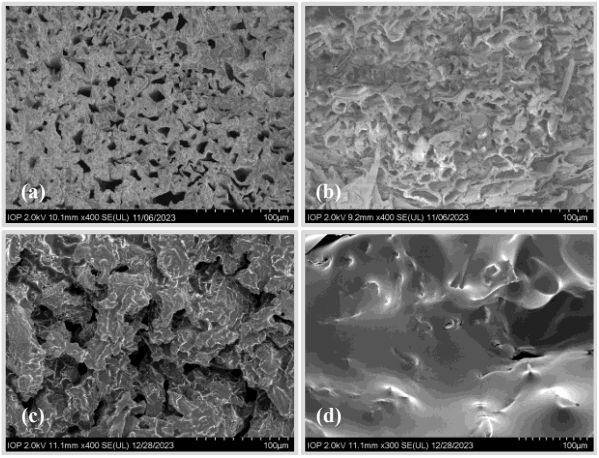


Hình 3. Phổ hồng ngoại các mẫu: (a) tre tự nhiên (NB), (b) tre đã xử lý lignin (DB), (c) composite TB/epoxy), (d) composite TB/PEG

Quan sát trên phổ hồng ngoại cho thấy dao động hoá trị của C-H được đặc trưng bởi các tín hiệu 2927 cm^{-1}, 2887 cm^{-1}. Liên kết này tồn tại ở liên kết đơn trong cấu trúc mạch cellulose và hemicellulose. Tín hiệu ở 1743 cm^{-1} xuất hiện trên mẫu NB (hình 3a) nhưng không xuất hiện trên mẫu DB (hình 3b). Giá trị peak 1743 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết C=O xuất hiện trong một phần cấu trúc của lignin. Bên cạnh đó, peak xuất hiện ở 1241 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hoá trị của liên kết C – O trong liên kết nhóm O – C (C vòng thơm) trên mẫu balsa xuất hiện mờ nhạt trên gỗ đã được xử lý lignin. Như vậy có thể thấy lignin được xử lý khỏi tre tự nhiên sau quá trình xử lý bởi Na_2SO_3/NaOH và H_2O_2/UV. NaOH và Na_2SO_3 có vai trò xúc tiến quá trình sulfonate hoá lignin trong môi trường kiềm, các nhóm sulfonic tấn công sâu vào trong cấu trúc vòng thơm của lignin. Điều này có thể làm phá vỡ các liên kết C-O-C, phân cắt cấu trúc lignin và loại bỏ lignin khỏi cấu trúc gỗ tự nhiên [14]. Trên các mẫu composite của tre (hình 3c,d), có thể quan sát thấy các tín hiệu đặc trưng cho dao động hoá trị của C – H trên nhóm - CH_3, - CH_2 ở 2927 cm^{-1} và 2887 cm^{-1}. Ngoài ra các tín hiệu ở 1508 cm^{-1}, đặc trưng cho liên kết C=C vòng thơm trong epoxy đã xuất hiện rõ nét trên các mẫu TB/epoxy và TB/PG. Các tín hiệu ở 1241 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết C – O – C trong epoxy và PEG cũng xuất hiện rõ nét trên các mẫu vật liệu composite ở trên. Bên cạnh đó, xuất hiện peak ở 823 cm^{-1} đặc trưng cho dao động biến dạng ngoài mặt phẳng của vòng benzen có nhóm thế para trong cấu trúc PEG và epoxy. Như vậy có thể thấy rằng composite tre/epoxy và tre/PEG đã được hình thành thông qua kết nối chặt chẽ giữa pha nền polyme và cốt gỗ. Quá trình 2 bước. lignin được xử lý khỏi tre tự nhiên, tạo điều kiện để PEG, epoxy vào sâu trong cấu trúc, tạo sản phẩm tre thấu quang và vật liệu chuyển pha tổng hợp ổn định.

