

CHẾ TẠO VÀ KHẢO SÁT TÍNH CHẤT VẬT LIỆU POLYME NANOCOMPOZIT TRÊN CƠ SỞ POLYETYLEN TỶ TRỌNG CAO (HDPE) VỚI ỐNG NANO CACBON ĐA TƯỜNG (MWCNT)

FABRICATION AND SURVEY PROPERTIES OF POLYME NANOCOMPOZIT ON THE BASIC OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) WITH MULTIWALL CARBON NANO TUBES (MWCNT)

Đỗ Thị Mai Hương^{1,*}, Ngô Trung Học¹,
Nguyễn Thế Hữu²

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, đã biến tính MWCNT bằng HNO₃ 63% và nghiên cứu cấu trúc, hình thái học, tính chất của MWCNT ban đầu và MWCNT biến tính bằng ảnh SEM, TEM, phổ hồng ngoại FT-IR, phân tích nhiệt. Kết quả nghiên cứu khẳng định nhóm cacboxyl đã gắn lên trên bề mặt MWCNT. MWCNT biến tính có khả năng phân tán trong nhựa nền tốt hơn MWCNT ban đầu dẫn đến tính chất cơ lý của vật liệu nanocompozit được tăng lên. Tỷ lệ MWCNT sử dụng phù hợp là 1%. Đã khảo sát sự ảnh hưởng của chế độ công nghệ đến sự phân tán CNT trong nền nhựa và tính chất của vật liệu, từ đó thiết lập phương pháp kỹ thuật chế tạo vật liệu HDPE/CNT_{bt} nanocompozit theo quy trình 3 giai đoạn. Chế tạo thành công vật liệu polyme nanocompozit trên cơ sở HDPE/ 1% CNT_{bt}. Kết quả cho thấy vật liệu này có độ bền kéo đứt tăng 45,7% và mô đun đàn hồi tăng 75,4% so với nhựa HDPE ban đầu. Kết quả nghiên cứu mở ra hướng chế tạo vật liệu có tính chất cơ lý tốt, có thể ứng dụng trong sản xuất các sản phẩm chống va đập, sản phẩm có độ bền cao.

Từ khóa: vật liệu polyme nanocompozit, HDPE, MWCNT, HDPE/CNT, chống va đập.

ABSTRACT

In this study, we denatured MWCNT by HNO₃ 63%, and research the structure, morphology, properties of the original MWCNT and the modified MWCNT by SEM, TEM images, FT-IR infrared spectrum and thermal analysis. The result of this study confirmed that the carboxyl group was attached to the surface of MWCNT. The modified MWCNT is dispersed in plastic better than the original. Therefore, the mechanical and physical properties of nanocomposite materials are increased. Appropriate percentage of MWCNT used is 1%. We investigated the influence of the technology regime on the dispersion of CNT in the plastic substrate and the properties of materials. Since then, we established the technical method of making HDPE/CNT_{bt} nanocomposite materials according to the 3-stage process. And we have successfully manufactured polymer nanocomposite materials based on HDPE/1% CNT_{bt}. It shows that this material has increased 45.7% in tensile strength and 75.4% elastic modulus, compared to the original HDPE plastic. This research has opened the direction to manufacture materials with good mechanical properties. It can be applied in the manufacture of anti-impact and high durability products.

Keywords: polyme nanocomposite materials, HDPE, MWCNT, HDPE/CNT, anti-impact.

¹Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: maihuonghai136@gmail.com

Ngày nhận bài: 18/02/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/3/2019

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2019

1. GIỚI THIỆU

Khoa học và công nghệ nano đang được phát triển mạnh mẽ ở nhiều nước trên thế giới. Trong công nghệ chế tạo vật liệu polyme nanocompozit, người ta đặc biệt quan tâm đến nanocompozit chế tạo từ polyme nhiệt dẻo và CNT. Chỉ với hàm lượng vài phần trăm khối lượng CNT biến tính, vật liệu nanocompozit tạo ra có những tính chất và ưu điểm vượt trội so với polyme ban đầu như tính cơ học cao, bền nhiệt, đáp ứng tốt nhu cầu thực tế trong nghiên cứu và sản xuất sản phẩm có cơ tính tốt và độ bền cao, ứng dụng trong sản xuất các sản phẩm chống va đập, sản phẩm có độ bền cao [1,2].

Trong số các polyme nhiệt dẻo, polyetylen (PE) là một loại nhựa nhiệt dẻo được sử dụng rất phổ biến và chiếm tỷ lệ lớn nhất trong các chất dẻo hiện nay [3,4]. Do có những tính chất quý như: độ bền hóa học, tính chất cơ lý và cách điện cao... nên PE được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật và đời sống để chế tạo vật liệu cách nhiệt, cách âm, vật liệu trang trí, gia công các chi tiết máy và ống dẫn, các màng che phủ và bao gói, các vật liệu tổ hợp, composite và sợi... [5,6].

