

GIA TĂNG ĐỘ BỀN KÉO CHO BLEND TPU/PP BẰNG GRAPHEN NANOPATELES CÔNG NGHIỆP

INCREASING TENSILE STRENGTH OF THE BLEND TPU/PP
BY INDUSTRIAL-SCALE GRAPHENE NANOPATELES

Nguyễn Thị Thanh Nhân^{1,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/hu1h5804.2025.079>

TÓM TẮT

Một trong những phương pháp đơn giản, nhanh và rẻ tiền để tạo ra một loại vật liệu mới là blend (tổ hợp) hai hoặc nhiều polyme lại với nhau. Để blend có tính chất công nghệ và tính chất cơ lý có thể ứng dụng trong thực tế cần sự tương hợp tốt giữa hai polyme. Tuy nhiên, đa phần các vật liệu polyme ít hoặc không tương hợp với nhau, tạo ra blend có tính chất không cao, khó đáp ứng yêu cầu thực tế. Nghiên cứu này sử dụng graphene nanoplateles (GNPs) công nghiệp - một loại vật liệu graphene có giá thành không cao, có khả năng thương mại hóa làm chất trợ tương hợp giúp gia tăng tương tác giữa nhựa polypropylene (PP) và nhựa polyurethane nhiệt dẻo (TPU) trong blend TPU/PP. Kết quả cho thấy, blend có chứa 0,05% GNPs cho độ bền kéo cao nhất, đạt 18,01MPa, cao hơn 30% so với blend không sử dụng chất trợ tương hợp. Bên cạnh đó, GNPs có vai trò tương tự, trong một số trường hợp ưu việt hơn PP-g-MAH trong việc gia tăng tính chất kéo và độ cứng của nền polyme.

Từ khóa: TPU/PP; blend; graphene nanoplateles; nhựa polypropylene; nhựa polyurethane nhiệt dẻo.

ABSTRACT

Blending polymers into a compound is one of the fast and inexpensive methods to form a new material. Good compatibility between original components needs to be achieved to create a blend of mechanical and technical characteristics that are practically feasible. However, most polymers are not compatible enough to produce practical application blends. This research applied industrial-scale GNPs - inexpensive and commercialized graphene as a compatibilizer for the blend based on polypropylene (PP) and thermal plastic polyurethane (TPU). The results showed that the blend with GNPs 0.05% reached the highest point of the tensile strength of 18.01MPa, which was higher by 30% than that of the blend TPU/PP. Furthermore, GNPs were similar, or even superior in some cases in comparison with PP-g-MAH in the role of the compatibilizer, such as improving tensile strength, tension Young modulus, and the stiffness of the matrix TPU.

Keywords: TPU/PP; blend; graphene nanoplateles; polypropylene; thermal plastic polyurethane.

¹Phòng Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Công nghệ Đông Á

*Email: nhanttt@eaut.edu.vn

Ngày nhận bài: 18/12/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/02/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2025

1. GIỚI THIỆU

Nhựa nhiệt dẻo polyurethane (TPU) được sử dụng trong nhiều lĩnh vực dân dụng và kỹ thuật do đặc tính công nghệ đa dạng và các tính chất hóa lý đáng quý như độ dai, độ bền va đập và tính đàn hồi cao, trong suốt, kháng hóa chất. Dù vậy, khả năng chịu nhiệt của TPU không cao, giá thành cao hơn so với một số polyme thông dụng như các polyolefin (PO) polypropylene (PP), polyetylen (PE) [1]. Để mở rộng khả năng sử dụng, giảm giá thành cũng như tạo ra các đặc tính mới cho TPU, các nhà khoa học thường tiến hành blend TPU với một hoặc nhiều polyme khác. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc tạo blend của TPU với các PO như PP vì đây là một trong những polyme được sử dụng với sản lượng lớn nhất, có nhiều đặc tính quý như cản khí và kháng nước, độ bền kéo và độ bền va đập cao, chịu nhiệt tốt, giá thành tương đối rẻ so với các loại nhựa khác và không độc [2]. Chính vì vậy, blend của TPU với PP không chỉ giảm giá thành mà còn cải thiện tính kết dính, khả năng chịu nhiệt và độ bền cơ học cho TPU, cải thiện khả năng sơn cho PP [3]. Bên cạnh đó, blend TPU/PP có thể thay thế cho blend của TPU/PVC thường được sử dụng trong vật liệu vải tráng phủ khi ngày càng có nhiều quan ngại về môi trường và sức khỏe khi sử dụng PVC. Mặc dù vậy, để

