

# NGHIÊN CỨU CẢI THIỆN ĐỘ BỀN VÀ ĐẬP CỦA NHỰA POLYPROPYLENE

## AN INVESTIGATION ON IMPROVING THE IMPACT STRENGTH OF POLYPROPYLENE

Đoàn Thị Thu Loan\*

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng<sup>1</sup>

\*Tác giả liên hệ: dtlloan@dut.udn.vn

(Nhận bài: 19/01/2022; Chấp nhận đăng: 11/3/2022)

**Tóm tắt** - Polypropylene (PP) là một trong những loại nhựa nhiệt dẻo được sử dụng phổ biến nhất. Tuy nhiên, do độ bền và đập của nhựa PP không cao, đặc biệt ở nhiệt độ thấp, nên ứng dụng của nó vẫn còn hạn chế so với tiềm năng. Nghiên cứu này nhằm khảo sát khả năng cải thiện độ bền và đập của PP bằng phương pháp trộn hợp nóng chảy với ba loại copolymer gồm Engage, Infuse và Versify. Qua khảo sát các tính chất cơ học cho thấy copolymer Engage và Infuse cải thiện đáng kể độ bền và đập đồng thời làm giảm độ bền uốn và module kéo của PP. Copolymer Versify không ảnh hưởng đáng kể đến các tính chất cơ học của PP. Một số phương pháp phân tích như Nhiệt lượng quét vi sai và Kính hiển vi điện tử quét cũng được sử dụng cho thấy ảnh hưởng của các copolymer đến tính chất nhiệt và hình thái cấu trúc bề mặt phá hủy của PP và PP/copolymer blend.

**Từ khóa** – Polypropylene (PP); copolymer; blend; độ bền và đập; hình thái học.

### 1. Đặt vấn đề

Nhựa polypropylene (PP) ở nhiệt độ phòng có độ bền cơ học cao như độ bền xé và độ bền kéo đứt, khá cứng, không bị kéo giãn dài, do đó được chế tạo thành sợi, có tính chống thấm khí O<sub>2</sub>, hơi nước, dầu mỡ... nên được ứng dụng để làm màng, kéo sợi, dệt thành bao bì đựng lương thực, màng phủ ngoài đối với màng nhiều lớp... Với những tính chất ưu việt như trên, cùng với giá thành rẻ là những nguyên nhân chủ yếu làm cho nhựa PP được sử dụng phổ biến và rộng rãi trong đời sống và kĩ thuật.

Mặc dù, nhựa PP được sử dụng rộng rãi, nhưng do khả năng chịu va đập tương đối thấp đặc biệt ở nhiệt độ thấp, PP vẫn chưa được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực ô tô, các sản phẩm gia dụng như hộp, màng bao bì để bảo quản thực phẩm ở nhiệt độ thấp.

Trên thế giới có nhiều Nhà khoa học nghiên cứu cải thiện độ bền và đập cho nhựa PP. Silva và các cộng sự [1] đã nghiên cứu polymer blend trên cơ sở PP và elastomer. Trong nghiên cứu này polyethylene elastomer được sử dụng như là chất cải thiện khả năng chịu va đập cho PP và so sánh với chất cải thiện độ bền và đập truyền thống ethylene propylene diene rubber. Zebarjad và các cộng sự [2] đã nghiên cứu về vai trò của ethylene-propylene rubber (EPR) trong cơ chế biến dạng và phá hủy của hỗn hợp PP/EPR với những phần thể tích khác nhau của pha elastomer. Danilova-Volkovskaya [3] đã nghiên cứu về việc cải thiện các tính chất gia công của PP, độ bền và tính chất đàn nót bằng cách đưa vào các phụ gia biến tính trong quá trình gia công. Các tính chất va đập và cơ

**Abstract** – Polypropylene (PP) is one of the most commonly used thermoplastics. However, due to the poor impact strength, especially at low temperature of pure PP, the applications of PP are still limited comparing to its potential. This study is aim to investigate the improvement of impact properties of PP by melt blending with three types of copolymers including Engage, Infuse, and Versify. From the investigation of the mechanical properties, it was observed that the impact strength of PP was improved significantly and bending strength as well as tensile modulus decreased while adding Engage and Infuse copolymers. Versify copolymer didn't affect on the mechanical properties of PP. Several analysis methods such as Differential scanning calorimetric and Scanning electron microscopy were also used and showed the influences of the copolymers on the thermal properties as well as the fracture surface morphology of PP and PP/copolymer blends.

