

# CHẾ TẠO VÀ TÍNH CHẤT CỦA VẬT LIỆU NANOCOMPOZIT TRÊN CƠ SỞ BLEND CỦA CAO SU ETYLEN-PROPYLEN-DIEN ĐỒNG TRÙNG HỢP VỚI POLYETYLEN TỶ TRỌNG THẤP VÀ NANOSILICA

Hoàng Thị Hòa<sup>1</sup>, Lương Như Hải<sup>2</sup>, Lưu Đức Hùng<sup>2</sup>, Đỗ Quang Kháng<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Sao Đỏ, Bộ Công thương

<sup>2</sup>Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Đến Tòa soạn 04-5-2015; Chấp nhận đăng 21-12-2015

## Abstract

In this work, rubber blend based on ethylene-propylene-dien-terpolymer (EPDM) and low density polyethylene (LDPE) and its nanocomposite with nanosilica were prepared by melt mixing method using an internal mixer at 120 °C. The results reveal that at the EPDM/LDPE ratio 80/20 the two components are good compatible. The optimal nanosilica content for reinforcement of EPDM/LDPE blend was 25 %. By surface modification of nanosilica with bis(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulfide (TESPT) or direct mixing with TESPT, nanosilica was well dispersed in EPDM/LDPE matrix with the diameter of nanosilica below 100 nm. The mechanical properties of the nanocomposites were significantly increased, especially the elongation at break about 50 % compared to rubber blend without reinforcement.

**Keywords.** EPDM, LDPE, blend, nanocomposite, nanosilica.

## 1. MỞ ĐẦU

Trong số các loại cao su, cao su etylen-propylen-dien đồng trùng hợp (EPDM) có độ trong và khả năng bền thời tiết cao, song tính chất cơ học thấp và giá thành cao. Để phát huy ưu điểm và hạn chế nhược điểm của vật liệu này, người ta đã chế tạo ra các polyme blend của EPDM với các loại cao su hay nhựa nhiệt dẻo khác như với cao su butadien (BR), với cao su thiên nhiên (CSTN), với polypropylen (PP) hoặc blend 3 cấu tử với CSTN và BR có khả năng bền tia tử ngoại,... [1-3]. Đặc biệt, trong những năm gần đây, để nâng cao tính năng cơ lý, kỹ thuật, mở rộng khả năng ứng dụng cho vật liệu cao su, người ta lại quan tâm nghiên cứu chế tạo và ứng dụng các loại cao su nanocompozit. Chính vì vậy, chỉ sau ít năm đã có nhiều công trình nghiên cứu chế tạo và ứng dụng vật liệu này được công bố [4]. Với mục tiêu tạo ra vật liệu có tính năng cơ lý kỹ thuật và giá thành hợp lý, đáp ứng yêu cầu sản xuất một số sản phẩm cao su kỹ thuật và dân dụng, công trình này nghiên cứu chế tạo vật liệu cao su nanocompozit trên cơ sở blend của EPDM với polyetylen tỷ trọng thấp (LDPE) gia cường nanosilica.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu nghiên cứu

Để thực hiện nghiên cứu này, những vật liệu sau đây đã được sử dụng:

- Cao su etylen-propylen-dien đồng trùng hợp (EPDM) là loại NDR 37060 của Công ty hóa chất Dow (Dow Chemical Company).

- Polyetylen tỷ trọng thấp (LDPE) là loại Lotrene 13031-9 của hãng Qatar Petrochemical Company.

- Nanosilica (nanosilica) là loại Reolosil của công ty hóa chất Akpa (Thổ Nhĩ Kỳ) có các chỉ tiêu sau:

+ Diện tích bề mặt riêng: 200±20 m<sup>2</sup>/g

+ Cỡ hạt: 12-50 nm

+ Khối lượng đồ đồng riêng: 50 g/l.

- Phụ gia polyetylen glycol (PEG) là loại PEG4000 của công ty hóa chất Dongnam, Trung Quốc.

- Dicumyl peroxide (DCP) và dầu gia công của công ty Pudong-Dacao Shanghai, Trung Quốc.