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của các nguyên liệu dùng trong nghiên cứu

PP			TPU				GNPs			MAPP	
Tốc độ chảy ở 230 ^o C/2,16 kg (g/ 10 phút)	Tỷ trọng (g/cm ³)	Độ bền kéo tại điểm chuyển tiếp sang biến dạng dẻo (MPa)	Độ giãn dài tại điểm chuyển tiếp sang biến dạng dẻo (%)	Độ cứng (shore A)	Độ bền kéo đứt (MPa)	Độ giãn dài (%)	Tỷ trọng khối (g/ml)	Đường kính (μm)	Độ dày (nm)	Chỉ số chảy MFI g/10 phút	Tỷ lệ ghép
5	0,9	25,5	6	87	30	790	0,02 - 0,03	10 - 20	< 15	40	1,2

thu được blend có các tính chất đáp ứng được yêu cầu sử dụng thì blend phải có sự tương hợp tốt giữa hai pha TPU và PP, trong khi hai polyme này có bản chất phân cực khác nhau: TPU phân cực do có chứa các nhóm chức như -CO-, -NH còn PP không phân cực. Để tăng cường sự tương hợp giữa hai polyme trên, một phương pháp phổ biến là sử dụng chất trợ tương hợp như propylene ghép maleic anhydrit (PP-g-MAH). Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra PP-g-MAH gia tăng sự tương hợp cho TPU và PP, nhờ đó cải thiện các tính chất cơ học của blend như độ bền nhiệt, uốn, kéo và va đập so với blend không sử dụng chất trợ tương hợp [4-6].

Hiện nay, các vật liệu kích cỡ nano cũng được sử dụng rất phổ biến làm chất trợ tương hợp trong blend. Graphen nanoplates (GNPs) có thể được coi là vật liệu graphit dạng nano do có trên 10 lớp graphen tập hợp lại với nhau, trọng lượng nhẹ, tính chất cơ học cao, tính dẫn điện và nhiệt tốt, tỷ lệ tác động cao, giá thành không cao và dễ gia công hơn so với graphen nguyên chất [7]. Vì có những đặc tính quý như vậy, khi phân bố graphen vào trong blend, graphen ngoài vai trò trợ tương hợp cho blend còn có thể nâng cao và mở rộng các đặc tính mới cho blend mà các chất trợ tương hợp như PP-g-MAH không thể có được. Tuy vậy, các nghiên cứu về sử dụng GNPs làm vật liệu trợ tương hợp cho blend TPU/PP hiện nay vẫn còn rất hạn chế, không chỉ ở Việt Nam mà cả trên thế giới. Trong nghiên cứu này, GNPs được sử dụng làm chất trợ tương hợp cho blend TPU/PP. Các đánh giá về độ bền kéo, modul kéo, độ giãn dài khi kéo và phân tích vi cấu trúc đã được thực hiện để đánh giá sự cải thiện về tính chất, cấu trúc của blend TPU/PP khi sử dụng so với khi không sử dụng GNPs cũng như tình trạng bong tróc của GNPs trong blend. Ngoài ra, nghiên cứu cũng thực hiện chế tạo mẫu blend TPU/PP có sử dụng PP-g-MAH để đối sánh với trường hợp sử dụng vật liệu graphen.

2. NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Nguyên vật liệu

Copolyme polypropylen có tên thương mại là Moplen được sản xuất bởi PolyMirae - Hàn Quốc. Nhựa nhiệt dẻo

TPU T3185 được sản xuất bởi INOV, Shangdong, Trung Quốc do Công ty TNHH Nhựa Phú Hưng cung cấp. PP-g-MAH (polypropylen ghép maleic anhydrit, sau đây gọi tắt là MAPP) NG2001 do Shanghai Jianquiao Plastic Co., Ltd sản xuất và phân phối. Graphen nanoplateles công nghiệp được mua từ nhà sản xuất - Công ty cổ phần Công nghệ Nano Ứng dụng (ANTECH., Jsc).