Vật liệu HDPE/CNT nanocompozit là sự kết hợp độc đáo giữa cấu trúc, tính chất cơ học, điện, truyền nhiệt của CNT với HDPE và hứa hẹn tạo ra hệ vật liệu mới với nhiều tính năng tiên tiến. Tuy nhiên vấn đề chính gặp phải trong việc chế tạo nanocompozit có vật liệu gia cường CNT là sự kết tụ của CNT và tương tác liên bề mặt yếu giữa CNT với nhựa nền do đó phải có phương án hiệu quả để phân tán đồng đều CNT và tăng cường tương

tác liên kết bề mặt của CNT trong nhựa nền polyme. Một trong những phương pháp thường được sử dụng đó là biến tính, gắn nhóm chức hữu cơ lên bề mặt CNT [7,8]. Bài báo này nghiên cứu biến tính bề mặt MWCNT và phân tán hiệu quả MWCNT trong nhựa nền HDPE bằng phương pháp trộn hợp nóng chảy; chế tạo thành công vật liệu nanocompozit trên cơ sở MWCNT/HDPE và khảo sát các tính chất cơ lý của vật liệu thu được, từ đó rút ra kết luận về khả năng ứng dụng thực tế và định hướng các nghiên cứu tiếp theo trong sản xuất các sản phẩm chống va đập.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên vật liệu

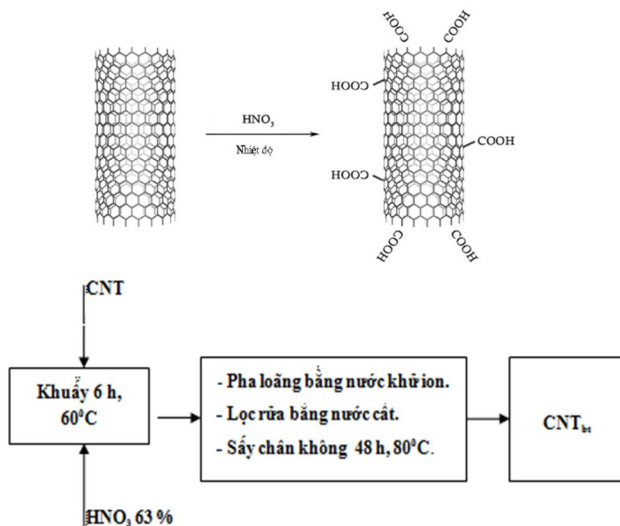
Ống nanocarbon đa tường (MWCNT) chế tạo từ LPG trên cơ sở xúc tác Fe/ γ -Al₂O₃ theo phương pháp CVD với đường kính ống 10 ÷ 20 nm, chiều dài 10 ÷ 50 μ m, độ tinh khiết lớn hơn 90%, nhựa Polyetylen tỷ trọng cao (HDPE) dạng hạt, tỷ trọng 0,96 g/cm³ loại thương mại do Hàn Quốc sản xuất và axit nitric 63% của Merck, Đức, khối lượng riêng 1,39 g/cm³, T_s = 121°C.

2.2. Thực nghiệm

2.2.1. Biến tính ống nano carbon đa tường

Thực hiện quá trình biến tính CNT bằng các axit vô cơ mạnh như HNO₃ (63%) sẽ làm đứt gãy CNT và mở vòng nhờ gắn thêm các gốc chứa oxi (chủ yếu là nhóm cacboxyl -COOH). Quá trình biến tính axit làm giảm năng lượng liên kết bề mặt giữa các ống CNT (giảm lực liên kết VanderWaals) nhờ đó mà CNT dãn ra, thuận tiện cho quá trình phân tán sau này.

Hỗn hợp CNT và HNO₃ (63%) được trộn lẫn, rung siêu âm hỗn hợp trong 30 phút sau đó chuyển sang gia nhiệt và khuấy ở 60°C trong 6 giờ với tốc độ khuấy 200 vòng/phút. Hỗn hợp sau phản ứng được làm nguội từ từ đến nhiệt độ phòng. Sau đó, pha loãng hỗn hợp bằng nước khử ion và lọc bằng màng lọc PTFE 0,2 μ m. Lọc rửa hỗn hợp (8-10 lần) bằng nước cất để loại bỏ hoàn toàn axit. Sấy mẫu trong tủ sấy chân không ở 80°C trong 48 giờ thu được CNT_{bt}.



