

# NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT VÀ CẤU TRÚC VẬT LIỆU HDPE/BỘT GỖ GIA CƯỜNG BỞI HẠT NANO TITAN DIOXIT CÓ SỬ DỤNG CHẤT TƯƠNG HỢP PEGMA

Mai Đức Huynh, Thái Hoàng, Nguyễn Vũ Giang\*, Trần Hữu Trung

*Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

Đến Tòa soạn 16-12-2013

## Abstract

In this research, the polymer composites based on high density polyethylene (HDPE) resin and wood flour using the PEGMA compatibilizer and rutile titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) nanoparticles were prepared by melt-mixing method in a Haake internal mixer. In the presence of 4 wt.% of the compatibilizer and 1 wt.% of modifies  $\text{TiO}_2$  nanoparticles in the compositions of the HDPE/WF composite (with 50 wt.% of wood flours) increased the tensile strength up to a highest value of 32.51 MPa. The structural morphology was studied by using a field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) clearly indicated the leading roles of compatibilizer and inorganic nanoparticles contributing to the enhancement of the flexural strength and minimizing the soak of the composite material as well. The addition a small content of (1 wt.%)  $\text{TiO}_2$  nanoparticles increased significantly the melting viscosity of composite mixture, therefore, assisting the processibility of pressing-extrusion technique.

**Keywords:** HDPE,  $\text{TiO}_2$ , wood flour, wood – thermoplastic composite, processibility.

## 1. MỞ ĐẦU

Trong những năm qua, vật liệu composit nhựa gỗ trên nền nhựa nhiệt dẻo (WTPCs) đã có bước phát triển mạnh mẽ và có nhiều ứng dụng ngày càng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực của đời sống nhờ những ưu điểm nổi bật như: độ bền cơ lý cao, có tính thẩm mỹ đặc biệt, có khả năng tái chế, giá thành rẻ, thuận tiện khi gia công. Tuy nhiên, vật liệu này cũng bộc lộ một vài hạn chế như: độ bền nhiệt thấp, khả năng ngấm ẩm cao do bột gỗ có tính ưa nước, nên sản phẩm dễ bị cong vênh, đặc biệt khả năng kết dính giữa bột gỗ và nhựa nền kém do bản chất hóa học khác nhau. Do vậy, khi sử dụng hàm lượng bột gỗ lớn, tính chất cơ lý của vật liệu suy giảm rõ rệt làm hạn chế những ứng dụng của chúng [1].

Để cải thiện khả năng tương hợp giữa các pha của WTPCs, nhựa nền thường được biến tính bằng cách ghép chúng với các monome có độ phân cực mạnh như anhydrit maleic, axit acrylic, axit oxalic, acrylamit...) [2-7] hoặc biến tính bề mặt bột gỗ bởi các tác nhân phân cực. Mục đích của những phương pháp này là nâng cao kết dính cũng như hiệu quả tương tác giữa bột gỗ và nhựa nền để cải thiện khả năng phân tán của bột gỗ vào trong nhựa nền làm tăng tính chất cơ lý của vật liệu.

Với mục đích gia cường tính chất của vật liệu

composit WTPCs, hướng nghiên cứu mới thu hút được quan tâm của nhiều nhà khoa học trong khoảng vài năm gần đây là sử dụng hạt vô cơ kích thước nano có độ bền cao như hạt nanosilica, nanoclay,... phân tán trong cấu trúc vật liệu WTPCs [8-10]. Vật liệu WTPCs khi sử dụng chất gia cường này khá nhẹ, có độ bền nhiệt cao, khả năng ngấm ẩm giảm và tính chất cơ học được cải thiện rõ rệt. Hạt nano  $\text{TiO}_2$  kết tinh loại rutil sở hữu nhiều đặc tính nổi trội như độ cứng cao, bền nhiệt và thời tiết, có thể sử dụng làm chất gia cường tốt cho vật liệu WTPCs.