Chỉ tiêu kỹ thuật của các nguyên vật liệu được cho trong bảng 1 (các số liệu lấy theo công bố của nhà sản xuất).

2.2. Phương pháp

2.2.1. Chế tạo các blend TPU/PP/GNPs và mẫu đối sánh TPU/PP/MAPP

GNPs, PP, TPU, MAPP được sấy khô trong tủ sấy tại nhiệt độ 100^oC, thời gian 24h trước khi đem đi phối trộn tạo các hợp phần blend TPU/PP với hàm lượng PP chiếm 30% về khối lượng so với TPU.

Quy trình chế tạo blend TPU/PP/GNPs gồm các bước như sau:

1. Tạo blend TPU/PP/GNPs với hàm lượng GNPs cao: GNPs được gói trong các màng PP và buộc kín lại trước khi cho vào đùn cùng một lượng xác định hạt TPU và PP (đã phối trộn cơ học sơ bộ trước) để tạo hạt TPU/PP/GNPs. Sấy khô hạt thu được ở nhiệt độ 100^oC, thời gian 24h.

2. Lượng PP và TPU còn lại được phối trộn sơ bộ trước khi cho vào máy đùn để tạo hạt blend TPU/PP. Sấy khô hạt thu được ở nhiệt độ 100^oC, thời gian 24h.

3. Trộn cơ học hạt TPU/PP/GNPs thu được ở bước 1 và hạt blend TPU/PP thu được ở bước 2 trước khi đùn hỗn hợp này trong máy đùn hai trục vít và tạo hạt sau đó. Sấy khô hạt thu được ở nhiệt độ 100^oC, thời gian 24h.

4. Cho hạt blend thu được ở bước 3 vào máy ép phun, tiến hành ép phun tạo mẫu.

Mẫu đối sánh TPU/PP/MAPP được tạo ra với quy trình tương tự như được chỉ ra từ bước 2: tạo blend TPU/PP trước, sau đó trộn cơ học hạt TPU/PP với MAPP, đùn, sấy khô, ép phun để tạo ra mẫu.

Với mục đích tạo ra blend có hàm lượng TPU cao phục vụ các nghiên cứu tiếp theo, trong nghiên cứu này nhóm

nghiên cứu tiến hành khảo sát tại hàm lượng TPU/PP tương ứng 70/30 phần khối lượng. Thông số cụ thể của các mẫu được tạo ra như trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số khối lượng của các thành phần polyme và chất trợ tương hợp MAPP, GNPs trong blend

Tên mẫu	Hàm lượng TPU (% KL)	Hàm lượng PP (% KL)	Hàm lượng MAPP (% KL)	Hàm lượng GNPs (% KL)
TPU/PP	70	30	0	0
TPU/PP/MAPP	70	30	5	0
TPU/PP/GNPs 0,01	70	30	0	0,01
TPU/PP/GNPs 0,03	70	30	0	0,03
TPU/PP/GNPs 0,05	70	30	0	0,05
TPU/PP/GNPs 0,07	70	30	0	0,07
TPU/PP/GNPs 0,09	70	30	0	0,09

Nhiệt độ gia công đùn các blend là 220°C, tốc độ quay của trục vít là 150 vòng/phút.

2.2.2. Đo tính chất kéo của các blend

Các blend tạo ra theo quy trình đã trình bày ở 2.2.1 được đo tính chất kéo trên thiết bị đo tính chất cơ lý đa năng Instron 5582-100 kN (Mỹ) theo tiêu chuẩn ASTM D3039. Vận tốc đo kéo là 10 mm/phút. Độ bền kéo được đo tại thời điểm mẫu bắt đầu bị phá hủy do lực kéo. Kết quả đo tính chất kéo là giá trị trung bình thu được từ 05 mẫu thử.