- Các phụ gia cao su thông dụng khác có sẵn trên thị trường của Trung Quốc

- Nanosilica biến tính bằng bis(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphit (TESPT) trong etanol được chế tạo tại Viện Hóa học, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam [5].

- Bis(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphit (TESPT) của Trung Quốc.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Chế tạo vật liệu cao su blend gia cường nanosilica

- *Vật liệu blend EPDM/LDPE*: Trên cơ sở đơn pha chế cơ bản từ các thành phần cần thiết, chúng tôi thay thế EPDM bằng LDPE từ 5 đến 35 % khối lượng. Hỗn hợp vật liệu gồm EPDM, LDPE và các phụ gia (ngoại trừ DCP) được phối trộn trong máy trộn kín thí nghiệm Brabender (CHLB Đức) ở 120 °C trong thời gian 8 phút, lấy ra để nguội dưới 50 °C, phối trộn tiếp với DCP trên máy cán. Sau khi các cấu tử hòa trộn đồng đều, ép xuất tấm, cho vật liệu vào khuôn và ép lưu hóa ở 145 °C với áp suất 6 kg/cm<sup>2</sup> trong thời gian 10 phút trên máy ép thí nghiệm của hãng Toyoseiki (Nhật Bản). Từ các kết quả khảo sát tính chất cơ lý, độ bền môi trường của các mẫu vật liệu có hàm lượng LDPE khác nhau, chọn ra hàm lượng LDPE biến tính thích hợp.

- *Vật liệu nanocompozit trên cơ sở blend của EPDM/LDPE với nanosilica và nanosilica đã được gắn hợp chất silan TESPT và EPDM/LDPE với nanosilica với TESPT*: Trên cơ sở các thành phần đơn của các cao su blend EPDM/LDPE, biến tính với nanosilica, và với TESPT hoặc nanosilica biến tính với các hàm lượng khác nhau cũng được thực hiện trong máy trộn kín như trên.

### 2.2.2. Xác định cấu trúc, tính chất của vật liệu

- Tính chất kéo (độ bền kéo đứt, độ giãn dài khi

đứt và độ giãn dài dư) được xác định theo TCVN 4509: 2006 (ISO 37-2006), thực hiện trên máy YG632 của hãng Ying hui machine (Đài Loan). Độ cứng cao su được xác định theo TCVN 1595-1: 2007 (ISO 7619-1: 2004) thực hiện trên đồng hồ đo độ cứng (Shore A) TECLOCK (Jis K6301A) của Nhật Bản. Độ mài mòn của vật liệu được xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 1594-87 thực hiện trên máy YG634 của hãng Ying hui machine (Đài Loan).

- Tính chất nhiệt của vật liệu gồm nhiệt độ bắt đầu phân hủy, phân hủy mạnh nhất... được xác định bằng phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA). Những phân tích này được thực hiện trên máy phân tích nhiệt Netzsch STA 490 PC/PG (CHLB Đức) với tốc độ nâng nhiệt là 10 °C/phút trong môi trường không khí.

- Cấu trúc hình thái của vật liệu được nghiên cứu bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM), trên thiết bị JSM-6490 (JEOL-Nhật Bản) và kính hiển vi điện tử quét trường phát xạ (FESEM) thực hiện trên máy S-4800 của hãng Hitachi (Nhật Bản).

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng LDPE tới tính chất cơ lý của vật liệu

Những kết quả khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng LDPE tới tính chất cơ lý của vật liệu được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1: Ảnh hưởng của hàm lượng LDPE tới tính năng cơ lý của vật liệu

Tính chất % LDPE	Độ bền kéo đứt (MPa)	Độ giãn dài khi đứt (%)	Độ giãn dài dư (%)	Độ mài mòn (cm <sup>3</sup> /1,61 km)	Độ cứng (Shore A)
0	6,8	230	18	1,03	60
5	7,3	260	19	1,04	61
10	8,0	283	20	1,05	63
15	8,7	313	23	1,05	64
20	9,5	332	25	1,07	65
25	10,3	351	32	-	67
30	11,1	370	43	-	69
100	16,0	625	-	-	88