Hình 1. Sơ đồ và quy trình oxy hóa CNT bằng axit mạnh

2.2.2. Chế tạo nanocompozit trên cơ sở nhựa nền HDPE và MWCNT

Tiến hành chế tạo vật liệu nanocompozit HDPE/MWCNT theo công nghệ chế tạo ba giai đoạn như sau:

- Giai đoạn 1: Phối trộn sơ bộ 1% khối lượng CNT biến tính (hoặc CNT ban đầu) với nhựa HDPE bằng máy trộn kín SHR super mixer ở nhiệt độ thường, tốc độ 300 vòng/phút trong 6 phút.

- Giai đoạn 2: Phân tán CNT biến tính vào trong nhựa HDPE bằng máy trộn nóng chảy 2 trục vít ở nhiệt độ trộn 300°C, thời gian trộn 5 phút, tốc độ trộn 200 vòng/phút và đùn cắt tạo thành các hạt nhựa hình trụ kích thước 2x3mm. Sấy khô hạt nhựa ở nhiệt độ 60°C trong 2 giờ.

- Giai đoạn 3: Tiến hành gia công chế tạo mẫu đo cơ lý trên máy ép phun tạo mẫu đo cơ lý. Quá trình ép phun diễn ra trong thời gian phun 2 giây, thời gian làm mát 20 giây, nhiệt độ khuôn điều chỉnh ở 45°C với các chế độ nhiệt, tốc độ phun, áp suất phun, quá trình bảo áp ở các điều kiện gia công khác nhau. Khảo sát các tính chất của vật liệu thu được.

2.3. Các phương pháp nghiên cứu

Cấu trúc hình thái học của CNT và bề mặt phá hủy của vật liệu được khảo sát bằng thiết bị hiển vi điện tử quét FE-SEM loại S-4800, Hitachi, Nhật Bản, tại Viện Vệ sinh Dịch tễ Trung ương.

Cấu trúc hình thái của vật liệu CNT được khảo sát bằng thiết bị kính hiển vi điện tử truyền qua TEM loại JEM-1010, Jeol, Nhật Bản, tại Viện Vệ sinh dịch tễ Trung ương.

Cấu trúc của CNT và chứng minh sự có mặt của các nhóm chức hữu cơ liên kết với CNT trong quá trình biến tính được khảo sát bằng máy đo phổ hồng ngoại FT-IR, Impact - 410, Nicolet, Mỹ, tại Viện Hoá học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Tính chất nhiệt của HDPE ban đầu, CNT, vật liệu nano compozit thu được được khảo sát trên máy phân tích nhiệt DSC/TGA, Labsys, Stearam, Pháp, tại Bộ môn Hóa Lí, Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

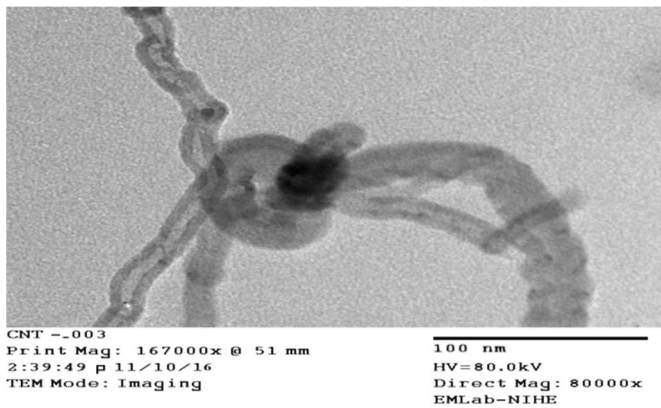
Độ bền kéo đứt và độ bền va đập của vật liệu được xác định trên máy Tinius Olsen H100KU Hounsfield, Anh và máy xác định độ bền va đập Radmana ITR 2000, Úc, tại Phòng Polyme đa chức năng, Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

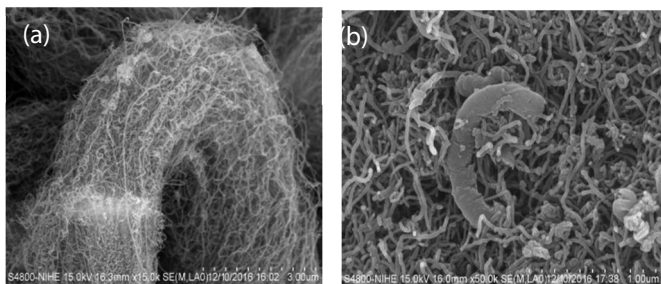
3.1. Khảo sát mẫu ống nano carbon ban đầu và ống nano carbon biến tính

Kết quả chụp ảnh TEM của CNT ban đầu được trình bày tại hình 2. Kết quả cho thấy CNT hình thành có dạng đa tường (MWCNT) với đường kính ống CNT đồng đều, ổn định. Đường kính ngoài của CNT từ 10 ÷ 20 nm, đường kính trong từ 5 ÷ 10 nm khoảng cách giữa các lớp ống là 0,3 ÷ 0,5 nm và chiều dài CNT lên đến vài μ m.