2.2.3. Khảo sát vi cấu trúc của các blend bằng kính hiển vi điện tử quét

Mẫu vật liệu sau phá hủy kéo được mang đi chụp Fe-SEM trên thiết bị JEOL IT800 tại điện thế 5kV và dòng chùm tia điện tử có cường độ 10μA.

2.2.4. Khảo sát tình trạng bong tróc của graphene trong blend

Để đánh giá khả năng bong tróc của graphene trong vật liệu nền polyme, nghiên cứu đã tiến hành chụp nhiễu xạ XRD trên thiết bị D2 Phaser (Bruker, Đức) với tốc độ quét 0,2°/s trong khoảng từ 5° - 60°.

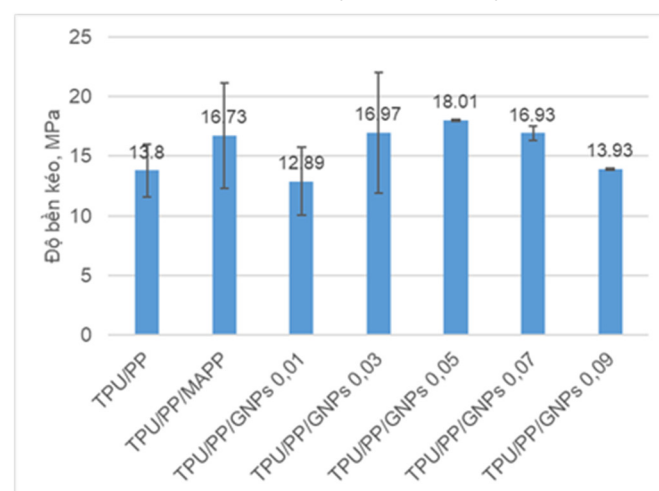
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính chất kéo của các blend

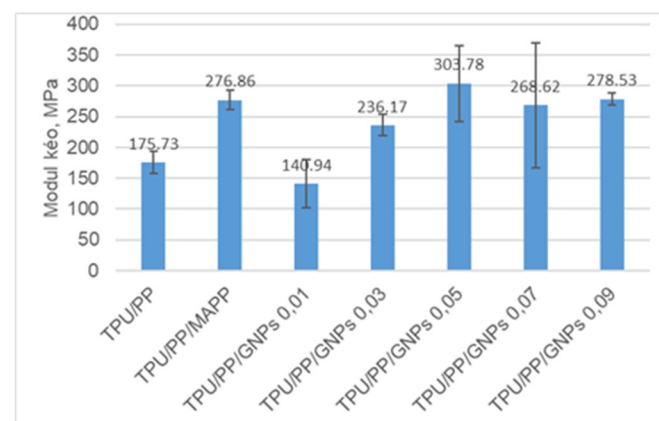
Theo khuyến cáo của nhà sản xuất MAPP, hàm lượng phù hợp của MAPP để gia tăng sự tương hợp giữa nhựa PP và các nhựa nhiệt dẻo khác là 5%. Vì vậy trong nghiên cứu này, kết quả nghiên cứu của blend TPU/PP có sử dụng GNPs được so sánh với blend TPU/PP/MAPP có hàm

lượng MAPP là 5% để đối sánh ảnh hưởng trợ tương hợp của GNPs so với chất trợ tương hợp thông dụng MAPP trong các blend của PP.