Nhận thấy rằng, khi tăng hàm lượng LDPE thì độ bền kéo đứt, độ giãn dài tương đối khi đứt, độ giãn dài dư và độ cứng của tổ hợp vật liệu tăng dần theo sự tăng của hàm lượng LDPE. Bên cạnh đó, độ bền mài mòn của vật liệu có giảm chậm đến khi hàm lượng LDPE tới 25 % thì không xác định được. Điều này có thể giải thích do LDPE có độ bền kéo đứt, độ giãn dài khi đứt cao hơn, còn độ cứng và độ giãn dài

dư cao hơn của EPDM. Riêng độ bền mài mòn của LDPE-một loại nhựa nhiệt dẻo thì không xác định được theo phương pháp này ở nhiệt độ thường, do vậy có kết quả như trên. Mặt khác, từ những kết quả này đã thể hiện hai vật liệu này có khả năng tương hợp với nhau vì các tính chất cơ học của blend đều nằm trong khoảng giá trị tương ứng của từng vật liệu riêng lẻ [6].

Từ kết quả này, để đảm bảo đặc tính của vật liệu cao su là đàn hồi, có độ dẫn dài dư thấp, chúng tôi chọn tỷ lệ EPDM/LDPE là 80/20 để nghiên cứu tiếp.

### 3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng nanosilica tới tính chất cơ học của vật liệu

Trong phần nghiên cứu này, nanosilica được sử

dụng với hàm lượng khác nhau để biến tính blend EPDM/LDPE (80/20), từ đó chọn ra hàm lượng nanosilica phù hợp để nâng cao tính năng cơ lý, kỹ thuật cho vật liệu này.

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng nanosilica tới tính chất cơ học của vật liệu được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2: Ảnh hưởng của hàm lượng nanosilica tới tính năng cơ lý của vật liệu blend EPDM/LDPE

Tính chất % Nanosilica	Độ bền kéo đứt (MPa)	Độ dẫn dài khi đứt (%)	Độ dẫn dài dư (%)	Độ mài mòn (cm <sup>3</sup> /1,61 km)	Độ cứng (Shore A)
0	9,5	332	25	1,07	65
5	10,2	350	25	1,06	66
10	11,3	390	26	1,05	67
15	12,2	440	26	1,07	68
20	13,1	480	27	1,08	68
25	13,8	490	27	1,10	69
30	13,5	460	28	1,15	70
35	12,6	440	29	1,25	71

Từ bảng 2 nhận thấy, khi hàm lượng nanosilica tăng, lúc đầu độ bền kéo đứt, độ dẫn dài khi đứt và độ bền mài mòn của vật liệu tăng lên và đạt cực đại (độ bền kéo là 13,8 MPa, độ dẫn dài khi đứt là 490 %) tại giá trị hàm lượng nanosilica khoảng 25 % còn độ bền mài mòn đạt cực đại tại hàm lượng nanosilica khoảng 10 % với độ mài mòn tương ứng là 1,05 cm<sup>3</sup>/1,61 km. Sau đó khi hàm lượng nanosilica tiếp tục tăng lên cho đến 25%, độ bền mài mòn thay đổi không nhiều, qua hàm lượng này, độ bền mài mòn giảm nhanh. Nguyên nhân được giải thích do ở hàm lượng tối ưu, vật liệu gia cường phân bố đều đặn trong khối vật liệu, các pha gia cường và vật liệu nền tương tác tốt với nhau làm cho các tính năng cơ học của vật liệu tăng cao. Khi qua giá trị tối ưu, vật liệu gia cường lại tập hợp lại thành những tập hợp hạt lớn hơn, cản trở tương tác của các đại phân tử vật liệu nền, dẫn đến làm giảm tính năng cơ học của vật liệu. Riêng độ dẫn dài dư và độ cứng của vật liệu tăng dần với sự tăng của hàm

lượng nanosilica.

Từ những kết quả nghiên cứu trên cho thấy, hàm lượng nanosilica thích hợp để tăng tính năng cơ học cho vật liệu blend EPDM/LDPE là 25% (so với polyme). Vì vậy hàm lượng này được sử dụng để nghiên cứu tiếp.

