

Nghiên cứu tính chất lưu biến, tính chất nhiệt và khả năng hấp thụ nước của vật liệu compozit polyvinyl clorua/bột gỗ

Nguyễn Vũ Giang^{1*}, Thái Hoàng, Trần Hữu Trung, Mai Đức Huỳnh

Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Ngày nhận bài 29.7.2015, ngày chuyển phản biện 3.8.2015, ngày nhận phản biện 8.9.2015, ngày chấp nhận đăng 11.9.2015

Vật liệu compozit nhựa nhiệt dẻo - bột gỗ (BG) là loại vật liệu mới, được quan tâm nhiều trong lĩnh vực xây dựng, kiến trúc vì có những ưu điểm: độ bền cơ học cao, bền thời tiết, bền hóa chất... Tuy nhiên, loại vật liệu này còn tồn tại một số nhược điểm cần được khắc phục: khả năng tương hợp kém giữa 2 pha nhựa và BG, dễ ngấm ẩm, kém bền nhiệt... Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo và khảo sát một số tính chất (độ bền nhiệt, tính lưu biến, khả năng hấp thụ nước) của vật liệu compozit polyvinyl clorua (PVC)/BG. BG sau khi biến tính bằng tetraethyl octosilicat (TEOS) đã giúp làm tăng khả năng tương hợp giữa 2 pha trong compozit do hình thành các hạt nano SiO₂ trên bề mặt BG; các nghiên cứu về tính chất lưu biến đã chỉ ra rằng, độ cứng vật liệu tăng thông qua giá trị mô đun trữ động học G'. Kết quả phân tích nhiệt cho thấy, nhiệt độ bắt đầu phân hủy của vật liệu compozit sử dụng BG biến tính được cải thiện, tại 600°C khối lượng chất rắn còn lại của mẫu tăng 12%; độ hấp thụ nước cũng được hạn chế. Nghiên cứu này được kỳ vọng sẽ tạo tiền đề giúp cải thiện chất lượng vật liệu compozit, mở rộng phạm vi ứng dụng của chúng trong nhiều lĩnh vực của đời sống.

Từ khóa: bột gỗ, compozit PVC/bột gỗ, độ bền nhiệt, tính chất lưu biến.

Chỉ số phân loại 2.5

Đặt vấn đề

Ngành công nghiệp chế biến gỗ của nước ta phát triển mạnh mẽ trong hơn một thập kỷ qua nhờ nhu cầu tiêu thụ trên thế giới tăng cao, chỉ riêng năm 2014 kim ngạch xuất khẩu đạt 6,5 tỷ USD [1]. Cùng với đó, lượng phế liệu trong sản xuất chế biến gỗ cũng tăng mạnh, chiếm tỷ lệ 45-63% thể tích nguyên liệu [2]. Phần lớn lượng phế liệu này bị thải ra môi trường hoặc dùng cho mục đích làm chất đốt với giá trị kinh tế không cao. BG cũng được xuất khẩu sang thị trường Trung Quốc, Đài Loan, Malaysia, Thái Lan... nhưng với giá rất rẻ (khoảng 800.000 đồng/tấn). Trong khi đó, các công ty thương mại của Việt Nam lại nhập khẩu các mặt hàng sản xuất từ vật liệu compozit nhựa/gỗ từ các nước đó để bán trong nước với giá cao. Do đó, việc tận dụng nguồn phế liệu BG trong nước để chế tạo các vật liệu polyme compozit nhựa/BG phục vụ trong các ngành công nghiệp sản xuất vật liệu xây dựng, kiến trúc, giao thông vận tải, nông nghiệp... thay thế các sản phẩm nhập ngoại có tiềm năng lớn về khoa học, tính kinh tế song song với việc giảm ô nhiễm môi trường và phát triển bền vững.