Do vậy, trong nghiên cứu này, đã khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng chất tương hợp HDPE ghép anhydrit maleic (PEGMA) và hạt nano  $\text{TiO}_2$  đến tính chất và cấu trúc của vật liệu HDPE/BG. Nội dung nghiên cứu tập trung vào tính chất cơ học của vật liệu để tìm ra hàm lượng tối ưu, nghiên cứu cấu trúc, khả năng ngấm ẩm và tính chất lưu biến nóng chảy của vật liệu.

## 2. THỰC NGHIỆM VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Polyetylen tỉ trọng cao (HDPE), dạng hạt trắng do công ty hóa chất LG, Hàn Quốc, tỉ trọng 0,916,

chỉ số chảy MFI 2 g/10 phút/190 °C/2,16 kg, có độ bền kéo đứt 33 MPa. Bột gỗ (BG) của cây giáng hương được sử dụng với kích thước hạt khoảng 100 mesh. Hạt TiO<sub>2</sub> loại rutil (ORT), kích thước nano (40-100 nm) do Công ty Polyplus, Hàn Quốc cung cấp. Hạt TiO<sub>2</sub> được biến tính (MRT) bằng vinyltrimetoxysilan (VTMS) tại Phòng Hóa lý vật liệu phi kim loại, Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, chi tiết công bố trong tài liệu tham khảo [11]. Chất tương hợp PEGMA được chế tạo tại Phòng thí nghiệm này với hàm lượng MA ghép là 0,3 %kl.

## 2.2. Chế tạo mẫu

Vật liệu WTPCs có thành phần bao gồm: HDPE, HDPEgMA, bột gỗ và TiO<sub>2</sub> biến tính và không biến tính (thành phần được trình bày ở bảng 1) được chế tạo theo phương pháp trộn nóng chảy trên thiết bị trộn kín Haake Rheomix 610 (CHLB Đức). Điều kiện gia công: thời gian trộn 7 phút, nhiệt độ 180 °C, tốc độ quay của trục vít là 50 vòng/phút cho tất cả các mẫu. Tiếp theo, hỗn hợp nóng chảy được nhanh chóng chuyển sang máy ép định hình tấm phẳng trên thiết bị ép nhiệt Toyoseiky (Nhật Bản) ở nhiệt độ 180 °C trong 2 phút, áp suất ép 5 MPa, sau đó mẫu được làm nguội xuống nhiệt độ phòng trong không khí. Mẫu sau khi chế tạo được bảo quản ở điều kiện nhiệt độ phòng ít nhất 24 giờ trước khi xác định các tính chất.

Bảng 1: Thành phần của vật liệu tổ hợp HDPE/bột gỗ

Kí hiệu mẫu	Bột gỗ, %kl	HDPE, %kl	PEgMA, %kl	TiO <sub>2</sub> , %kl
M0T0	50	50	0	0
M0T1	50	49	0	1
M0T2	50	48	0	2
M0T3	50	47	0	3
M2T0	50	48	2	0
M4T0	50	46	4	0
M4T1	50	45	4	1
M4T2	50	44	4	2
M4T3	50	43	4	3
M6T0	50	44	6	0

Mẫu sử dụng 1% MRT và 4 %kl PEGMA được lựa chọn làm mẫu đối chứng, ký hiệu M4B1.

## 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Độ bền kéo đứt và modul đàn hồi được đo trên máy Zwick Z2.5 (Đức) theo tiêu chuẩn ASTM D638 tốc độ kéo 50 mm/phút ở nhiệt độ phòng. Độ bền

uốn của các mẫu được đo trên máy đo đa năng Instron 100 kN theo tiêu chuẩn ASTM D790. Hình thái bề mặt hạt nano được xác định trên kính hiển vi điện tử phát xạ trường S-4800 của hãng Hitachi, Nhật Bản tại Viện Vệ sinh dịch tễ. 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. Sau mỗi chu kỳ đem cân mẫu để xác định trọng lượng của mẫu từ đó tính hàm lượng nước có trong mẫu. Độ ngâm nước của vật liệu được tính theo công thức sau:

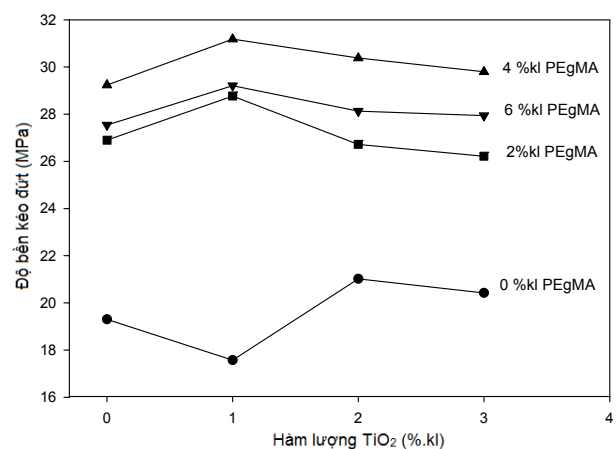
$$\% m_{\text{khối lượng ngâm nước}} = \frac{m_{\text{sau}} - m_{\text{trước}}}{m_{\text{trước}}} \cdot 100\%$$

Khả năng chống cháy của vật liệu composit được đánh giá theo tiêu chuẩn UL-94 (Underwriters Laboratories Inc) của Mỹ (phương pháp xác định thời gian cháy theo phương nằm ngang - 94HB, Horizontal Burning). Quá trình này được tiến hành trên thiết bị thử nghiệm cháy tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng TiO<sub>2</sub> và chất tương hợp đến độ bền kéo đứt của vật liệu composit

Trên hình 1 trình bày sự phụ thuộc của độ bền kéo đứt theo hàm lượng TiO<sub>2</sub> có sử dụng các hàm lượng PEGMA khác nhau. Độ bền kéo đứt của mẫu M0T0 khi không có mặt PEGMA là 19,3 MPa, thấp hơn so với nhựa nền PE ban đầu (33 MPa), điều này chỉ ra sự tương tác kém giữa nhựa nền với BG khi không có chất tương hợp. Khi có mặt chất tương hợp



Hình 1: Ảnh hưởng của hàm lượng TiO<sub>2</sub> đến độ bền kéo đứt của tổ hợp vật liệu HDPE/PEgMA/BG

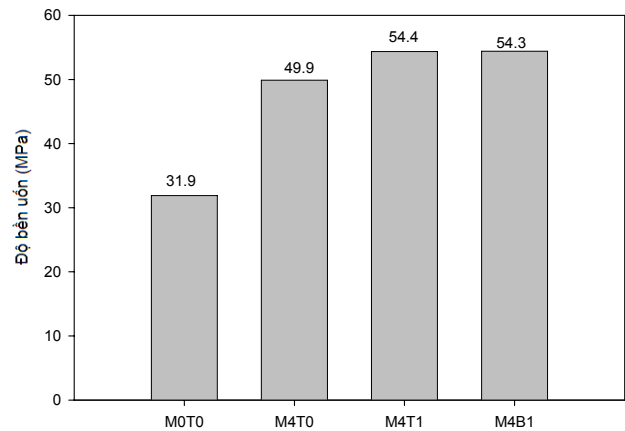
PEgMA, độ bền kéo đứt có xu hướng tăng theo hàm lượng chất tương hợp và đạt giá trị lớn nhất là 29,24 MPa ở hàm lượng 4 %kl PEgMA, tăng 51,5 % so với mẫu M0T0. Kết quả này cũng phù hợp với nghiên cứu của H. Liu và các cộng sự [12], khi sử dụng 2,9 % PEgMA đưa vào compozit HDPE/BG (60/40), độ bền kéo đứt đã tăng 64% so với mẫu không sử dụng chất tương hợp. Tuy nhiên khi tăng hàm lượng chất tương hợp lên 6%kl, độ bền kéo đứt của vật liệu giảm xuống 27,54 MPa. Điều này cho thấy, tồn tại một hàm lượng tối hạn của chất tương hợp. Kết quả này là do hàm lượng PEgMA lớn, có thể kết tụ trong vật liệu hình thành nên một vùng pha mới, làm giảm hiệu quả kết dính giữa bột gỗ với nhựa nền.