Phân tích SEM

Hình ảnh cấu trúc bên trong của tre tự nhiên và sau biến tính được quan sát trên ảnh SEM (hình 4). Ảnh SEM bề mặt cắt ngang mẫu tre tự nhiên cho thấy cấu trúc ống rỗng với thành ống dày đặc xếp khít (hình 4a). Sau quá trình xử lý lignin, thành ống trở nên mỏng, rời rạc hơn, tuy nhiên cấu trúc vi mô không bị phá vỡ, các ống vẫn xếp thành bó song song nhau (hình 4b). Sau khi tẩm polyme PEG/epoxy, hỗn hợp polyme này được ngấm sâu vào trong các ống rỗng của tre, tuy nhiên vẫn còn những khoảng trống xen kẽ giữa pha nền polyme (hình 4c).



Hình 4: Ảnh SEM các mẫu (a): Tre tự nhiên (NB), (b) Tre đã xử lý lignin (DB), (c) Composite TB/PEG, (d) Composite TB/epoxy

Điều này có thể do PEG/epoxy chưa thực sự ổn định hình dạng, điều này dẫn đến sự xen phủ chưa hoàn toàn kín trong vật liệu composite chuyển pha tổng hợp TB/PEG. Đối với mẫu composite TB/epoxy, do epoxy hoàn toàn đồng nhất trong quá trình tẩm vào cốt tre nên pha nền polyme xen phủ hoàn toàn trong các ống của thớ tre tạo cấu trúc ổn định. Epoxy lấp đầy trong các ống rỗng của tre được xử lý lignin và tạo bề mặt cắt ổn định, không vết nứt (hình 4d).

Khả năng lưu trữ nhiệt của vật liệu chuyển pha tổng hợp

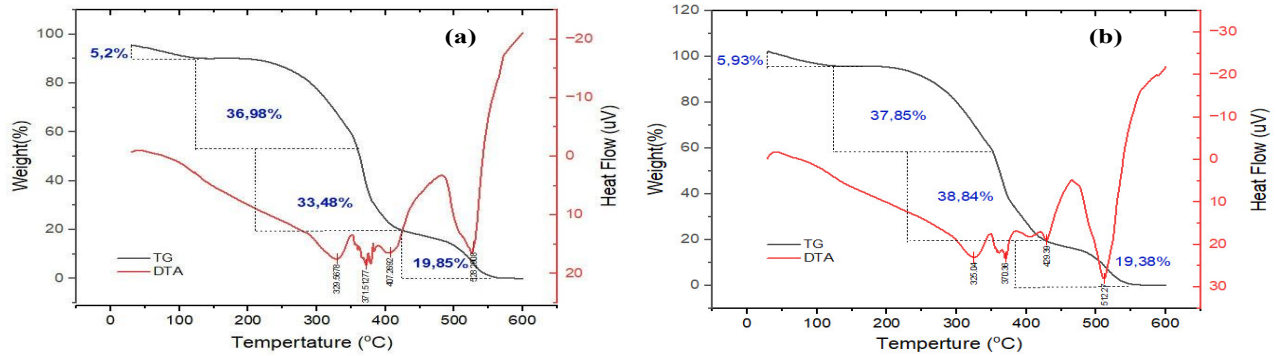
Phân tích nhiệt TG/DTA

Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng các mẫu TB/epoxy và TB/PEG được thể hiện trong hình 5.