Những năm gần đây, vật liệu compozit BG (WPC) trên nền nhựa PVC đã thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu ở Việt Nam và trên thế giới. Với ưu điểm như độ cứng lớn, khả năng chịu nước cao, bền thời tiết, vật liệu WPC có chứa PVC thể hiện sự vượt trội so với WPC nền polyolefin thông thường. Vật liệu này có thể được sử dụng làm cửa ra vào, cửa sổ... trong ngành xây dựng [3]. Tuy nhiên, nhược điểm của PVC là nhạy nhiệt độ cao so với polyolefin. Các sản phẩm phân hủy của PVC gây độc hại (như HCl được hình thành trong quá trình phân hủy bởi nhiệt). Đồng thời, PVC và BG tương tác với nhau kém do sự khác nhau về cấu tạo, cấu trúc và bản chất hóa học. Vì vậy, để cải thiện khả năng tương tác giữa bề mặt sợi gỗ với nhựa nền cũng như nâng cao tính chất nhiệt cho vật liệu, một số tác nhân nối đôi và các chất xử lý bề mặt cho gỗ như các silan đã được nghiên cứu [4, 5]. Các nghiên cứu này chỉ ra rằng, vật liệu sử dụng BG đã qua xử lý không những cải thiện được độ bền nhiệt mà còn nâng cao đáng kể các tính chất cơ học so với vật liệu sử dụng BG chưa xử lý.

Trong nghiên cứu này, các tác giả đề xuất một phương pháp cải thiện rõ rệt tính chất cơ học và khả

* Tác giả liên hệ: Email: vugiang.lit@gmail.com

Study on rheological, thermal properties and water uptake of the polyvinyl chloride/wood flour composites

Summary

Thermoplastic/wood flour composites have become new materials in the fields of construction and architecture due to the advantages: high mechanical properties, weather resistance, chemical resistance... However, thermoplastic/wood flour composites have still existed some disadvantages which should be overcome such as poor compatibility between the two phases of plastic and wood flour, easy to absorb the moisture, low temperature resistance. In this study, the composite materials based on poly(vinyl chloride) (PVC) and wood flour were manufactured, and some properties were examined, for example, heat stability, rheological properties and water absorption. Accordingly, the wood flour using tetraethyloxosilicate (TEOS) for surface modification enhanced the compatibility between the resin and wood flour through the formation of SiO_2 nanoparticles on the surface of wood flour. Surveying the rheological properties of composite materials indicated the higher hardness: increasing the storage modulus G' . Results of thermal gravimetric analysis (TGA) showed the decomposition temperature of the composites using modified wood flour was improved. At 600°C , the remaining weight of denatured sample increased up to 12%. The moisture absorption of composite using modified wood flour could also be restricted. These results are expected to create the basis for improving the quality of composite materials, helping to expand the scope of applications of PVC/wood flour composites.

Keywords: PVC/wood flour composite, rheological property, thermal stability, wood flour.

Classification number 2.5

năng tương tác với nhựa nền của vật liệu WPC nền nhựa PVC và BG biến tính bề mặt bằng các hạt nano SiO_2 được tổng hợp trực tiếp trên bề mặt BG. Đây là một phương pháp mới, chưa từng được nghiên cứu trước đây. Ưu điểm của phương pháp này là các hạt nano SiO_2 hình thành sẽ làm tăng khả năng tương tác với nhựa nền, cải thiện rõ rệt tính chất cơ học của vật liệu như độ cứng, độ bền kéo, độ bền uốn... Cụ thể, vật liệu composit được chế tạo trên nền nhựa PVC và BG biến tính bởi tác nhân TEOS bằng phương pháp phối trộn nóng chảy. Quá trình biến tính này được điều khiển bằng phản ứng thủy phân và ngưng tụ để chuyển hóa TEOS thành các hạt nano SiO_2 bám trên bề mặt BG (in situ). BG được lựa chọn trong nghiên cứu này là loại BG keo tai tượng được dùng phổ biến trong công nghiệp chế biến gỗ ở Việt Nam. Các tính chất lưu biến, tính chất nhiệt, tính ngấm ẩm của vật liệu WPC sẽ được đánh giá và so sánh giữa BG chưa xử lý và BG đã xử lý.

Thực nghiệm và các phương pháp nghiên cứu

Nguyên liệu và hóa chất

- Nhựa nền: PVC dạng hạt được cung cấp bởi Công ty TNHH nhựa và hóa chất TPC ViNa (Việt Nam), loại Grade SG 660 có độ trùng hợp trung bình $n = 980-1020$, $K = 65-67$.

- BG của cây keo tai tượng được sử dụng có kích thước hạt khoảng $100 \mu\text{m}$.

- TEOS 98%, công thức $\text{C}_8\text{H}_{20}\text{O}_4\text{Si}$, được cung cấp từ Công ty hóa chất DAEJUNG (Hàn Quốc) theo tiêu chuẩn hóa chất phân tích (PA).