Khi sử dụng TiO<sub>2</sub>, độ bền kéo đứt của tổ hợp vật liệu tăng khá rõ so với mẫu không có TiO<sub>2</sub>. Tại hàm lượng 2 %kl PEgMA, độ bền kéo đứt ban đầu 26,9 MPa, với 1 %kl TiO<sub>2</sub> đưa vào, độ bền kéo đứt tăng lên 28,77 MPa. Giá trị này tăng 7 % so với mẫu không có TiO<sub>2</sub>. Nhìn chung, tại cùng một hàm lượng PEgMA, độ bền kéo đứt của vật liệu tổ hợp sử dụng 1%kl TiO<sub>2</sub> đạt giá trị lớn nhất. Khi tăng hàm lượng chất gia cường này lớn hơn nữa, độ bền kéo đứt có xu hướng giảm, kết quả này là do sự kết tụ của các hạt nano TiO<sub>2</sub> khi phân tán trong nền PE. Trên hình 1 cho thấy, mẫu M4T1 đạt giá trị độ bền kéo đứt là cao nhất là 31,18 MPa. Khi sử dụng hạt nano MRT 1 %kl (mẫu M4B1), độ bền kéo đứt đạt được là 32,51 MPa. Như vậy, tại hàm lượng chất tương hợp PEgMA 4 %kl, và 1 %kl hạt MRT vật liệu compozit có độ bền kéo đứt là lớn nhất. Ở đây, tác nhân VTMS đóng vai trò làm tăng khả năng kết dính của TiO<sub>2</sub> với nhựa nền và chất tương hợp, do vậy khả năng phân tán của MRT được cải thiện tốt hơn so với các mẫu sử dụng ORT. Các mẫu M0T0, M4T0 và M4T1 và M4B1 được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

### 3.2. Độ bền uốn của vật liệu tổ hợp vật liệu

Hình 2 trình bày độ bền uốn của vật liệu tổ hợp HDPE/BG có và không sử dụng chất tương hợp PEgMA và chất gia cường TiO<sub>2</sub>. Sự có mặt của chất tương hợp PEgMA đã cải thiện đáng kể độ bền uốn của tổ hợp HDPE/BG, độ bền uốn của HDPE/BG tăng từ 31,9 MPa lên 49,9 MPa (tăng 56,4 %). Khi có mặt chất gia cường TiO<sub>2</sub>, độ bền uốn của vật liệu tổ hợp được cải thiện đáng kể, tăng 70,5 % cho cả mẫu M4T1. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Ashori và các cộng sự [13], vật liệu compozit PP/BG (70/30) đã sử dụng chất tương hợp PPgMA (7,5 %kl) và nanoclay (3 %kl) để tăng tính chất cơ học, vật liệu tổ hợp có độ bền uốn tăng 20 % so với mẫu PP/BG. Điều này chứng minh hiệu quả gia

cường của hạt nano TiO<sub>2</sub> và chất tương hợp PEgMA trong việc cải thiện tính chất cơ lý cho vật liệu HDPE/BG.