Ảnh SEM của mẫu CNT và CNT_{bt} được thể hiện trong hình 3.



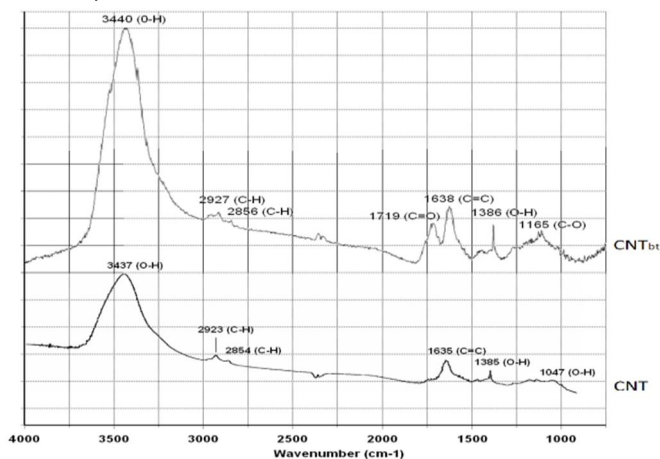
Hình 2. Ảnh TEM của CNT ban đầu



Hình 3. Ảnh SEM của (a)CNT ban đầu; (b) CNT biến tính

Kết quả cho thấy, CNT ban đầu có dạng hình bó ống kích thước cỡ vài micromet đan xen lẫn nhau tạo thành những “hạt xốp”. Với CNT biến tính các bó ống CNT hầu như bị đánh bung ra, sắp xếp ngẫu nhiên ép chặt vào nhau.

Kết quả đo phổ hồng ngoại FT-IR của CNT và CNT_{bt} được trình bày trên hình 4.

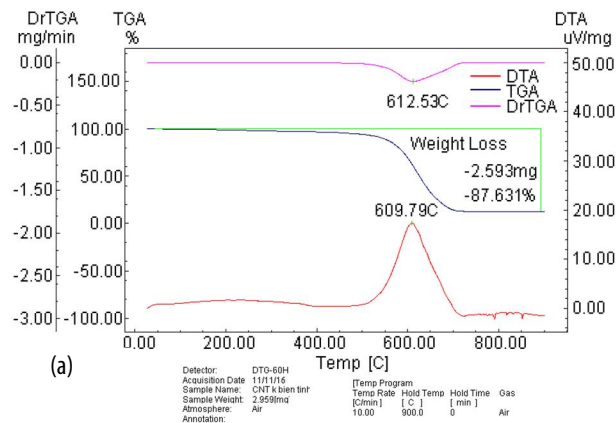


Hình 4. Phổ hồng ngoại của CNT (a) và CNT_{bt} (b)

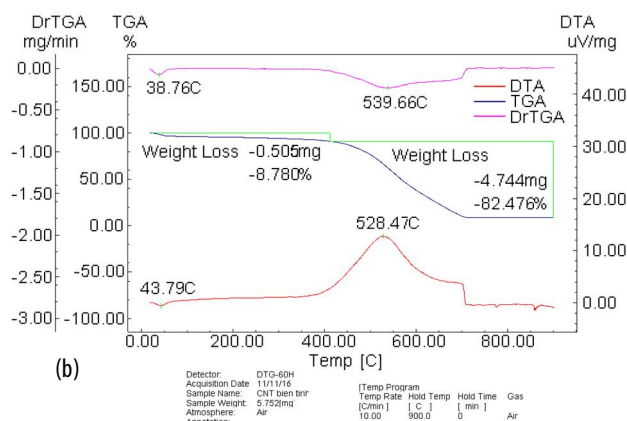
Xuất hiện các đỉnh pic ở 1719 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động hoá trị của liên kết -C=O và đỉnh hấp thụ ở 1165 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết -C-O trong nhóm chức -COOH chứng tỏ sự có mặt của nhóm chức -COOH gắn trên CNT_{bt}.

Kết quả đo TGA/DTA được thể hiện trên hình 5. Từ hình 5 cho thấy, trong môi trường không khí đối với CNT ban đầu thì vùng nhiệt độ dưới 550°C khối lượng giảm không đáng kể, từ 550 - 700°C là vùng mất khối lượng đến 87% do

cacbon cháy phân hủy; sau 700 - 900°C là vùng hầu như không có thay đổi. Trong khi đó, với CNT_{bt} vùng nhiệt độ thoát ẩm thấp hơn ở dưới 450°C, từ 450 - 700°C là vùng mất khối lượng đến 82%; sau 700 - 900°C là vùng hầu như không có thay đổi.