- Các phụ gia:

+ Phụ gia hóa dẻo: dioctyl phtalat (DOP) được cung cấp từ Công ty hóa chất Đức Giang.

+ Phụ gia ổn định: kẽm stearat, bari stearat (được chế tại Phòng thí nghiệm, Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam).

- Dung môi: cồn tuyệt đối ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 99,5% được cung cấp từ Công ty hóa chất Đức Giang.

Phương pháp chế tạo vật liệu composit PVC/BG

Biến tính bề mặt BG bằng TEOS [6, 7]: BG được đem sấy khô trong tủ sấy với thời gian là 5 giờ tại

100°C đến khối lượng không đổi. Tiến hành khuấy hỗn hợp: 100 g BG trong 500 ml dung dịch cồn 99,5% chứa hỗn hợp TEOS và nước cất (theo tỷ lệ tích 1:1) trong thời gian là 30 phút ở tỷ lệ khối lượng $m_{TEOS}:m_{BG} = 1\%; 3\%; 5\% \text{ và } 10\%$, sau đó nhỏ từ từ amoniac để điều chỉnh độ pH của dung dịch và duy trì hỗn hợp ở nhiệt độ 50°C với khuấy từ trong 2 giờ. Hỗn hợp sau phản ứng được đem lọc bằng thiết bị hút chân không và rửa sạch bằng cồn để loại bỏ silan còn dư. Chất rắn thu được đem sấy khô để loại bỏ dung môi, thu được BG đã gắn hạt silica (BT).

Chế tạo vật liệu compozit PVC/BG: vật liệu compozit PVC/BG được chế tạo theo phương pháp phối trộn nóng chảy trên thiết bị trộn kín Haake Rheomix 610 (CHLB Đức). Các mẫu vật liệu compozit được chế tạo ở nhiệt độ 180°C, thời gian 4 phút, tốc độ trộn từ 75 vòng/phút, tỷ lệ hàm lượng BG 30% (tính theo compozit). Sau đó, hỗn hợp nóng chảy được ép định hình tấm phẳng trên thiết bị ép nhiệt Toyoseky (Nhật Bản) ở nhiệt độ bằng nhiệt độ phối trộn tối ưu trong 2 phút, áp suất ép 5 MPa. Mẫu sau khi làm nguội được bảo quản ở điều kiện nhiệt độ phòng ít nhất 24 giờ trước khi xác định các tính chất.

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA): phương pháp này nghiên cứu sự thay đổi liên tục về khối lượng của mẫu theo nhiệt độ trong môi trường không khí tự nhiên và trong môi trường khí nitơ. Quá trình phân tích TGA được thực hiện trên máy DTG 50H của hãng Shimadzu (Nhật Bản) tại Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, tốc độ gia nhiệt 10°C/phút, môi trường khí nitơ, từ nhiệt độ phòng đến 600°C.

Phương pháp lưu biến trạng thái rắn: các tính chất lưu biến được xác định trên máy lưu biến C-VOR 150 của Anh, ở nhiệt độ 35°C, tần số của lực tác động thay đổi từ 0,5-4 Hz theo từng bước được chương trình hóa, thời gian ngừng sau mỗi tần số là 20 giây (đủ để mẫu hồi phục lại trạng thái ban đầu). Phép đo được tiến hành tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam.

Khảo sát khả năng hấp thụ nước của vật liệu: khả năng hấp thụ nước được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D570. Ban đầu các mẫu được sấy cho đến khối

lượng không đổi, sau đó được ngâm trong nước cất, tại thời điểm nhất định, mỗi mẫu được lấy ra khỏi ống chứa nước, làm khô bằng cách lau giấy thấm và sau đó cân nặng để xác định sự hấp thụ nước, sau mỗi chu kỳ đem cân mẫu để xác định trọng lượng của mẫu, từ đó tính hàm lượng nước hấp thụ trong mẫu.