**Key words** - Polypropylene; copolymer; blend; impact strength; morphology.

nhật động của PP biến tính bằng elastomer cũng đã được nghiên cứu. Hai elastomer truyền thống ethylene vinyl acetate copolymer và ethylene propylene diene terpolymer được sử dụng như là chất biến tính cải thiện độ bền và đập cho PP [4].

Ở nước ta, việc nghiên cứu biến tính PP bằng elastomer còn rất hạn chế. Có rất ít nghiên cứu liên quan, chẳng hạn như “Nghiên cứu sử dụng elastomer nhằm cải thiện khả năng chịu va đập của nhựa PP” của tác giả Ngô Thanh Bình là một trong những thành viên nghiên cứu của nhóm tác giả [5].

Trong nghiên cứu này, ba loại copolymer gồm Engage 8407, Infuse 9100 và Versify 2000 được sử dụng để cải thiện khả năng chịu va đập của nhựa PP, loại nhựa sản xuất từ Nhà máy nhựa PP Dung Quất, Quảng Ngãi. Việc nghiên cứu sử dụng các copolymer để biến tính PP nêu thành công sẽ mở ra khả năng ứng dụng rộng hơn như trong công nghiệp ô tô, sản xuất hộp, màng bao bì chứa đựng thực phẩm,... yêu cầu khả năng chịu va đập ở nhiệt độ thấp.

### 2. Thục nghiệm

#### 2.1. Vật liệu

PP là loại BSR<sup>TM</sup> I3110 được sản xuất tại nhà máy nhựa PP Dung Quất, có chỉ số chảy (MFI) 11g/10 phút (230°C/2,16 kg).

Ba loại copolymer do công ty Dow Chemical, Mỹ sản xuất gồm: Engage 8407 (E) là một copolymer ngẫu nhiên trên cơ sở ethylene, loại ethylene octene random copolymer, có MFI 30g/10 phút (190°C/2,16 kg), nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh T<sub>g</sub> = -54°C; Infuse 9100 (I) là một copolymer

<sup>1</sup> The University of Danang - University of Science and Technology (Doan Thi Thu Loan)

khối trên cơ sở ethylene, loại block copolymer gồm những đoạn cứng ethylene kết tinh và đoạn mềm alpha-olefin xen kẽ nhau, có MFI 1g/10 phút (190°C/2,16 kg), nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh  $T_g = -62^\circ\text{C}$ ; Versify 2000 là copolymer ngẫu nhiên trên cơ sở propylene, loại ethylene-propylene copolymer, có MFI 2g/10 phút (230°C/2,16 kg), nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh  $T_g = -16^\circ\text{C}$ .

## 2.2. Gia công tạo mẫu

Nhựa PP và copolymer được cân với các tỉ lệ khối lượng (KL) khác nhau (Bảng 1), trộn sơ bộ, sau đó hỗn hợp được đưa vào thiết bị đùn hai trục vít Rheomex CEW100 QC, Haake, Đức để tiến hành trộn nóng chảy. Tốc độ quay của trục vít là 50 vòng/phút. Nhiệt độ tăng dần từ phần nạp liệu 160°C đến đầu đùn 210°C. Sản phẩm sau khi ra khỏi máy ép đùn được cắt tạo hạt compound có chiều dài khoảng 2 mm.

Hạt compound sau đó được gia công tạo mẫu bằng thiết bị đúc tiêm MiniJet II, Haake, Đức. Áp suất tiêm 800 bar, áp suất giữ 500 bar, nhiệt độ xi lanh thay đổi trong giới hạn 190÷250 °C và nhiệt độ khuôn 50°C.

Mẫu được để ổn định tối thiểu 2 ngày sau đó được đem khảo sát các tính chất.

**Bảng 1.** Thành phần mẫu

Mẫu	PP (%KL)	Engage (%KL)	Infuse (%KL)	Versify (%KL)
PP	100	0	0	0
PP/E10	90	10	-	-
PP/E20	80	20	-	-
PP/I10	90	-	10	-
PP/I20	80	-	20	-
PP/V10	90	-	-	10
PP/V20	80	-	-	20

## 2.3. Các phép đo

### 2.3.1. Độ bền cơ lý

Độ bền kéo và module uốn được đo trên thiết bị AG-X plus, Shimadzu, Nhật. Độ bền kéo được đo theo tiêu chuẩn ISO 527-2-A5, tốc độ kéo 50 mm/phút. Phép đo uốn được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 178 với tốc độ 2 mm/phút. Độ bền va đập Izod của mẫu có vết cắt được xác định theo tiêu chuẩn ISO 180/1A ở nhiệt độ thường 25°C trên thiết bị đo HIT 50P, Zwick/Roell, Đức và ở nhiệt độ thấp -20°C trên thiết bị đo PSW 4J, Đức.