(a)



(b)

Hình 5. Giảm độ TGA/DTA của CNT (a) và CNT_{bt} (b) trong môi trường không khí

3.2. Khảo sát vật liệu HDPE /CNT ban đầu

Tiến hành đo tính chất cơ lý của vật liệu HDPE /CNT ban đầu, kết quả được trình bày tại bảng 1.

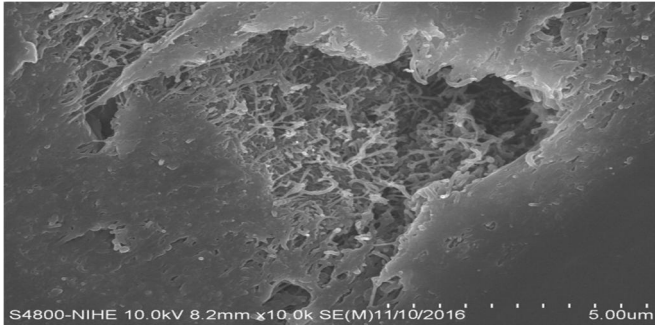
Bảng 1. Ảnh hưởng của hàm lượng CNT ban đầu đến tính chất cơ lý của vật liệu HDPE /CNT

Hàm lượng CNT ban đầu	Độ bền kéo đứt (MPa)	Độ dãn dài khi đứt (%)	Mô đun đàn hồi (GPa)
0	27,1	368	1,10
1	32,6	122	1,20
4	34,1	33	1,25

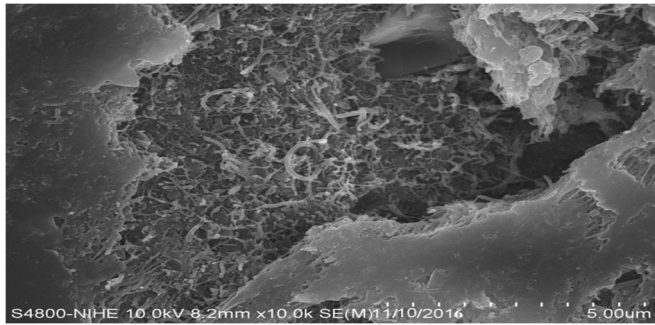
Kết quả đo tính chất cơ lý cho thấy độ bền kéo đứt, mô đun đàn hồi của mẫu HDPE/CNT ban đầu tăng lên khi hàm lượng CNT tăng nhưng không nhiều còn độ dãn dài của vật liệu thì bị suy giảm mạnh chứng tỏ sự phân tán kém của CNT ban đầu trong nhựa nền.

Kết quả chụp ảnh hiển vi điện tử quét của mẫu HDPE chứa 1% và 4% CNT ban đầu được trình bày tại hình 6.

Kết quả hình ảnh cho thấy, CNT phân bố không đều, bị co cụm thành các đám trên bề mặt mẫu, tạo ra các pha riêng biệt mặc dù vẫn có sự liên kết với nhựa nền dẫn đến tính chất cơ lý của vật liệu tăng lên không nhiều.



(a)

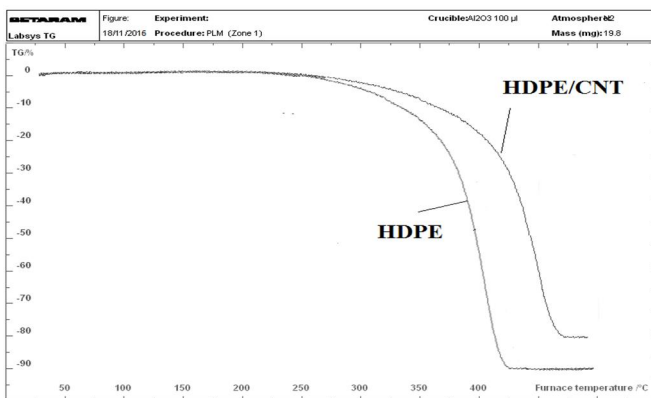


(b)

Hình 6. Ảnh SEM của mẫu HDPE chứa 1% (a) và 4% (b) CNT ban đầu

Kết quả phân tích nhiệt các mẫu HDPE, mẫu HDPE/CNT được trình bày tại hình 7.

Kết quả cho thấy, composit HDPE/CNT phân hủy khởi đầu ở 220°C và kết thúc ở 550°C. Do sự phân tán tốt của CNT trong pha nền dẫn đến nhiệt độ phân hủy của HDPE/CNT tăng lên so với HDPE ban đầu.