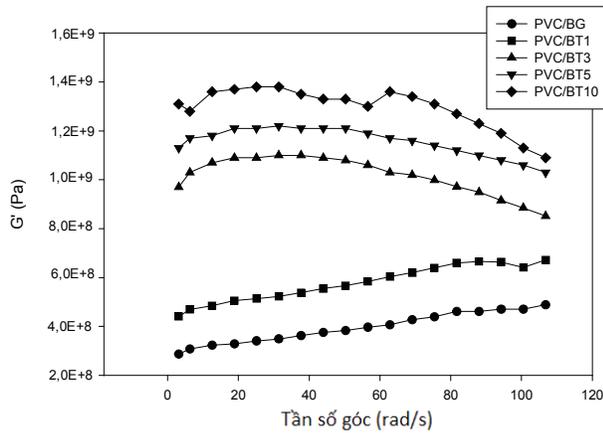
Kết quả và thảo luận

Lưu biến trạng thái rắn

Mô đun trữ động học G': mô đun trữ động học G' mô tả quan hệ giữa ứng suất và biến dạng trong vùng đàn hồi dưới tác dụng của ngoại lực thay đổi theo tần số. Mô đun G' đặc trưng cho độ cứng của vật liệu. Khi các chất phân tán và kết dính tốt với nền nhựa, mô đun G' có xu hướng tăng. Do đó, nghiên cứu tính chất G' là phương pháp tin cậy xác định khả năng phân tán của BG có và không biến tính bởi TEOS trong nền nhựa PVC.

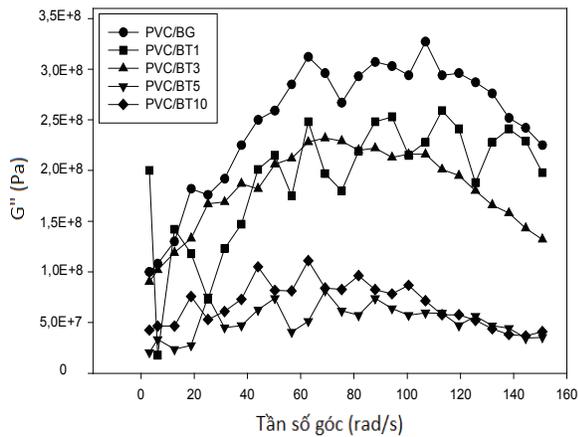
Hình 1 chỉ ra sự phụ thuộc của G' vào tần số góc (ω) của các mẫu PVC/BG và PVC/BT tại các hàm lượng chất biến tính khác nhau. Tại tần số thấp, biến dạng của các mẫu compozit biến tính và không biến tính là giống nhau và thể hiện tính chất tỷ lệ giữa G' và tần số góc tuân theo quy tắc Cox-Merz [8]. Khi tăng hàm lượng chất biến tính TEOS, giá trị G' của các mẫu compozit có xu hướng tăng rõ rệt. Điều đó chứng tỏ các hạt nano SiO₂ tạo thành và bám lên trên bề mặt sợi gỗ đã phân tán tương đối đồng đều, do đó, làm giảm kích thước các lỗ trống do BG tạo ra trong quá trình gia công trộn nóng chảy. Vì vậy, việc hình thành các hạt nanosilica đã tạo ra sự liên kết tốt giữa BG biến tính và nền PVC, làm tăng giá trị mô đun trữ động học của vật liệu PVC/BT.

Tuy nhiên, xu hướng biến đổi của G' theo tần số góc đối với các mẫu có sự khác nhau, với mẫu PVC/BG và PVC/BT1, giá trị G' tăng nhẹ theo tần số góc, trong khi các mẫu có hàm lượng chất biến tính lớn (3-10%), giá trị G' có xu hướng giảm tại các giá trị tần số góc lớn. Kết quả này có thể do quá trình chuyển hóa TEOS thành SiO₂ không hoàn toàn, hàm lượng silan còn dư có thể làm cấu trúc vật liệu trở nên mềm hơn, độ đàn hồi của vật liệu compozit giảm, khi đó ứng suất tác động lên mẫu có độ trễ tăng khi tác động tại các tần số góc lớn.



Hình 1: ảnh hưởng của hàm lượng TEOS biến tính BG đến G' của composit

Mô đun tổn hao G'': sự phụ thuộc của G'' và tần số góc của vật liệu PVC/BG và PVC/BT được chỉ ra trên hình 2. So sánh biến đổi G'' của các mẫu PVC/BG với các mẫu PVC/BT đã chỉ ra sự khác biệt. Giá trị G'' của các mẫu PVC/BG có xu hướng tăng dần theo tần số góc; trong khi ở các mẫu PVC/BT, giá trị G'' hầu như không tăng và có xu hướng không phụ thuộc vào tần số này, đặc biệt là mẫu PVC/BT5 và PVC/BT10. Dựa vào sự biến đổi này, với các tỷ lệ chất biến tính lớn hơn 5% khối lượng TEOS, có thể coi là mức ngưỡng của hàm lượng TEOS lên trên BG.