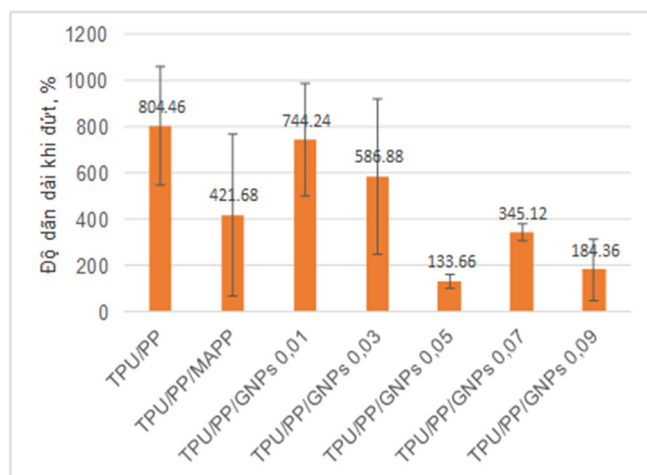
Hình 1 thể hiện độ bền kéo của các blend: TPU/PP; TPU/PP/MAPP cũng như blend TPU/PP có mặt pha GNPs (blend TPU/PP/GNPs). Có thể thấy rằng, mẫu blend không có MAPP và các blend có hàm lượng GNPs rất thấp (0,01% khối lượng) hoặc cao (0,09% khối lượng) có độ bền kéo tương đương. Các blend có hàm lượng GNPs tương ứng với 0,03% và 0,07% có độ bền kéo xấp xỉ độ bền kéo của blend TPU/PP/MAPP. Tuy nhiên, khi hàm lượng GNPs đạt 0,05%, độ bền kéo của blend đạt giá trị cao nhất, tăng lần lượt 30% và 7,6% so với blend TPU/PP và TPU/PP/MAPP. Hình 2 thể hiện giá trị modul kéo của các blend. Xu hướng gia tăng modul kéo ở các blend tương tự với độ bền kéo: modul kéo đạt giá trị cực đại ở hàm lượng GNPs 0,05%; graphene làm gia tăng modul kéo của blend TPU/PP tương tự với chất trợ tương hợp MAPP từ hàm lượng graphene từ 0,03% trở lên. Như vậy, graphene có tác dụng tăng cường tính chất kéo tương tự hoặc vượt trội so với chất trợ tương hợp MAPP nếu được sử dụng ở hàm lượng phù hợp.