### 3.3. Ảnh hưởng của việc biến tính bề mặt nanosilica tới tính chất cơ học của vật liệu

Để có thể phân tán tốt nanosilica vào nền cao su blend, nanosilica được biến tính bằng bis(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulphit (TESPT) và đưa trực tiếp 8 % (so với nanosilica tương ứng 2 % so với cao su blend) TESPT vào nanosilica sau đó phối trộn với cao su blend. Dưới đây là kết quả khảo sát ảnh hưởng của nanosilica biến tính (ở hàm lượng tối ưu 25 %) tới tính chất cơ học của vật liệu.

Bảng 3: Ảnh hưởng của việc biến tính bề mặt nanosilica tới tính năng cơ lý của vật liệu

Tính chất Mẫu vật liệu	Độ bền kéo đứt (MPa)	Độ dẫn dài khi đứt (%)	Độ dẫn dài dư (%)	Độ mài mòn (cm <sup>3</sup> /1,61 km)	Độ cứng (Shore A)
không có nanosilica	9,5	332	25	1,07	65
25 % nanosilica	11,8	490	27	1,10	69
25 % nanosilica biến tính	14,4	531	26	1,03	68
25 % nanosilica và 2 % TESPT	14,3	525	27	1,04	68

Từ bảng 3 nhận thấy, cùng ở hàm lượng tối ưu của nanosilica, khi được biến tính bằng TESPT đã

làm tăng đáng kể tính chất cơ học của vật liệu với độ bền kéo đứt tăng 22 %, độ dẫn dài khi đứt tăng 8,3 % còn độ dẫn dư và độ bền mài mòn được cải thiện chút ít. Điều này có thể giải thích do gốc hữu cơ được đưa lên bề mặt nano silica đã giúp cho tương tác bề mặt các hạt nanosilica với nền cao su tốt hơn, tạo cho sự phân tán các hạt nanosilica vào nền cao su thuận lợi hơn và làm tăng tính chất cơ học của vật liệu. Điều đáng quan tâm ở đây là ở mẫu cho trực tiếp TESPT vào nanosilica rồi phối trộn với blend trong máy trộn kín các tính chất cơ học cũng tăng tương tự như nanosilica gắn silan. Điều này có thể giải thích, khi silan phối trộn với nanosilica, sau đó tiến hành trộn

kín tạo nanocomposit, trong quá trình này, do nhiệt độ trộn khá cao (120 °C) silan sẽ phản ứng với các nhóm -OH trên bề mặt nanosilica tương tự như quá trình ghép riêng biệt. Tạo nên tương tác tốt trên bề mặt phân chia pha cao su blend và nanosilica đã làm tăng tính chất cơ học cho vật liệu.

### 3.4. Ảnh hưởng của quá trình biến tính tới tính chất nhiệt của vật liệu

Tính chất nhiệt của vật liệu được nghiên cứu bằng phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA). Kết quả thu được, được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4: Tính chất nhiệt của một số mẫu vật liệu EPDM, LDPE và blend của chúng

Vật liệu	Nhiệt độ bắt đầu phân hủy (°C)	Phân hủy mạnh nhất (°C)	Tốc độ phân hủy mạnh nhất (%/phút)	Nhiệt độ kết thúc phân hủy (polyme) (°C)
EPDM	415,0	465,0	24,65	500
EPDM/LDPE (80/20)	400,1	465,3	17,62	509
EPDM/LDPE/Nano (80/20/25)	405,2	465,4	15,18	522
LDPE/LDPE/Nano-bt (80/20/25)	410,0	466,2	16,28	512
LDPE/LDPE/Nano/TESPT (80/20/25/2)	409,2	466,0	17,01	511
LDPE	392,0	470,9	21,23	510

Ghi chú: Nano: Nanosilica; Nano-bt: Nanosilica biến tính.