Hình 2: Độ bền uốn của vật liệu compozit có và không có TiO<sub>2</sub>

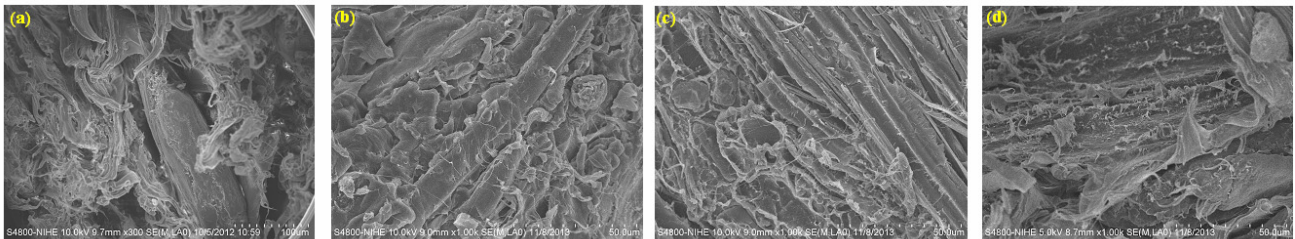
### 3.3. Ảnh hiển vi điện tử FESEM

Hình 3 là ảnh FESEM của vật liệu M0T0 (a), M4T0 (b), M4T1(c) và M4B1(d). Quan sát ảnh 3(a) có thể thấy rõ sự phân tách pha giữa sợi gỗ và nhựa nền HDPE, đồng thời xuất hiện nhiều lỗ trống trên bề mặt vật liệu. Cấu trúc của vật liệu không chặt khít làm cho vật liệu có xu hướng bị ngấm nước nhanh và trương nở (dễ bị nước và không khí xâm nhập), điều này có thể dẫn tới sự suy giảm trong tính chất cơ của vật liệu. Ảnh FESEM ở độ phân giải x300, hình 3 (b), (c) và (d) cho thấy khi sử dụng chất tương hợp cho độ kết dính tốt giữa sợi gỗ và nền HDPE, vật liệu compozit có cấu trúc đồng đều và chặt khít hơn giữa các pha. Ở độ phân giải này tuy chưa đủ để thấy được sự phân tán của hạt nano TiO<sub>2</sub> nhưng đã minh chứng rõ sự tương tác tốt giữa bề mặt bột gỗ và nhựa nền với vai trò của chất tương hợp PEgMA là nguyên nhân cải thiện đáng kể tính chất của vật liệu compozit. Với cấu trúc chặt khít, đồng nhất pha hơn, vật liệu compozit có khả năng ngăn chặn sự xâm nhập của nước và không khí tốt hơn, dẫn tới tính chất cơ lý được cải thiện đáng kể so với vật liệu không sử dụng chất tương hợp PEgMA và chất gia cường TiO<sub>2</sub>.

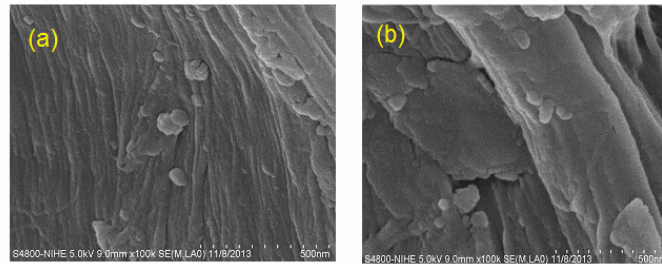
Độ phân giải ảnh FESEM được gia tăng trên hình 4 (x100k) mô tả sự phân tán của hạt nano TiO<sub>2</sub> không biến tính và biến tính ở cùng tỷ lệ 1 %kl trong vật liệu compozit M4T1 và M4B1. Hàm lượng 1 %kl chất phân tán nano được lựa chọn do có tính chất cơ học nổi trội hơn cả. Quan sát trên hình 4(a) có thể thấy hạt nano TiO<sub>2</sub> phân tán tương đối đều, tuy nhiên độ kết dính với nhựa nền và bột gỗ chưa thực sự tốt. Sử dụng hạt nano TiO<sub>2</sub> biến tính trong

mẫu M4B1, có thể thấy rõ sự phân tán và kết dính tốt hạt nano MRT trong vùng biên pha của nền HDPE và sợi gỗ kích thước micromet như trên hình 4(b). Hạt MRT với khả năng kết dính tốt lấp đầy các khoảng trống vi mô xen kẽ giữa hai pha sợi gỗ và nhựa nền, do đó, hạn chế khuyết tật trong cấu trúc của composit. Đồng thời, các hạt kích thước nanomet vô cơ với cơ tính cao đóng vai trò như những chiếc nêm vùng biên pha, làm tăng độ cứng

và chống lại các chuyển động trượt phân tử khi có tác động của ngoại lực ngăn chặn phát triển vết nứt tế vi. Kết quả này lý giải sự tăng độ bền kéo đứt của vật liệu tổ hợp M4B1 so với M4T1. Như vậy, chất tương hợp PEGMA và hạt gia cường nano MRT đóng vai trò quan trọng trong quá trình chế tạo vật liệu HDPE/bột gỗ để chế tạo sản phẩm dân dụng và công nghiệp đạt tính chất tốt hơn.