Kết quả phân tích nhiệt trọng lượng trên mẫu composite TB/PEG và composite TB/epoxy cho thấy giai đoạn đầu tiên được thực hiện trong khoảng nhiệt

https://doi.org/10.62239/jca.2024.089

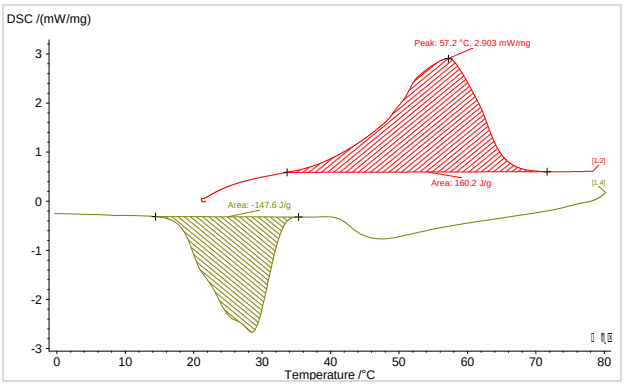
độ từ 70 – 110 °C là do sự mất nước bề mặt. Quá trình mất nước trong vật liệu ở giai đoạn này do giải phóng các phân tử nước ở trạng thái tự do có giá trị suy giảm 5,2 % khối lượng trên mẫu composite TB/PEG và 5,9 % khối lượng trên mẫu composite TB/epoxy. Điều này có thể do sự có mặt với lượng lớn epoxy che phủ kín làm cản trở tốc độ bay hơi nước trên bề mặt vật liệu. Giai đoạn thứ hai từ 110 – 310 °C ứng với quá trình giải phóng các phân tử nước có liên kết hoá học trong mẫu. Sự suy giảm khối lượng xấp xỉ 37 %. Giai đoạn tiếp theo từ 320 – 410 °C do sự phá huỷ các liên kết của hemicellulose, cellulose, lignin và phân huỷ PEG, epoxy có sự suy giảm khối lượng 33,5 % trên mẫu composite TB/PEG và 38,84 % trên mẫu composite TB/epoxy. Giai đoạn cuối cùng là sự suy giảm khối lượng triệt để ở khoảng 510 – 520 °C. Điều này là do sự phân huỷ hoàn toàn các liên kết C – C , C – O và C – H trong phần khung của cấu trúc của tre, dẫn tới sự suy giảm khối lượng xấp xỉ 19,5 %. Sau đó mẫu bị phân huỷ hoàn toàn.



Hình 5: Phân tích nhiệt TG/DTA các mẫu (a): composite TB/PEG, (b) composite TB/epoxy

Phân tích nhiệt vi sai

Kết quả phân tích nhiệt vi sai mẫu vật liệu chuyển pha tổng hợp TB/PEG được đưa ra trên hình 6.



Hình 6. Phân tích nhiệt vi sai mẫu composite TB/PEG

Kết quả phân tích nhiệt vi sai cho thấy quá trình gia nhiệt, giá trị nhiệt ẩn ΔHm = 160,2 (J/g) và quá trình làm lạnh có giá trị ΔHc = 147,6 (J/g). Có thể thấy rõ trên đường cong DSC, quá trình chuyển pha bắt đầu từ 33,8 °C, khi đó đạt tới nhiệt độ Tm 57,2 °C ứng với quá trình gia nhiệt và 28,6 °C ứng với quá trình làm lạnh. Sự gia nhiệt sẽ dẫn đến quá trình chuyển pha. Trên nhiệt độ thuỷ tinh hoá Tm, vật liệu đã lưu trữ một lượng ứng với giá trị nhiệt ẩn. Khi quá trình làm lạnh diễn ra, vật liệu lại chuyển pha qua điểm kết tinh ứng với 28,6 °C. Lúc này nhiệt được giải phóng. Như vậy có thể thấy vật liệu chuyển pha tổng hợp TB/PEG có khả năng lưu trữ nhiệt. Qua đó định hướng sử dụng vật liệu trong lưu trữ năng lượng nhiệt.