Các mẫu dùng để xác định độ bền cơ lý đều được để ổn định ít nhất 2 ngày sau khi gia công trong điều kiện nhiệt độ phòng. Riêng mẫu đo va đập ở nhiệt độ thấp được lưu ở nhiệt độ -20°C tối thiểu 1 ngày trước khi đo. Mỗi phép đo được thực hiện tối thiểu 10 mẫu để lấy giá trị trung bình.

### 2.3.2. Phân tích nhiệt lượng quét vi sai

Các tính chất nhiệt được đo bằng phương pháp nhiệt lượng quét vi sai (DSC) thực hiện trên thiết bị DSC Q2000 V24.11 Build 124 dưới dòng khí  $\text{N}_2$  trong giới hạn nhiệt độ -70 đến 210°C. Khối lượng các mẫu đo khoảng 5 mg. Tốc độ gia nhiệt 10 K/phút. Nhiệt độ kết tinh, nhiệt độ nóng chảy và enthalpy nóng chảy tương ứng được xác định. Mức độ kết tinh ( $X_c$ ) được tính theo công thức (1) sau [6]:

$$X_c = 100 \times \Delta H_m / \Delta H^\circ \quad (1)$$

Với,  $\Delta H_m$  là enthalpy nóng chảy của mẫu,  $\Delta H^\circ$  enthalpy nóng chảy đối với polymer kết tinh 100% ( $\Delta H^\circ = 207 \text{ J/g}$  đối với isotactic PP kết tinh 100%,  $\Delta H^\circ = 293 \text{ J/g}$  đối với polyethylene kết tinh 100%).

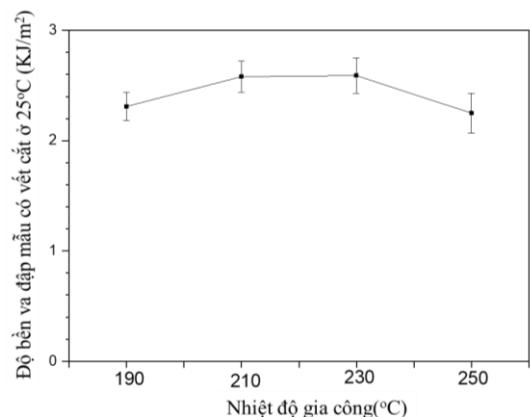
### 2.3.3. Khảo sát bề mặt phá hủy của mẫu bằng kính hiển vi điện tử quét

Mẫu sau khi đo va đập ở nhiệt độ thấp được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét. Bề mặt mẫu được khảo sát bằng thiết bị FE-SEM Ultra 55, Carl Zeiss SMT AG, Đức.

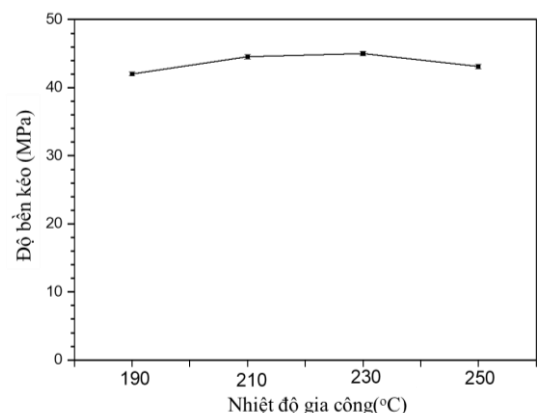
## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ đúc tiêm đến tính chất của PP