Hình 3: Ảnh FESEM của tổ hợp vật liệu: (a) M0T0, (b) M4T0, (c) M4T1, (d) M4B1

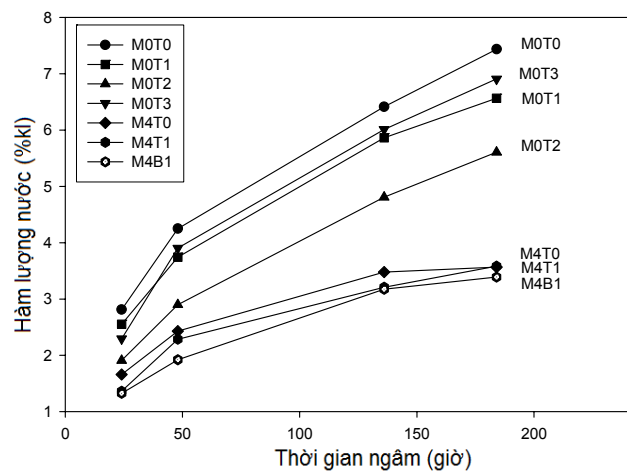


Hình 4: Sự phân tán của hạt nano TiO<sub>2</sub> trong vật liệu tổ hợp: (a) M4T1 và (b) M4B1

### 3.4. Khả năng hấp thụ nước của vật liệu composit

Hình 5 mô tả sự phụ thuộc của hàm lượng nước hấp thụ thay đổi theo thời gian. Nghiên cứu được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D570. Sau 24 giờ đầu, mẫu M0T0 có độ hấp thụ nước cao nhất là 2,8 %kl, trong khi mẫu M4T1 có hàm lượng nước hấp thụ thấp nhất là 1,3 %kl. Hàm lượng nước trong các mẫu tăng mạnh trong 150 giờ đầu và có xu hướng chậm lại trong khoảng thời gian tiếp theo. Khả năng ngấm ẩm của các mẫu không sử dụng chất tương hợp tăng mạnh hơn so với các mẫu sử dụng chất tương hợp. Sau 150 giờ, các mẫu có sử dụng PEGMA và TiO<sub>2</sub> có hàm lượng nước gần như không đổi do khả năng hấp thụ bão hòa của bột gỗ. Mặt khác, chất tương hợp PEGMA làm tăng tương tác và bám dính của bột gỗ với nền HDPE, do đó cấu trúc của vật liệu chặt khít hơn, làm cho khả năng hấp thụ nước của vật liệu giảm mạnh. Hạt nano TiO<sub>2</sub> loại rutil có hàm lượng nhóm OH thấp, do đó khi được phối trộn với các thành phần của composit, các hạt này chèn vào các khe hở của bề mặt sợi gỗ và làm giảm khả năng thấm nước của composit. Với các

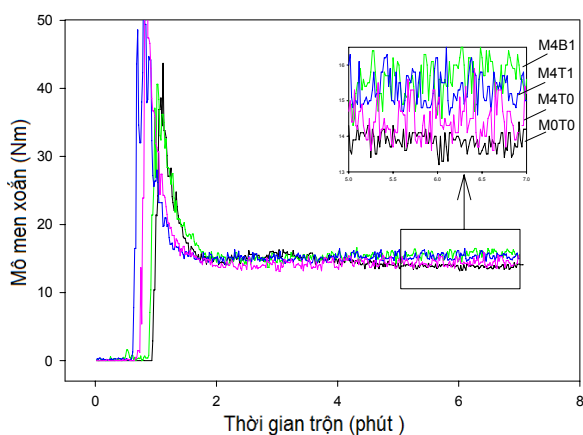
mẫu không sử dụng chất tương hợp, lượng nước ngấm ẩm có xu hướng tiếp tục tăng, một phần bột gỗ trương nở và tách khỏi bề mặt, do sự tương hợp kém giữa pha nền và pha phân tán, tạo điều kiện cho nước xâm nhập sâu vào bên trong cấu trúc của vật liệu composit.