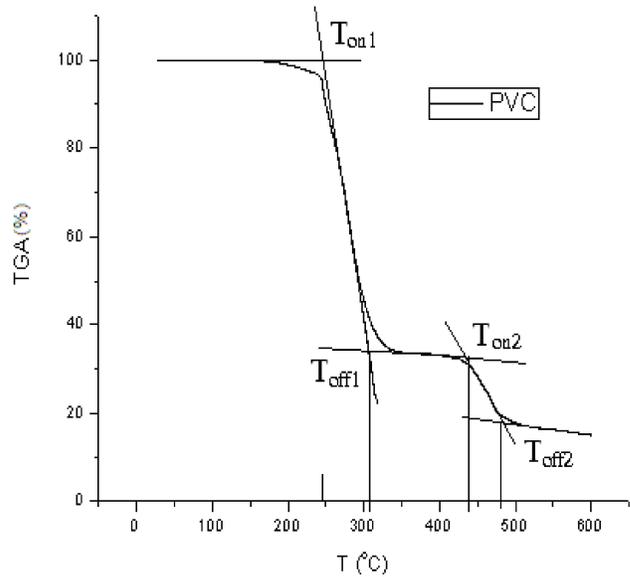


Hình 2: ảnh hưởng của hàm lượng TEOS biến tính BG lên G'' của composit

Tính chất nhiệt của vật liệu composit PVC/BG

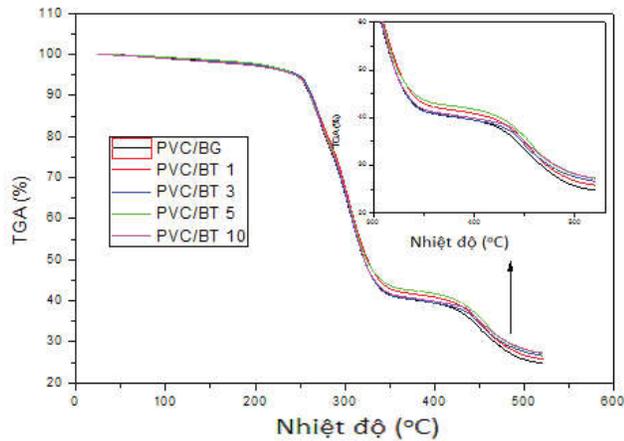
Hình 3 là giản đồ TGA của nền PVC, giản đồ được dùng làm mẫu so sánh để đánh giá độ bền nhiệt của vật liệu PVC/BG. Hình 3 cho thấy 2 giai đoạn phân hủy nhiệt của PVC, giai đoạn đầu là quá trình phân hủy giải phóng HCl, giai đoạn 2 là quá trình phân hủy của

phụ gia (DOP) và phần còn lại của polyme. Kết quả phân tích TGA cho thấy 2 nhiệt độ bắt đầu phân hủy của PVC $T_{on1} = 245,6^{\circ}C$ và $T_{on2} = 481,2^{\circ}C$. Hàm lượng tro còn lại (bao gồm các chất phụ gia vô cơ và tro của polyme bị phân hủy) là 17,69%.