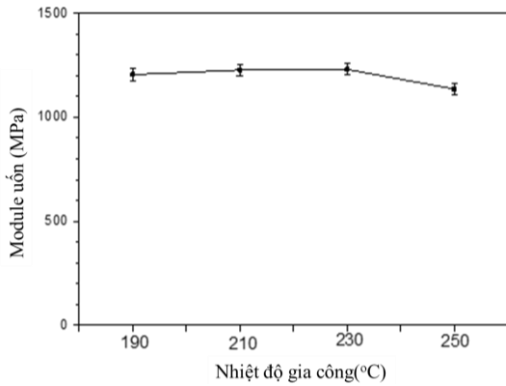
Để khảo sát nhiệt độ đúc tiêm tạo mẫu, nhựa PP được gia công ở các nhiệt độ khác nhau từ 190°C đến 250°C. Kết quả đo cơ lý được thể hiện trên Hình 1÷3. Đồ thị Hình 1 và 2 cho thấy độ bền va đập của mẫu có vết cắt ở nhiệt độ phòng và độ bền kéo của PP tăng khi tăng nhiệt độ đúc tiêm. Điều này có thể giải thích như sau: Khi nhiệt độ đúc tiêm tăng độ linh động của các mạch phân tử tăng thuận lợi cho sự sắp xếp mạch khi kết tinh và làm giảm các khuyết tật trong các tinh thể nhỏ này, do đó làm tăng độ bền va đập cũng như độ bền kéo của mẫu PP [7]. Khi nhiệt độ xylanh tăng lên 250°C, sự phân hủy ở nhiệt độ cao xảy ra gây đứt mạch phân tử ảnh hưởng đến sự kết tinh, sự cuộn rối cũng như sắp xếp mạch phân tử, do đó các độ bền và module uốn của PP đều giảm.



**Hình 1.** Ảnh hưởng của nhiệt độ gia công đến độ bền va đập của PP ở nhiệt độ thường



**Hình 2.** Ảnh hưởng của nhiệt độ gia công đến độ bền kéo của PP

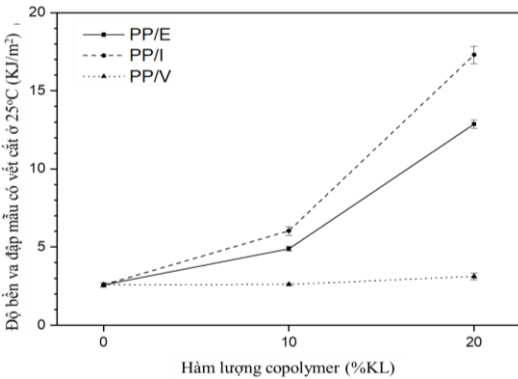


**Hình 3.** Ảnh hưởng của nhiệt độ gia công đến module uốn của PP

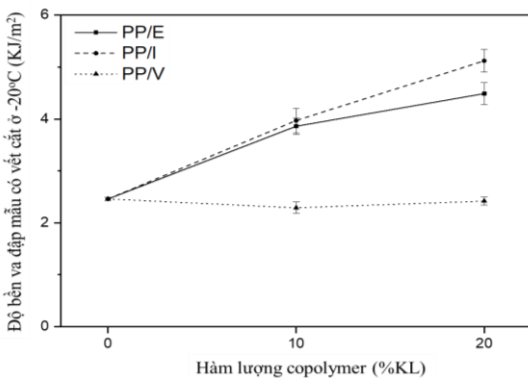
Qua khảo sát nhiệt độ gia công cho thấy, các tính chất cơ lý không thay đổi đáng kể trong khoảng nhiệt độ từ 210°C đến 230°C nên nhiệt độ gia công đúc tiêm mẫu được lựa chọn cho các nghiên cứu tiếp theo là 210°C.

**3.2. Ảnh hưởng của copolymer đến tính chất cơ lý của PP/copolymer blend**

Các đồ thị Hình 4 ÷ 7 cho thấy, ảnh hưởng của loại và hàm lượng copolymer đến các tính chất cơ lý của PP blend.



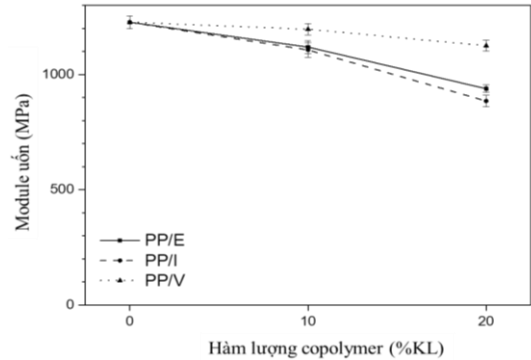
**Hình 4.** Ảnh hưởng của hàm lượng copolymer đến độ bền va đập ở nhiệt độ thường của PP/copolymer blend