Hình 7. Giản đồ phân tích nhiệt của các mẫu HDPE và HDPE/ CNT

3.3. Khảo sát tính chất vật liệu HDPE/CNT biến tính

3.3.1. Tính chất cơ lý

Kết quả đo tính chất cơ lý của vật liệu HDPE/CNT biến tính trình bày tại bảng 2, 3.

Bảng 2. Tính chất cơ lý của vật liệu HDPE /CNT biến tính phụ thuộc vào hàm lượng CNT biến tính

Hàm lượng CNT biến tính	Độ bền kéo đứt (MPa)	Độ giãn dài khi đứt (%)	Mô đun đàn hồi (GPa)
0	27,1	368	1,10
0,5	34,3	195	1,92

1	39,5	166	1,93
2	42,5	74	1,60
3	45,6	51	1,85
4	47,3	32	1,80

Khi tăng hàm lượng CNT biến tính sẽ làm tăng mật độ của CNT trong nền nhựa làm tính chất cơ lý tăng, tuy nhiên, khi hàm lượng CNT biến tính quá lớn sẽ dẫn tới hiện tượng co cụm thành các búi CNT do đó tính chất cơ lý của vật liệu tăng chậm hơn và độ giãn dài giảm mạnh hơn khi tăng hàm lượng CNT biến tính.

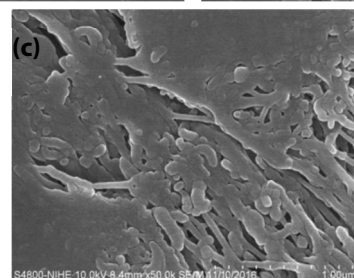
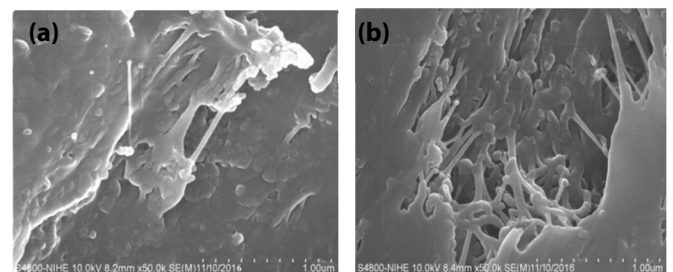
Kết quả cho thấy, khi thêm 1% CNT biến tính vào HDPE thì độ bền kéo đứt của vật liệu nanocomposit thu được tăng tới 45,7%, mô đun đàn hồi tăng 84,5%. Tiếp tục tăng hàm lượng CNT biến tính thì tính chất cơ lý vẫn tăng lên nhưng không nhiều, ngoài ra, do giá thành của CNT vẫn còn cao nên lựa chọn hàm lượng CNT biến tính là 1% trong chế tạo nanocomposit HDPE/ CNT_{bt}.

Bảng 3. Độ bền và đập của nhựa HDPE/ CNT biến tính theo hàm lượng CNT

% CNT	Lực kéo [N]	Năng lượng hấp thụ [J]	Độ cao của búa [mm]	Gradient [N/mm]	Vận tốc va đập [mm/s]
0	371,799	1,957	11,143	40,008	4492
0,5	389,537	2,668	11,073	9,894	5208
1	430,389	3,241	13,357	38,057	4573
2	395,356	3,652	12,563	26,138	4235
3	360,264	3,938	20,368	-1,201	4278
4	369,541	4,357	23,029	22,647	4614

Kết quả xác định độ bền va đập cho thấy khả năng hấp thụ lực của sản phẩm chế tạo có gia cường CNT biến tính cao hơn hẳn so với vật liệu HDPE ban đầu. Ở hàm lượng dưới 1% CNT biến tính thì độ bền va đập tăng mạnh, với hàm lượng lớn hơn 1% CNT biến tính thì độ bền va đập vẫn tăng nhưng chậm hơn.

3.3.2. Khảo sát hình thái học vật liệu qua ảnh SEM

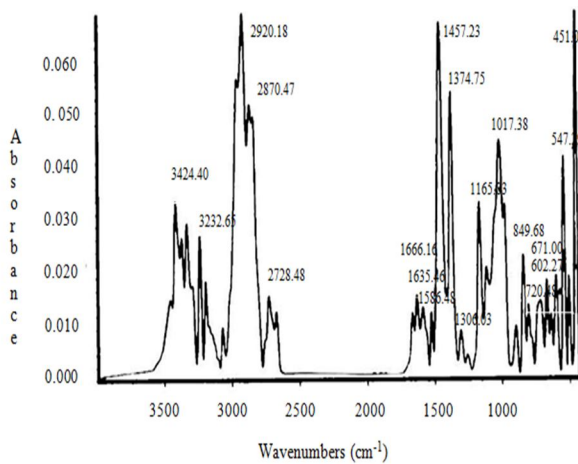


Hình 8. Ảnh SEM mẫu nanocomposit HDPE chứa 0,5% CNT (a); 1% CNT (b); 2% CNT (c); 4% CNT (d)

Kết quả ảnh SEM (hình 8) cho thấy, các kích thước ống sợi nano cacbon trong nhựa nền lúc này khoảng $60 \div 80$ nm, so sánh với kích thước ống CNT biến tính ban đầu khi chưa chế tạo với nhựa nền là $10 \div 20$ nm, điều này đã chứng tỏ đã có sự bao bọc của nhựa HDPE lên CNT biến tính thành một pha tương đối đồng nhất.