Hình 1. Độ bền kéo của các blend



Hình 2. Modul kéo của các blend

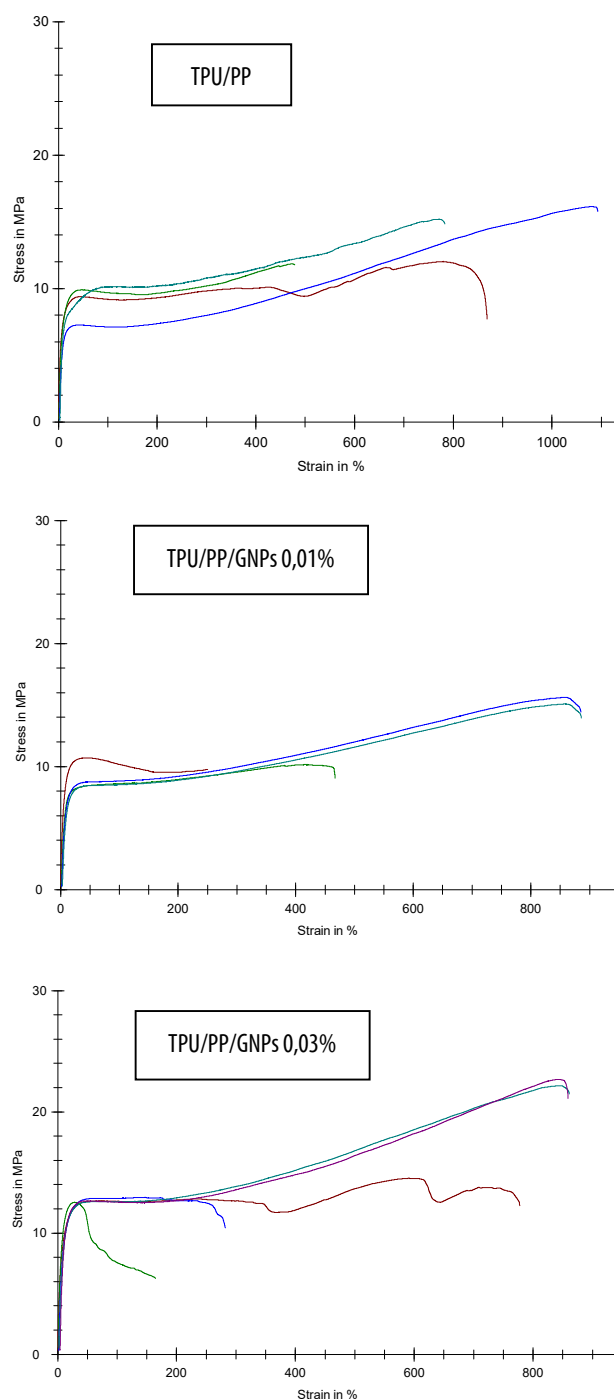


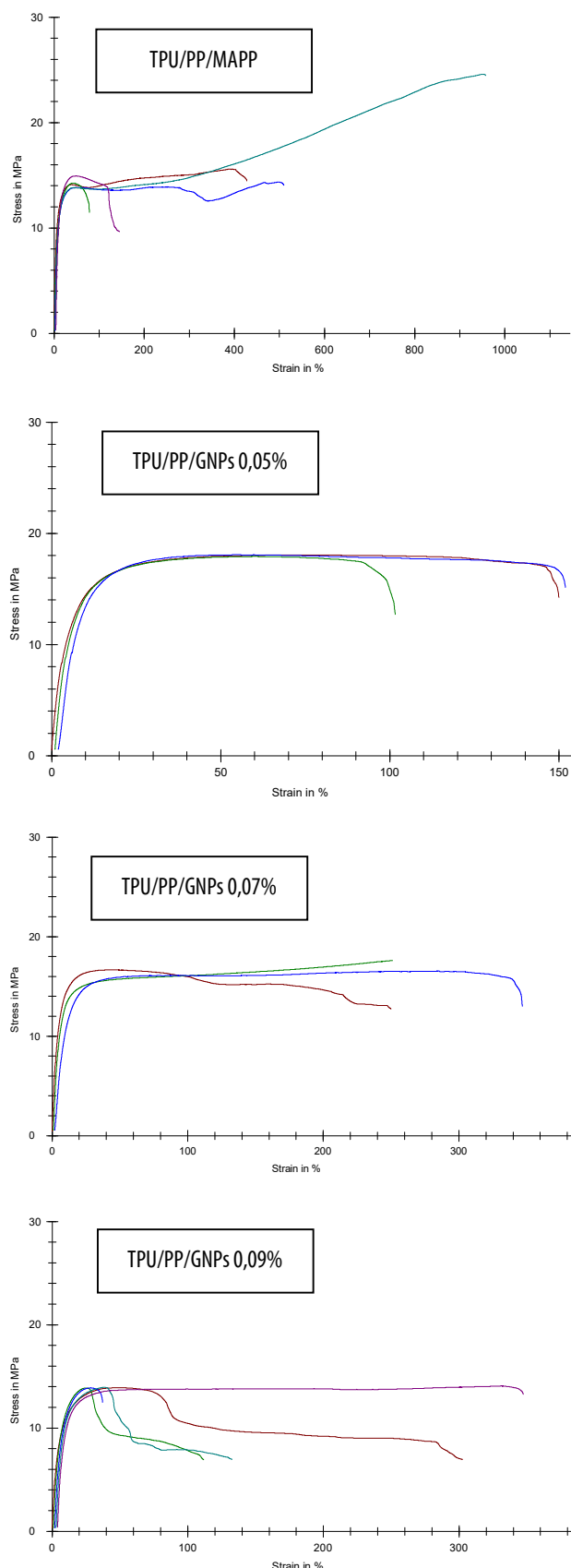
Hình 3. Độ dẫn dài khi kéo đứt của các mẫu blend