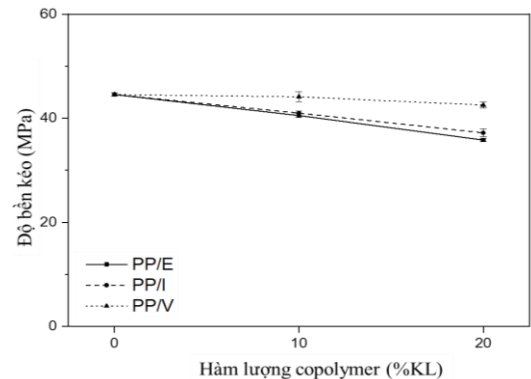
**Hình 5.** Ảnh hưởng của hàm lượng copolymer đến độ bền va đập ở nhiệt độ thấp của PP/copolymer blend

Ở 25°C, độ bền va đập của PP là 2,6 kJ/m<sup>2</sup> (Hình 4). Khi trộn nóng chảy PP với Versify không thấy sự cải thiện độ bền va đập đối với PP. Tuy nhiên, khi phối trộn PP với 10 và 20 % khối lượng Engage thì độ bền va đập ở nhiệt độ phòng của PP/E10 và PP/E20 blend tương ứng là 4,9 kJ/m<sup>2</sup> và 12,9 kJ/m<sup>2</sup>. So với copolymer E, copolymer I cải thiện độ bền va đập của PP blend cao hơn. Độ bền va đập tăng

từ 2,6 kJ/m<sup>2</sup> lên 6 kJ/m<sup>2</sup> và 17,3 kJ/m<sup>2</sup> khi thêm vào PP 10 và 20 %KL Infuse. Ảnh hưởng của copolymer đến độ bền va đập của PP blend ở nhiệt độ thấp cũng có xu hướng tương tự (Hình 5). Khi trộn hợp PP với 10 và 20 %KL copolymer, khả năng cải thiện độ bền va đập của các copolymer theo trật tự Infuse > Engage >> Versify. Sự cải thiện độ bền va đập của PP khi trộn hợp nóng chảy với Engage và Infuse có thể được giải thích là do ảnh hưởng của các copolymer này đến cơ chế biến dạng hoặc thay đổi cơ chế vi cấu trúc khi có mặt copolymer [8].



**Hình 6.** Ảnh hưởng của hàm lượng copolymer đến module uốn của PP/copolymer blend



**Hình 7.** Ảnh hưởng của hàm lượng copolymer đến độ bền kéo của PP/copolymer blend

Sự có mặt của copolymer E, I cải thiện đáng kể độ bền va đập của PP, tuy nhiên cũng làm giảm nhiều độ cứng và độ bền thể hiện qua module uốn và độ bền kéo (Hình 6, 7). Khi hàm lượng E, I trong PP blend càng tăng thì độ bền va đập càng tăng tuy nhiên module uốn và độ bền kéo càng giảm. Điều này có thể là do sự giảm mức độ kết tinh của PP blend so với PP nguyên chất và thay đổi hình thái cấu trúc khi có mặt copolymer [9], [10], [11]. Xét về mặt ứng dụng, độ bền va đập là thông số quan trọng đặc trưng cho khả năng chịu tải trọng ở tốc độ cao bên cạnh thông số độ cứng, do vậy tùy theo mục đích sử dụng mà có sự chọn lựa loại và hàm lượng copolymer phù hợp.

**3.3. Khảo sát ảnh hưởng của copolymer đến tính chất nhiệt của PP/copolymer blend**

Nhiệt lượng quét vi sai là phương pháp phân tích cung cấp các thông tin về nhiệt độ nóng chảy, nhiệt độ kết tinh cũng như mức độ kết tinh của PP và PP/copolymer blend. Mức độ kết tinh của polymer bán kết tinh rất nhạy với lịch sử nhiệt của quá trình gia công trước đó, do vậy để khắc phục, chu kỳ 3 giai đoạn gia nhiệt - làm nguội - gia nhiệt được thực hiện. Nhiệt độ



nóng chảy được xác định ở đường cong gia nhiệt lần 2.