4. Kết luận

Vật liệu tre thấu quang TB/epoxy và TB/PEG đã được chế tạo thành công thông qua quy trình 2 bước: (i) xử lý lignin bằng Na_2SO_3/NaOH và H_2O_2, quy trình có áp dụng kỹ thuật siêu âm và sử dụng bức xạ UV, (ii) tẩm epoxy hoặc PEG trong cấu trúc tre biến tính. Kết quả phân tích SEM cho thấy rằng cấu trúc bó mạch của tre bị tác động, các thành ống bị mỏng và biến dạng. Khi epoxy hoặc PEG được đưa vào trong mặt cắt ngang của tre trong điều kiện chân không, các polyme này được tẩm thành công và bám chặt khít trong ống xốp của tre biến tính. Độ truyền quang của composite TB/epoxy là 63% cao hơn độ truyền quang của composite TB/PEG là 42% và cao hơn hẳn tre tự nhiên nguyên liệu ban đầu. Những vật liệu tre thấu quang có độ truyền quang tốt có thể sử dụng làm vật liệu trang trí trong lĩnh vực gia đình, công trình xây dựng. Bên cạnh đó, vật liệu chuyển pha tổng hợp composite TB/PEG còn thể hiện giá trị nhiệt ẩn ở 160,2 J/g với quá trình nóng chảy và 147,6 J/g với quá trình đóng rắn. Điều này cho phép vật liệu có khả năng ứng dụng trong lưu trữ nhiệt năng, có thể sử dụng lưu trữ nhiệt năng lượng mặt trời.

https://doi.org/10.62239/jca.2024.089

Lời cám ơn

Nghiên cứu được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Lọc – Hoá dầu và phân tích tại Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Nhóm nghiên cứu trân trọng cám ơn.

Tài liệu tham khảo

1. W. Lin, D. Chen, Q. Yong, C. Huang, S. Huang, Bioresour. Technol. 293 (2019) 122055. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122055
2 J.M.O. Scirlock, D.C. Dayton, B. Hames, Biomass Bioenerg. 19 (2000) 229–244. https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00038-6
3. W. Xu, Fang X.Y., Han J.T., Wu Z.H., Zhang J.L., Wood Fiber Sci. 52 (2020) 28–43. https://doi.org/10.22382/wfs-2020-004
4. Song S.S., Fei B.H., Liu X.Z., Bamboo furniture processing technology and its future development. Timber Process. 29 (2012) 43–48.
5. Marzieh Kadivar, Christian Gauss, Khosrow Ghavami, Holmer Savastano, Jr. Materials (Basel). 13(19) (2020) 4346. https://doi.org/10.3390/ma13194346
6. Z. Li, Chen, C.; Mi, R.; Gan, W.; Dai, J.; Jiao, M.; Xie, H.; Yao, Y.; Xiao, S.; Hu, L. Adv. Mater. 32 (2020) 1906308. https://doi.org/10.1002/adma.201906308
7. M. Nazari, Jebrane M., Terziev N.; Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 147 (2022) 10677–10692. https://doi.org/10.1007/s10973-022-11285-9
8. S. Muhammad, Rafal A., Wires Energy and Environment 12 (2023) 467–491. https://doi.org/10.1002/wene.467
9. Fink, S. Holzforschung 46 (1992) 403–408. https://doi.org/10.1515/hfsg.1992.46.5.403
10. Huang S., Jiang Q., Yu B., Nie Y., Ma Z., Ma L. Polymers, 11 (2019) 1651. https://doi.org/10.3390/polym11101651
11. Vanholme R., Morreel K., Ralph J., Boerjan W., Curr. Opin. Plant Biol. 11 (2008) 278. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.03.005
12. Johanné A., Stefan B., Anton F., Sustainability 15(4) (2023) 3006. https://doi.org/10.3390/su15043006
13. Sailing Z., Subir K. B. Zhe Q. Yijing Y. Quiliang F. , Progress in Materials Science, 132 (2023) 101025. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.101025
14. Xuelian L., Weizhong Z., Jingpeng L., Xiaoyan L., Neng L., Zhenhua Z., Dapeng Z., Fei R., Yuhe C. Polymers 14 (2022) 3234. https://doi.org/10.3390/polym14163234