Nhận thấy rằng, EPDM có nhiệt độ bắt đầu phân hủy cao hơn nhưng phân hủy mạnh nhất lại thấp hơn LDPE. Khi biến tính EPDM với LDPE, nhiệt độ bắt đầu phân hủy và phân hủy mạnh nhất của blend EPDM/LDPE đều tăng lên một chút so với giá trị thấp hơn (nằm trong khoảng giá trị nhiệt độ bắt đầu phân hủy và phân hủy mạnh nhất của từng cấu tử). Điều đó đã thể hiện tính tương hợp của hai cấu tử (tương tự như sự thay đổi tính chất cơ học của vật liệu ở mục trên). Như vậy có thể nói vật liệu blend trên cơ sở EPDM biến tính bằng LDPE có khả năng bền nhiệt khá tốt. Khi có mặt của nanosilica, cả nhiệt độ bắt đầu phân hủy và phân hủy mạnh nhất tăng không nhiều. Chỉ có tốc độ phân hủy mạnh nhất giảm và nhiệt độ kết thúc quá trình phân hủy nhiệt của vật liệu tăng thêm (kể cả các mẫu nanosilica biến tính silan). Từ những kết quả trên cho thấy, quá trình biến tính EPDM bằng LDPE cũng như biến tính blend EPDM/LDPE bằng nanosilica đã làm tăng độ bền nhiệt của vật liệu không nhiều.

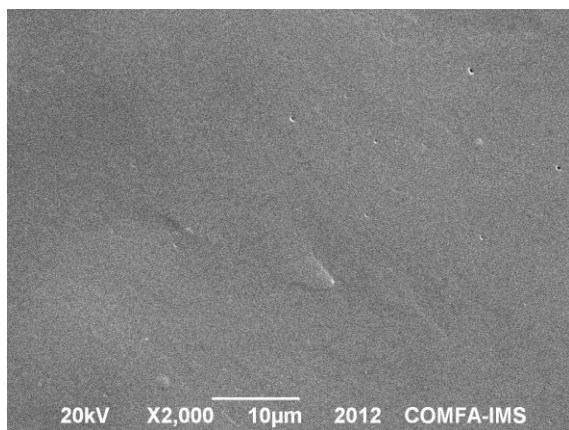
### 3.5. Cấu trúc hình thái của vật liệu

Cấu trúc hình thái của vật liệu được nghiên cứu

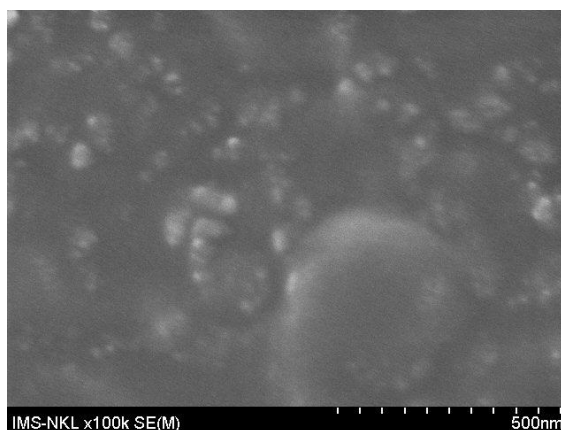
bằng kính hiển vi điện tử quét SEM và FESEM. Dưới đây là ảnh chụp SEM bề mặt cắt của mẫu vật liệu blend trên cơ sở EPDM/LDPE (80/20) ảnh chụp FESEM bề mặt cắt của vật liệu nanocomposit trên cơ sở blend EPDM/LDPE/Nanosilica chưa biến tính và đã biến tính (80/20/25).

Nhận thấy rằng, bề mặt cắt của vật liệu blend trên cơ sở EPDM/LDPE (80/20) có cấu trúc đồng nhất, không thấy có sự phân pha. Điều đó thể hiện hai vật liệu này tương hợp nhau khá tốt ở tỷ lệ nghiên cứu. Mặt khác, khi quan sát trực tiếp mẫu vật liệu blend chế tạo được thấy rằng, vật liệu trong suốt. Đây cũng là một chứng minh cho sự tương hợp của hai cấu tử này [6]. Bên cạnh đó, mẫu vật liệu trên cơ sở EPDM/LDPE/Nanosilica (80/20/25) có các hạt silica phân tán khá đều đặn và đa phần ở kích thước dưới 100 nm, song vẫn còn những hạt trên 100 nm thậm chí có hạt tới gần 300 nm (hình 2). Còn ở mẫu vật liệu EPDM/LDPE/Nanosilica biến tính cũng như mẫu EPDM/LDPE/Nanosilica và TESPT (80/20/25/2) các hạt nanosilica phân tán đều đặn trên toàn mẫu ở kích thước dưới 100 nm (hình 3 và 4). Chính vì vậy mà tính chất cơ lý, kỹ thuật của vật liệu được cải thiện