**Bảng 2.** Peak nóng chảy và kết tinh của PP và PP blend

Mẫu	Peak nóng chảy PP (°C)	Peak nóng chảy PE (°C)	Nhiệt độ kết tinh (°C)
PP	163,6	-	111,7
PP/E10	164,4	-	119,9
PP/E20	165,5	-	120,7
PP/I10	165,3	122,7	112,3
PP/I20	164,2	122,4	112,9
PP/V10	164,5	-	114,1
PP/V20	165,1	-	114,2

Bảng 2 cho thấy, các peak nóng chảy và peak kết tinh. Kết quả cho thấy, nhiệt độ nóng chảy và kết tinh của PP tương ứng khoảng 164°C và 112°C. Khi phối trộn nóng chảy với copolymer, các nhiệt độ này của PP blend không thay đổi đáng kể ngoại trừ các mẫu PP/E blend, nhiệt độ kết tinh tăng từ 112°C lên 120°C khi trộn hợp PP với 10 và 20 %KL Engage. Điều này có thể giải thích do ảnh hưởng của E đến giai đoạn tạo mầm tinh thể trong quá trình kết tinh PP, trong đó có sự phân tán của E vào các vùng tinh thể hình cầu và giữa các vùng tinh thể của PP làm giảm kích thước trung bình của các tinh thể hình cầu PP [12]. Riêng đối với mẫu PP/I blend, ngoài đỉnh nóng chảy thứ 1 của PP còn xuất hiện thêm đỉnh nóng chảy thứ 2 khoảng 122 °C có thể do kết tinh của phân mạch polyethylene (PE) trong Infuse copolymer.

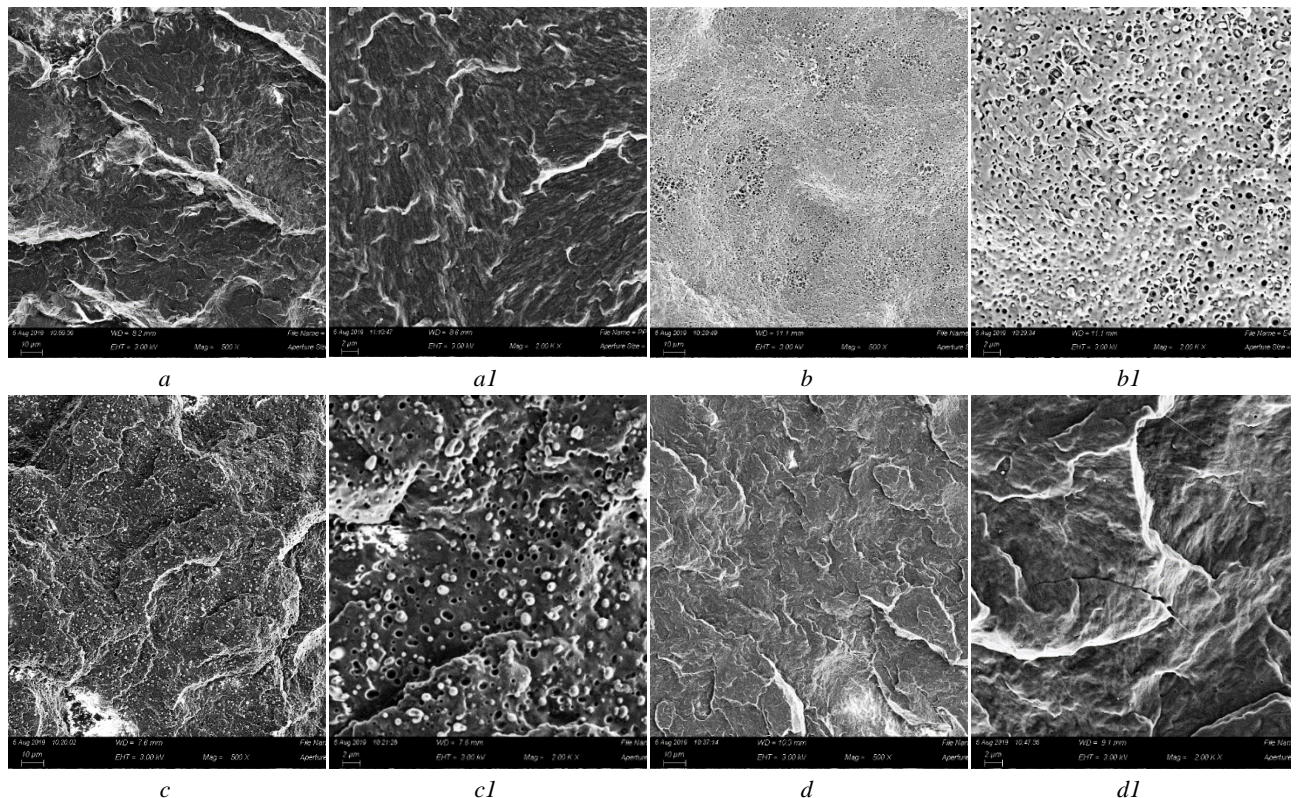
Bảng 3 cho thấy, enthalpy nóng chảy của mẫu ( $\Delta H_m 1$  đối với PP,  $\Delta H_m 2$  đối với PE) và mức độ kết tinh (Kết tinh 1 đối với PP và kết tinh 2 đối với PE). Sự có mặt của copolymer đã làm giảm mức độ kết tinh của PP blend do mức độ kết tinh của các copolymer thấp hơn PP. PP có mức độ kết tinh 44,5 % trong khi đó PP/E10 và PP/E20 blend có mức độ kết tinh tương ứng là 40,4% và 35,8%. Tương tự, mức độ kết tinh của các mẫu PP blend đều giảm xuống khi cho 10 và 20 %KL I và V vào PP.