Hình 5: Ảnh hưởng của thời gian ngâm tới khả năng ngấm ẩm của vật liệu

### 3.5. Tính chất lưu biến nóng chảy của vật liệu tổ hợp HDPE/PEgMA/BG/TiO<sub>2</sub>

Giản đồ trên hình 6 mô tả ảnh hưởng của thời gian trộn đến momen xoắn hỗn hợp nóng chảy các mẫu composit M0T0, M4T0, M4T1 và M4B1 ở nhiệt độ 180 °C, tốc độ quay trục vít 50 vòng/phút. Sau thời điểm nạp liệu vào buồng trộn, momen xoắn của các mẫu đều giảm về cùng giá trị xấp xỉ nhau ở mức 13,7 Nm ở phút thứ hai do nóng chảy của nhựa nền HDPE. Tuy nhiên, thời gian phối trộn tăng lên, sự phân hóa về độ nhớt của các mẫu composit rõ rệt hơn. Như vậy, khi chất tương hợp được sử dụng đã làm tăng momen xoắn trục vít của hỗn hợp.



Hình 6: Sự phụ thuộc của momen xoắn theo thời gian trộn của các mẫu M0T0, M4T0, M4T1 và M4B1

Kết quả này có thể được hiểu là do hình thành tương tác của các nhóm có cực của anhydrit maleic với nhóm OH của bột gỗ đã cản trở chuyển động trong hỗn hợp, làm tăng độ nhớt nóng chảy. Điều thú vị là khi sử dụng hạt nano ORT và MRT đều làm tăng độ nhớt, trong đó, hạt MRT thể hiện sự tăng rõ rệt hơn. Vai trò của hạt vô cơ kích thước nanomet đã phân tán tốt trên nền hai pha composit HDPE và bột gỗ, xen kẽ và chèn lấp giữa các pha, hạn chế số lượng các khoảng trống hình thành trong cấu trúc composit do hình thái bề mặt gồ ghề của bột gỗ tạo ra. Kết quả này có ý nghĩa quan trọng trong công nghệ sản xuất, chế tạo các sản phẩm composit WTPCs bằng phương pháp đùn áp lực. Sản xuất theo phương pháp này đòi hỏi hỗn hợp nóng chảy phải có độ nhớt đủ lớn để duy trì sự ổn định kích thước sau đầu đùn định hình và đảm bảo sức căng bề mặt vật liệu trong khuôn làm mát chân không, vấn đề mang tính then chốt quyết định chất lượng sản phẩm cuối cùng. Nghiên cứu lưu biến trạng thái nóng chảy cho thấy việc sử dụng hạt nano MRT có

thể hỗ trợ điều chỉnh thông số công nghệ phức tạp này.