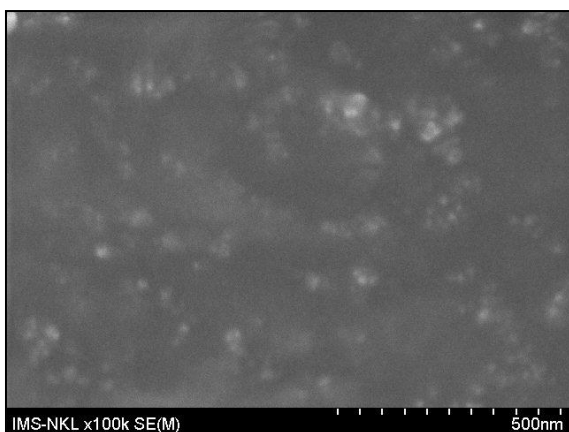
hơn so với mẫu gia cường nanosilica chưa biến tính.



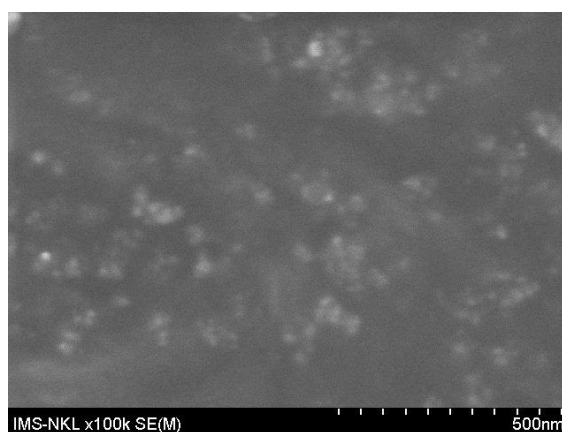
Hình 1: Ảnh SEM bề mặt cắt mẫu blend EPDM/LDPE (80/20)



Hình 2: Ảnh FESEM bề mặt cắt mẫu vật liệu EPDM/LDPE/Nanosilica (80/20/25)



Hình 3: Ảnh FESEM bề mặt vật liệu EPDM/LDPE/Nanosilica biến tính (80/20/25)



Hình 4: Ảnh FESEM bề mặt vật liệu EPDM/LDPE/Nanosilica/TESPT (80/20/25/2)

### 3.6. Hệ số già hóa của vật liệu

Để đánh giá khả năng bền môi trường của vật liệu, chúng tôi tiến hành xác định hệ số già hoá của vật liệu theo TCVN 2229:2007 với nhiệt độ thử là 70 °C trong không khí và trong nước muối 10 % ở thời gian 72 giờ. Những kết quả thu được trình trong bảng 5.

Từ bảng 5 cho thấy, cả hai vật liệu EPDM và LDPE đều có khả năng bền môi trường cao. Khi tạo thành vật liệu blend, do chúng tương hợp tốt với nhau nên các cấu tử hòa trộn và tương tác tốt với nhau, ngăn cản được các tác động của môi trường. Chính vì vậy, hệ số già hóa của vật liệu blend vẫn duy trì được ở giá trị cao. Khi có thêm nanosilica, đặc biệt là nanosilica biến tính, do các hạt silica được phân tán khá đồng đều trong nền polyme đã che chắn tác động của môi trường, đã làm tăng hệ số già hóa của vật liệu. Từ những kết quả trên cho thấy, với việc biến tính EPDM bằng LDPE cũng như blend của chúng bằng nanosilica, đặc biệt nanosilica được biến tính bằng silan hoặc phối trộn trực tiếp

với silan trong quá trình chế tạo cao su nanocompozit vẫn duy trì được khả năng bền môi trường cao của vật liệu.