Hình 3: giản đồ TGA của mẫu PVC

Hình 4 trình bày giản đồ TGA của PVC/BG và PVC/BT với các hàm lượng biến tính khác nhau. Từ hình 4 có thể thấy rõ sự phân hủy nhiệt của vật liệu PVC/BG và PVC/BT (bột gỗ biến tính TEOS) đều có đặc trưng giống với nền PVC, bao gồm 2 giai đoạn phân hủy. Các mẫu bắt đầu suy giảm khối lượng ở khoảng nhiệt độ từ 100°C đến 250°C, quá trình này xảy ra do sự bay hơi của nước ngưng ẩm trong mẫu và sự tách thoát ban đầu của HCl khỏi PVC. Sự giảm khối lượng mạnh của các mẫu PVC/BG và PVC/BT xảy ra chủ yếu trong khoảng sau từ nhiệt độ 245-490°C. Quá trình này chủ yếu do sự phân hủy của mạch PVC và BG. Trong giai đoạn này, các mẫu composit sử dụng BT thể hiện xu hướng có nhiệt độ phân hủy cao hơn so với mẫu PVC/BG và PVC, kết quả chi tiết được liệt kê trong bảng 1. Các mẫu có hàm lượng biến tính càng lớn thì có độ bền nhiệt càng cao. Điều này phản ánh độ bền nhiệt của vật liệu đã được cải thiện sau khi biến tính BG do lớp SiO₂ bền nhiệt đã hình thành và bao bọc xung quanh sợi gỗ. Nhờ đó, hàm lượng tro còn lại của các mẫu biến tính cũng cao hơn so với mẫu PVC/BG.



Hình 4: giản đồ phân tích nhiệt của composit PVC/BG và PVC/BT theo hàm lượng TEOS khác nhau

Bảng 1: các tính chất nhiệt đặc trưng của các mẫu composit PVC/BG và PVC/BT tại các hàm lượng TEOS khác nhau

Mẫu	T _{on1} (°C)	T _{off1} (°C)	T _{on2} (°C)	T _{off2} (°C)	% còn lại ở 520°C
PVC/BG	262,81	329,28	418,92	488,96	24,73
PVC/BT 1	263,51	331,08	423,42	487,61	25,82
PVC/BT 3	263,06	333,33	427,93	486,49	26,63
PVC/BT 5	262,39	334,46	430,18	487,61	27,33
PVC/BT 10	261,56	334,68	430,41	488,96	27,08
PVC	245,60	308,55	438,90	481,20	17,69

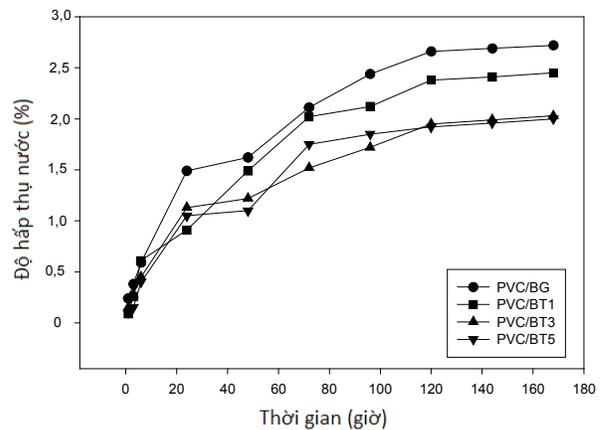
Khả năng hấp thụ nước

Độ hấp thụ nước của vật liệu được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D570, trong đó, % thay đổi khối lượng mẫu được xác định theo thời gian ngâm mẫu trong nước. Kết quả thí nghiệm độ hấp thụ nước của vật liệu composit PVC/BG, PVC/BT1, PVC/BT3, PVC/BT5 được thể hiện trên bảng 2 và hình 5.

Bảng 2: độ ngấm ẩm (%) của composit theo thời gian

Thời gian (giờ)	PVC/BG	PVC/BT1	PVC/BT3	PVC/BT5
1	0,24	0,09	0,15	0,10
3	0,38	0,26	0,28	0,15
6	0,59	0,61	0,45	0,40
24	1,49	0,91	1,13	1,05
48	1,62	1,49	1,22	1,10
72	2,11	2,02	1,52	1,75
96	2,44	2,12	1,72	1,85
120	2,66	2,38	1,95	1,92
144	2,69	2,41	1,99	1,96
168	2,72	2,45	2,03	2,00