**Bảng 3.** Enthalpy nóng chảy và mức độ kết tinh của PP, PP/copolymer blend

Mẫu	$\Delta H_m 1$ (j/g)	Kết tinh 1 (%)	$\Delta H_m 2$ (j/g)	Kết tinh 2 (%)
PP	92,2	44,5		
PP/E10	83,7	40,4		
PP/E20	74,2	35,8		
PP/I10	67,7	32,7	0,6	0,2
PP/I20	61,7	29,8	4,5	1,5
PP/V10	76,6	37,0		
PP/V20	72,0	34,8		

### 3.4. Khảo sát bề mặt phá hủy của mẫu bằng kính hiển vi điện tử quét

Bề mặt phá hủy của mẫu PP và PP/copolymer blend thu được từ phép đo va đập ở nhiệt độ thấp được sử dụng để khảo sát dưới kính hiển vi điện tử quét, kết quả được thể hiện trong Hình 8.



**Hình 8.** Ảnh SEM bề mặt phá hủy và đập của mẫu PP (a, a1) và các blend PP/E20 (b, b1), PP/I20 (c, c1), PP/V20 (d, d1) với độ phóng đại 500 lần (trái) và 2000 lần (phải)

Từ Hình 8 a, a1 cho thấy, bề mặt phá hủy của PP nhẵn và không có sự biến dạng nhiều trong quá trình phá hủy dưới tác dụng của năng lượng va đập, đặc trưng phá hủy

dòn. Mẫu PP/Versify với 20 %KL Versify (PP/V20) có đặc trưng bề mặt và kiểu phá hủy tương tự PP (Hình 8 d, d1), với hình thái cấu trúc đồng nhất, chỉ ra sự tương thích

tốt giữa PP và Versify copolymer. Điều này có thể do sự tương đồng về cấu trúc và thành phần hóa học của PP và Versify. Mặc dù, có sự tương thích tốt nhưng Versify copolymer không làm thay đổi cơ chế phá hủy, hơn nữa bản thân Versify ( $T_g = -16^\circ\text{C}$ ) có độ dẻo dai không cao và thấp hơn Engage ( $T_g = -54^\circ\text{C}$ ), Infuse ( $T_g = -62^\circ\text{C}$ ) nên Versify không cải thiện độ bền va đập của PP. Ngược lại, các blend với 20 %KL copolymer Engage và Infuse (PP/E20 và PP/I20) cho thấy, cấu trúc dị thể với các hạt copolymer Engage và Infuse phân bố trong nền PP liên tục và làm thay đổi cơ chế phá hủy dưới tác dụng ngoại lực. Dưới tác dụng năng lượng va đập các copolymer E, I bị kéo ra khỏi nền tạo dạng sợi và hình thành những lỗ trống trong bề mặt phá hủy của mẫu, làm tiêu tán năng lượng va đập. Do vậy, cải thiện đáng kể độ bền va đập của PP blend.

#### 4. Kết luận

Từ những kết quả thu được, tác giả rút ra một số kết luận như sau:

- Nhiệt độ gia công đúc tiêm mẫu được lựa chọn là  $230^\circ\text{C}$ .

- Độ bền va đập của PP được cải thiện khi thêm vào copolymer Engage và Infuse. Khi tăng hàm lượng copolymer Engage, Infuse thì độ bền va đập của PP blend tăng tuy nhiên độ bền kéo và module uốn giảm. Versify không ảnh hưởng đáng kể đến các tính năng cơ lý của PP blend. Tùy theo mục đích sử dụng mà lựa chọn loại và hàm lượng copolymer phù hợp.