Bảng 5: Tính chất nhiệt của một số mẫu vật liệu EPDM, LDPE và blend của chúng

Vật liệu	Hệ số già hóa trong không khí	Hệ số già hóa trong nước muối 10 %
EPDM	0,96	0,95
EPDM/LDPE (80/20)	0,94	0,93
LDPE/LDPE/ Nano (80/20/30)	0,94	0,94
LDPE/LDPE/ Nano-bt (80/20/30)	0,96	0,93
LDPE	0,93	0,92

## 4. KẾT LUẬN

- Vật liệu polyme blend trên cơ sở EPDM với LDPE (tỷ lệ 80/20) có khả năng tương hợp tốt với nhau, do vậy blend EPDM/LDPE có tính chất cơ học cao hơn EPDM và hệ số già hóa khá cao.

- Bằng phương pháp trộn kín ở trạng thái nóng chảy đã chế tạo được vật liệu nanocompozit trên cơ sở blend EPDM/LDPE với hàm lượng nanosilica gia cường phù hợp là 25 % (so với polyme). Ở tỷ lệ này, các hạt nanosilica phân tán khá đều đặn trong nền polyme, do vậy, vật liệu có tính năng cơ lý, kỹ thuật cao hơn EPDM và vẫn đảm bảo độ bền môi trường cao.

- Khi các hạt nanosilica được biến tính bằng TESPT hoặc phối trộn 8 % (so với nanosilica) TESPT với nanosilica rồi cho vào chế tạo cao su nanocompozit ở 120 °C trong máy trộn kín, đã tạo ra vật liệu cao su silica nanocompozit. Vật liệu này có các hạt nanosilica phân tán dưới 100 nm đều đặn trong nền cao su blend với tương tác bề mặt tốt (hầu như không thấy ranh giới phân chia bề mặt rõ ràng), do vậy tính chất cơ học của vật liệu đã tăng lên mạnh mẽ, đặc biệt độ bền kéo đứt tăng tới 50 % so với blend EPDM/LDPE.

- Vật liệu cao su blend trên cơ sở blend EPDM/LDPE cũng như nanocompozit trên cơ sở blend EPDM/LDPE với nanosilica chưa hoặc đã biến tính có tính năng cơ học vượt trội so với EPDM, giá thành rẻ hơn song vẫn duy trì khả năng bền môi trường cao, đáp ứng yêu cầu chế tạo các sản phẩm cao su kỹ thuật và dân dụng, đặc biệt là các

sản phẩm có yêu cầu độ trong cao.

**Lời cảm ơn.** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (Nafosted) thuộc đề tài mã số 104.02-2014.90.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vanessa Bouchart, N. Bhatnagar, Mathias Brieu, A. K. Ghosh, Djimedo Kondo. *Study of EPDM/PP polymeric blends: Mechanical behavior and effects of compatibilization*, Comptes Rendus Mécanique, **336(9)**, 714-721 (2008).
2. Jin-Hwan Go, Chang-Sik Ha. *Rheology and properties of EPDM/BR blends with or without a homogenizing agent or a coupling agent*, Journal of Applied Polymer Science, **62(3)**, 509-521 (1996).
3. K. Sahakaro, N. Naskar, R. N. Datta, J. W. M. Noordermeer. *Reactive Blending, Reinforcement and Curing of NR/BR/EPDM*, Compounds for Tire Sidewall Applications, **80(1)**, 115-138 (2007).
4. Rabu Thomas, Ranimol Stephen. *Rubber Nanocomposites - Preparation, Properties and Applications*, John Wiley & Sons (ASia) Pte Ltd (2010).
5. Hoàng Thị Hòa, Chu Anh Vân, Lương Như Hải, Ngô Kế Thế, Đỗ Quang Kháng. *Nghiên cứu biến tính silica bằng bis(3-trietoxysilylpropyl) tetrasulphit và ứng dụng nâng cao tính năng cơ lý, kỹ thuật cho cao su thiên nhiên*, Tạp chí Hóa học, **52(6A)**, 10-14 (2014).
6. Đỗ Quang Kháng. *Cao su-Cao su blend và ứng dụng*, Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội (2012).

Liên hệ: **Đỗ Quang Kháng**

Viện Hóa học

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Số 18, Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

E-mail: khangoquang@gmail.com; Điện thoại: 0437569010, 0913345182.