Kết quả đo cho thấy, độ hấp thụ nước của tất cả các mẫu composit đều tăng theo thời gian ngâm. Mức độ hấp thụ nước trong 24 giờ đầu thay đổi theo tốc độ 0,05-0,06%/giờ ở tất cả các mẫu. Ban đầu, nước xâm nhập vào mẫu qua các khe hở, vết nứt tế vi trên bề mặt mẫu xuất hiện trong quá trình gia công mẫu. Ở giai đoạn tiếp theo, BG bắt đầu tiếp xúc và hấp thụ nước thông qua các mao quản. Sau khoảng 40 giờ ngâm, độ hấp thụ nước của các mẫu bắt đầu cho thấy sự khác nhau rõ rệt. Theo đó, các mẫu sử dụng BT bởi TEOS hàm lượng cao có độ hấp thụ nước nhỏ và ngược lại. Đối với BG đã biến tính, các hạt silica đã được phủ lên bề mặt BG làm giảm quá trình hấp phụ nước vào bên trong BG. Mặt khác, vật liệu composit chứa BG biến tính có độ tương hợp cao, chặt chẽ về cấu trúc, nên nước khó xâm nhập vào bên trong vật liệu. Tại 168 giờ ngâm, PVC/BG và PVC/BT 1 là 2,72 và 2,45%, cao hơn rất nhiều so với độ ngấm ẩm của PVC/BT 3 và PVC/BT 5 (tương ứng là 2,03 và 2,00%).



Hình 5: ảnh hưởng của hàm lượng TEOS biến tính BG đến độ ngấm ẩm của vật liệu PVC/BG

Kết luận

Từ các kết quả trên cho thấy, quá trình biến tính BG bằng tác nhân TEOS đã cho thấy tính hiệu quả trong việc cải thiện giá trị G' của vật liệu so với mẫu chưa biến tính. Đánh giá tính chất nhiệt của vật liệu cho thấy, nhiệt độ bắt đầu phân hủy của các mẫu PVC/BT cao hơn so với mẫu PVC/BG từ 262°C lên 263°C cho giai đoạn 1 và từ 418°C lên 430°C cho giai đoạn 2. Hàm lượng cặn còn lại đã tăng từ 25% cho mẫu PVC/BG lên 28% cho mẫu PVC/BT10, điều này chứng tỏ các mẫu composit biến tính đã được cải thiện độ bền nhiệt. Đánh giá khả năng hấp thụ nước của vật liệu cũng cho thấy, các mẫu biến tính có hàm lượng

nước bị hấp thụ thấp hơn rõ rệt so với mẫu không biến tính.

Lời cảm ơn

Các tác giả trân trọng cảm ơn Văn phòng Các chương trình trọng điểm cấp nhà nước, Bộ KH&CN đã tài trợ kinh phí cho việc thực hiện các nội dung dự án sản xuất thử nghiệm mã số KC02.DA11/11-15.

Tài liệu tham khảo

[1] <http://baodientu.chinhphu.vn/Kinh-te/Xuat-khau-go-noi-da-tang-ruong/216579.vgp>

[2] Hà Tiến Mạnh, Nguyễn Bảo Ngọc, Nguyễn Đức Thành, Hà Thị Thu (2011), “Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ BG và nhựa polypropylene đến tính chất composit nhựa gỗ”, *Tạp chí Khoa học lâm nghiệp*, số 1, tr.1752-1759.

[3] Ashori A, Nourbakhsh A (2011), “Preparation and characterization of polypropylene/wood flour/nanoclay composites”,

European Journal of Wood and Wood Products, **69(4)**, pp.663-666.

[4] Magnus Bengtsson, Kristiina Oksman (2006), “The use of silane technology in crosslinking polyethylene/wood flour composites”, *Composite Part A: Applied science and manufacturing*, **37**, pp.752-765.

[5] Haoli Zhou, Yi Su, Xiangrong Chen, Shouliang Yi, Yinhua Wan (2010), “Modification of silicalite by vinyltrimethoxysilane (VTMS) and preparation of silicalite-1 filled polydimethylsiloxane (PDMS) hybrid pervaporation membranes”, *Separation and Purification Technology*, **75**, pp.286-294.

[6] Nguyen Vu Giang, Tran Huu Trung, Mai Duc Huynh, Vu Manh Tuan (2014), “Study on the effect of SiO₂ - graft wood flour on the properties of polypropylene/wood flour nanocomposites”, *Vietnam Journal of Science and Technology*, **52(3B)**, pp.72-78.

[7] Nguyen Vu Giang, Tran Huu Trung, Mai Duc Huynh, Vu Manh Tuan, Nguyen Ngoc Hung (2012), “The formation of silica nanoparticles on the wood flour an hits characteristics”, *Vietnam Journal of Science and Technology*, **52(6B)**, pp.142-147.

[8] Cox W.P, Merz E.H (1958), “Correlation of dynamic and steady - flow viscosities”, *J. Polymer Science*, **28**, pp.619.