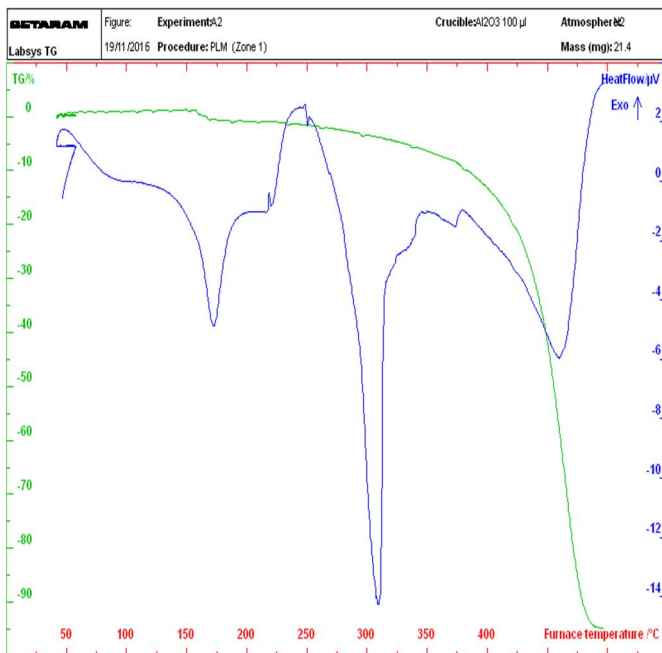
3.3.3. Phổ hồng ngoại

Kết quả phổ hồng ngoại FTIR (hình 9) cho thấy, xuất hiện đỉnh pic ở vùng trên 3000 cm^{-1} đặc trưng cho dao động nhóm OH của nước. Các đỉnh pic tại 2920 cm^{-1} và 2870 cm^{-1} đặc trưng cho dao động của liên kết đơn C - H trong mạch phân tử PE. Đỉnh 1635 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của vòng sáu cạnh trong cấu trúc của CNT_{bt}. Đỉnh 1666 cm^{-1} đặc trưng cho sự hấp thụ của liên kết C=O và đỉnh hấp thụ ở 1165 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết C-O trong nhóm chức -COOH gắn trong CNT_{bt}.



Hình 9. Phổ hồng ngoại FTIR của composit HDPE/CNT biến tính

3.3.4. Phân tích nhiệt



Hình 10. Phân tích nhiệt của mẫu nanocomposit HDPE/CNT biến tính

Kết quả phân tích nhiệt (hình 10) cho thấy, tại nhiệt độ từ 140°C đến 180°C thì nanocomposit xảy ra hiện tượng chảy mềm và xuất hiện đỉnh pic thu nhiệt tại 160°C duy nhất và gọn, chứng tỏ nanocomposit có hàm lượng polyme kết tinh cao trong đó sự có mặt của CNT đã góp phần thúc đẩy tạo mầm kết tinh và tăng hàm lượng polyme kết tinh. Từ nhiệt độ 250°C đến 350°C , khối lượng mẫu thay đổi rất ít với đỉnh pic thu nhiệt ở 310°C . Từ nhiệt độ 380°C đến 600°C , khối lượng mẫu thay đổi rất lớn với đỉnh pic thu nhiệt ở 510°C chứng tỏ quá trình phân hủy nhiệt polyme đã xảy ra mạnh mẽ ở vùng nhiệt độ này.

3.3.5. Đánh giá hiệu quả gia cường của CNT

Kết quả so sánh tính chất cơ lý của nhựa HDPE khi có và không có mặt 1% CNT ban đầu hoặc 1% CNT biến tính được trình bày tại bảng 4.