### 4. KẾT LUẬN

Đã tìm được hàm lượng chất tương hợp PEGMA thích hợp trong thành phần composit HDPE/PEgMA/BG: với 4 %kl chất tương hợp, tổ hợp vật liệu HDPE/PEgMA/BG có độ bền kéo đứt đạt 29,2 MPa. Tuy nhiên, với sự có mặt hạt gia cường nano MRT hàm lượng 1 %kl, vật liệu composit có độ bền kéo đứt lớn nhất đạt 32,51 MPa. Nghiên cứu cấu trúc bằng phương pháp FESEM cho thấy chất tương hợp PEGMA làm tăng sự kết dính giữa các thành phần pha; hạt MRT phân tán tốt hơn hạt ORT trong vùng biên pha, do đó cải thiện tính chất cơ học và độ hấp thụ nước của vật liệu composit. Bên cạnh đó, hạt nano MRT sử dụng với hàm lượng thấp (1 %kl) làm tăng đáng kể độ nhớt nóng chảy của hỗn hợp composit HDPE/PEgMA/BG/MRT.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Haoli Zhou, Yi Su, Xiangrong Chen, Shouliang Yi, Yinhuo Wan. *Modification of silicalite-1 by vinyltrimethoxysilane (VTMS) and preparation of silicalite-1 filled polydimethylsiloxane (PDMS) hybrid pervaporation membranes*, Separation and Purification Technology, **75**, 286-294 (2010).
2. L. Hải, N. Q. Hiền, N. T. Mân. *Ghép axit acrylic lên màng polyetylen bằng phương pháp peoxit hóa bức xạ gamma*, Tạp chí Hóa học, **37(3)**, 89-93 (2009).
3. T. Hoàng, Đ.V Công, N. T. K. Dung. *Nghiên cứu khả năng chảy nhớt, tính chất cơ và cấu trúc hình thái học của vật liệu blend polyetylen ghép acrylamit/copolyme etylen vinyl axetat*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, **44(5)**, 63-67 (2006).
4. Thai Hoang, Nguyen Vu Giang. *Physico-mechanical properties, thermo-oxidation resistance, specific interaction and morphology of the polymer blend based on polyethylene and poly(methyl methacrylate) with and without polyetylen-g-maleic anhydride*, Polymer Plastic-Technology & Engineering, USA, **43**, 121-134 (2004).
5. A. Karmarkar, S. Chauhan, J. Modak, M. Chanda. *Mechanical properties of wood-fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group*, Composites Part A, **38**, 227-233 (2007).
6. S. Nachtigall, G. S. Cerveira, S. M. L. Rosa. *Effects of wood flour addition and coupling agent content on mechanical properties of recycled polystyrene/wood flour composites*, Polymer Testing, **26**, 619-628 (2007).

7. Y. Geng, K. Li, J. Simonsen. *A Commercially Viable Compatibilizer System for Wood-Polyethylene Composites*, J. Appl. Polym. Sci., **99**, 712-718 (2006).
8. J. Li, P. Xue, W. Ding, J. Han, G. Sun. *Micro-encapsulated paraffin/high-density polyethylene/wood flour composite as form-stable phase change material for thermal energy storage*, Solar Energy Materials & Solar Cells, **93**, 1761-1767 (2009).
9. Z. Lin, S. T. Renneckar. *Nanocomposite-based lignocellulosic fibers 2: Layer-by-layer modification of wood fibers for reinforcement in thermoplastic composites*, Composites: Part A, **42**, 84-9 (2011).
10. O. Faruk, L. M. Matuana. *Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites*, Composites Science and Technology, **68**, 2073-2077 (2008).
11. Vu Giang Nguyen, Hoang Thai, Duc Huynh Mai, Huu Trung Tran, Dai Lam Tran, Manh Tuan Vu. *Effect of titanium dioxide on the properties of polyethylene/TiO<sub>2</sub> nanocomposites*, Composites: Part B, **45**, 1192-1198 (2013).
12. H. Liu, Q. Wu, G. Han, F. Yao, Y. Kojima, S. Suzuki. *Compatibilizing and toughening bamboo flour-filled HDPE composites: Mechanical properties and morphologies*, Composites: Part A **39**, 1891-1900 (2008).
13. Alireza Ashori, Hamed Matini Behzad, Asghar Tarmian. *Effects of chemical preservative treatments on durability of wood flour/HDPE composites*, Composites: Part B, **47**, 308-313 (2013).

**Liên hệ: Nguyễn Vũ Giang**

Viện Kỹ thuật nhiệt đới,  
 Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam  
 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội  
 Email: vugiang.lit@gmail.com  
 Điện thoại: 04. 3756. 3581.