- Khi cho copolymer vào PP làm giảm mức độ kết tinh của PP blend. Đối với mẫu blend của PP và Infuse thì có xuất hiện thêm đỉnh kết tinh nhỏ ở khoảng nhiệt độ  $122^\circ\text{C}$  của phần mạch polyethylene trong copolymer kết tinh.

- Bề mặt phá hủy của PP và PP/Versify tương tự nhau, tròn, cấu trúc đồng thể. Mặc dù, tương hợp tốt với PP nhưng copolymer Versify không cải thiện đáng kể tính chất cơ học của PP. Tuy nhiên, copolymer E, I mặc dù không tương hợp tốt với PP, tạo cấu trúc dị thể nền PP - hạt copolymer nhưng đã cải thiện đáng kể độ bền va đập của PP. Nghiên cứu cho thấy, tính chất của blend chịu ảnh hưởng đáng kể bởi bản chất copolymer thay vì mức độ tương hợp của copolymer và PP. Copolymer E, I trong hệ dị thể đóng vai trò phân tán năng lượng va đập và do vậy cải thiện độ bền va đập của PP.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2019-DN02-71.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến KS. Nguyễn Đăng Khoa, KS. Nguyễn Thị Tho, KS. Phan Thảo Nguyên, KS. Phan Hoài Tuấn, ThS. Ngô Thanh Bình, KS. Nguyễn Kim Sơn và Viện Nghiên cứu Vật liệu polymer, Dresden, CHLB Đức đã hỗ trợ tác giả trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ana Lúcia N. Da Silva, Maria Inês B. Tavares, Daniel P. Politano, Fernanda M. B. Coutinho, Marisa C. G. Rocha, "Polymer Blends Based on Polyolefin Elastomer and Polypropylene", *Journal of Applied Polymer Science*, 66, 1997.
- [2] S. M. Zabarjad, R. Bagheri, S. M. Seyed Reihani, A. Lazzeri, "Deformation, Yield and Fracture of Elastomer-Modified Polypropylene", *Journal of Applied Polymer Science*, 90, 3767-3779, 2003.
- [3] G. M. Danilova-Volkovskaya, "Properties of polypropylene modified with elastomers", *Plasticheskie Massy*, 5, 2005, 31-34.
- [4] S. H. Jafari, A. K. Gupta, "Impact Strength and Dynamic Mechanical Properties correlation in Elastomer-Modified Polypropylene", *Journal of Applied Polymer Science*, 78, 2000, 962-971.
- [5] Ngô Thanh Bình, "Nghiên cứu sử dụng elastomer nhằm cải thiện khả năng chịu va đập của nhựa polypropylene", *Luận văn Thạc sĩ, trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng*, 2019.
- [6] D orazio, L.; Cecchin, G., "Isotactic polypropylene/ethylene-co-propylene blends: effects of composition on rheology, morphology and properties of injection moulded samples", *Polymer*, 42, 2001, 2675-2684.
- [7] S. J. A. Rizvi, "Effect of injection molding parameters on crystallinity and mechanical properties of isotactic polypropylene", *International Journal of Plastics Technology*, 21, 2017, 404-426.
- [8] Iztok Švab, Anđela Pustak, Matjaž Denac, Andrija Sever Škapin, Mirela Leskovic, Vojko Musil and Ivan Šmit, "Polypropylene Blends with m-EPR Copolymers: Mechanical and Rheological Properties", *Acta Chim. Slov.*, 65, 2018, 344-353.
- [9] József Karger-Kocsis, Tamás Bárány, *Polypropylene Handbook - Morphology, Blends and Composites*, Springer Nature Switzerland AG, 2019.
- [10] Isayev, A. I., Palsule, S., *Encyclopedia of polymer blends: Vol. 2-Processing*, Weinheim: Wiley-VCH Verlag&Co., 2011.
- [11] Nwabunma, D., Kyu, T. *Polyolefin blends*, New York: Wiley-Blackwell, 2008.
- [12] Rongbo Li, Xiuqin Zhang, Ying Zhao, Xuteng Hu, Xutao Zhao, Dujin Wang, "New polypropylene blends toughened by polypropylene/poly(ethylene-co-propylene) in-reactor alloy: Compositional and morphological influence on mechanical properties", *Polymer*, 50 (21), 2009, 5124-5133.