Bảng 4. Ảnh hưởng của CNT đến tính chất cơ lý của nhựa HDPE

Vật liệu	Độ bền kéo đứt (MPa)	Độ dẫn dài khi đứt (%)	Mô đun đàn hồi (GPa)
HDPE	27,1	368	1,10
HDPE /1% CNT _{ban đầu}	32,6	122	1,20
HDPE /1% CNT _{biến tính}	39,5	166	1,93

Kết quả cho thấy, với cùng hàm lượng CNT là 1% thì CNT biến tính cho vật liệu có độ bền cơ lý cao hơn so với việc sử dụng CNT ban đầu. Hệ vật liệu HDPE /1% CNT_{bt} có độ bền kéo đứt và mô đun đàn hồi tăng 20,3 và 9,1 cao hơn nhiều so với vật liệu HDPE /1% CNT_{bd} (tăng tương ứng so với HDPE là 45,7% và 75,4%). So sánh HDPE /1% CNT_{bt} với HDPE /1% CNT_{bd} ta thấy độ bền kéo đứt tăng 21,1%, độ dẫn dài khi đứt tăng 36,1% và mô đun đàn hồi tăng 60,8% khi sử dụng CNT biến tính. Kết quả nghiên cứu này mở ra hướng chế tạo các sản phẩm có cơ tính tốt và độ bền cao, ứng dụng trong sản xuất các sản phẩm chống va đập, sản phẩm có độ bền cao.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, đã biến tính MWCNT bằng HNO₃ 63% và nghiên cứu cấu trúc, hình thái học, tính chất của MWCNT ban đầu và MWCNT biến tính bằng ảnh SEM, TEM, phổ hồng ngoại FT-IR, phân tích nhiệt. Kết quả nghiên cứu khẳng định nhóm cacboxyl đã gắn lên trên bề mặt MWCNT. MWCNT biến tính có khả năng phân tán trong nhựa nền tốt hơn MWCNT ban đầu dẫn đến tính chất cơ lý của vật liệu nanocomposit được tăng lên. Tỷ lệ MWCNT sử dụng phù hợp là 1%. Đã khảo sát sự ảnh hưởng của chế độ công nghệ đến sự phân tán CNT trong nền nhựa và tính chất của vật liệu, từ đó thiết lập phương pháp kỹ thuật chế tạo vật liệu HDPE/CNT_{bt} nanocomposit theo qui trình 3 giai đoạn. Chế tạo thành công vật liệu polyme nanocomposit trên cơ sở HDPE/ 1% CNT_{bt}. Kết quả cho thấy vật liệu này có độ bền kéo đứt tăng 45,7% và mô đun đàn hồi tăng 75,4% so với nhựa HDPE ban đầu. Kết quả nghiên cứu mở ra hướng chế tạo vật liệu có tính chất cơ lý tốt, có thể ứng dụng trong sản xuất các sản phẩm chống va đập, sản phẩm có độ bền cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Quốc Trung, 2011. *Nghiên cứu tổng quan về khoa học và công nghệ nano; Ứng dụng chế tạo vật liệu tổ hợp từ ống nano cacbon, sợi cacbon và polyme nhiệt dẻo sử dụng làm tấm chống đạn*. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ Công an, Hà Nội.
- [2]. Abot J L, Song Y, Schulz M J, Shanov V N, 2008. *Novel carbon nanotube array-reinforced laminated composites materials with high interlaminar elastic properties*. *Composit Science Technology*, Vol. 68 (13), pp. 2755-2760.
- [3]. Đào Thế Minh, Đỗ Văn Công, Trần Anh Đức, Đào Văn Thảo, 2008. *Chế tạo và nghiên cứu tính chất chịu oxy hóa nhiệt của vật liệu nanocomposit polyetylen ghép silicon/nanoday*. *Tạp chí Hóa học*, T.46 (3), Tr.339-344.
- [4]. Lê Thị Mỹ Hạnh, 2012. *Chế tạo và nghiên cứu tính chất vật liệu nanocomposit trên cơ sở polyetylen và nano clay biến tính silan*. *LATS Hoá học*.
- [5]. Andrew J. Peacock. *Handbook of polyethylene, Structures, Properties and Applications*. Marcel Dekker, Inc, NewYork, Basel, 4-5.
- [6]. Harutun G.Karian. *Handbook of Polypropylene and Polypropylen composites*. Second edition, revised and expanded, copyright 2003 by Marcel Dekker, Inc.
- [7]. Dimitrios Bikiaris, 2010. *Microstructure and properties of Polypropylene/ Carbon nanotube nanocomposites*. *Materials*, Vol. 3, pp. 2884-2946.
- [8]. Gojny F H, Nastalczyk J, Roslaniec Z, Schulte K, 2003. *Surface modified multi-walled carbon nanotubes in CNT/epoxy-composit*. *Chemical Physics Letters*, Vol. 370 (5-6), pp. 820-824

AUTHORS INFORMATION

Do Thi Mai Huong¹, Ngo Trung Hoc¹, Nguyen The Huu²

¹The University of Fire Fighting and Prevention, Vietnam

²Hanoi University of Industry