Hình 3 mô tả kết quả đo độ dẫn dài khi đứt của các mẫu dưới tác dụng của tải trọng kéo. Blend TPU/PP có giá trị độ dẫn dài cao nhất, cao hơn 91% so với blend TPU/PP/MAPP và 600% so với blend TPU/PP/GNPs 0,05%. Kết quả này phản ánh tình trạng chuyển ứng suất kéo từ TPU sang PP cũng như sự gia tăng độ cứng của nền khi MAPP và GNPs được thêm vào blend. Do TPU và PP có bản chất khác nhau về tính phân cực cũng như cấu trúc hóa học, hai polyme này được đánh giá là không tương hợp, vì vậy khi tạo blend chúng sẽ tạo ra các cấu trúc pha rời rạc. Ở hàm lượng TPU chiếm 70% về khối lượng, pha TPU chiếm ưu thế và có độ nhớt thấp hơn, đóng vai trò pha nền nên sẽ chịu phần lớn ứng suất kéo. Tuy nhiên, với 30% PP trong blend, làm mất tính liên tục của nền TPU cũng như tạo thành các điểm tập trung ứng suất của nền blend, kết quả là dưới tác dụng của lực kéo, blend bị phá hủy dưới ứng suất thấp hơn ứng suất kéo của chính TPU (30MPa như đã cho trong bảng 1). Điều này giải thích độ bền kéo của blend TPU/PP chỉ đạt giá trị 13,8MPa và độ dẫn dài của blend có giá trị rất cao đạt 804,46%. Chất trợ tương hợp MAPP rõ ràng đã cải thiện sự tương hợp của hai polyme, ứng suất kéo chuyển một phần sang PP có độ cứng lớn hơn, kết quả là cả độ bền, modul kéo đều tăng trong khi độ dẫn dài giảm đột ngột. Khi bổ sung hàm lượng GNPs vào trong blend TPU/PP, GNPs với kích thước nhỏ, hình dạng là các đĩa cầu, tạo ra bề mặt tiếp xúc rất lớn, hấp thụ các polyme vào bề mặt của nó, kéo các polyme lại gần nhau hơn, gia tăng khả năng tương tác giữa các polyme, và vì vậy tăng độ tương hợp trong blend [8]. Mặc dù vậy, nếu hàm lượng GNPs thấp, tác dụng này trở nên không đáng kể, nếu hàm lượng GNPs cao, với năng lượng bề mặt cao, chúng rất dễ bị kết tụ hoặc tập hợp lại, tạo thành các điểm tập trung ứng suất hoặc khuyết tật, làm giảm độ bền của vật liệu [9, 10]. Điều này

giải thích độ bền của các blend TPU/PP/GNPs giảm khi hàm lượng GNPs là 0,01% và 0,09% nhưng cả độ bền kéo và modul kéo đều tăng với hàm lượng GNPs từ 0,03% đến 0,07%. Modul kéo của blend TPU/PP/GNPs 0,09% tương đương modul kéo của blend TPU/PP/MAPP vì độ bền kéo tuy giảm nhưng độ dẫn dài khi đứt giảm mạnh, kết quả là modul kéo của blend này cao thứ hai sau mẫu TPU/PP/GNPs 0,05%.

Đồ thị biểu diễn mối quan hệ ứng suất - biến dạng khi thử kéo của các blend được thể hiện trong hình 4.





Hình 4. Đồ thị biểu thị mối quan hệ ứng suất - biến dạng của các mẫu blend

Quan sát đồ thị của các blend có thể nhận thấy, đồ thị biến dạng - ứng suất của các blend có và không có MAPP, GNPs chia thành hai nhóm:

- Nhóm không có GNPs hoặc có chứa GNPs với hàm lượng thấp: độ bền kéo đứt đạt được ở độ biến dạng lớn. Nói cách khác, độ bền kéo của blend phần lớn được đóng góp bởi TPU, cho thấy sự thiếu liên kết giữa hai pha TPU và PP.

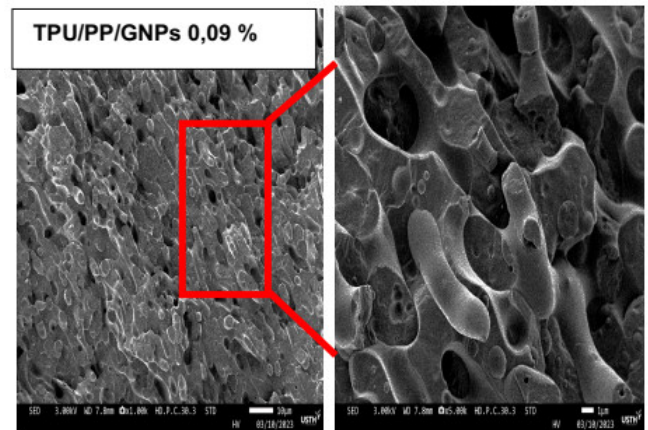
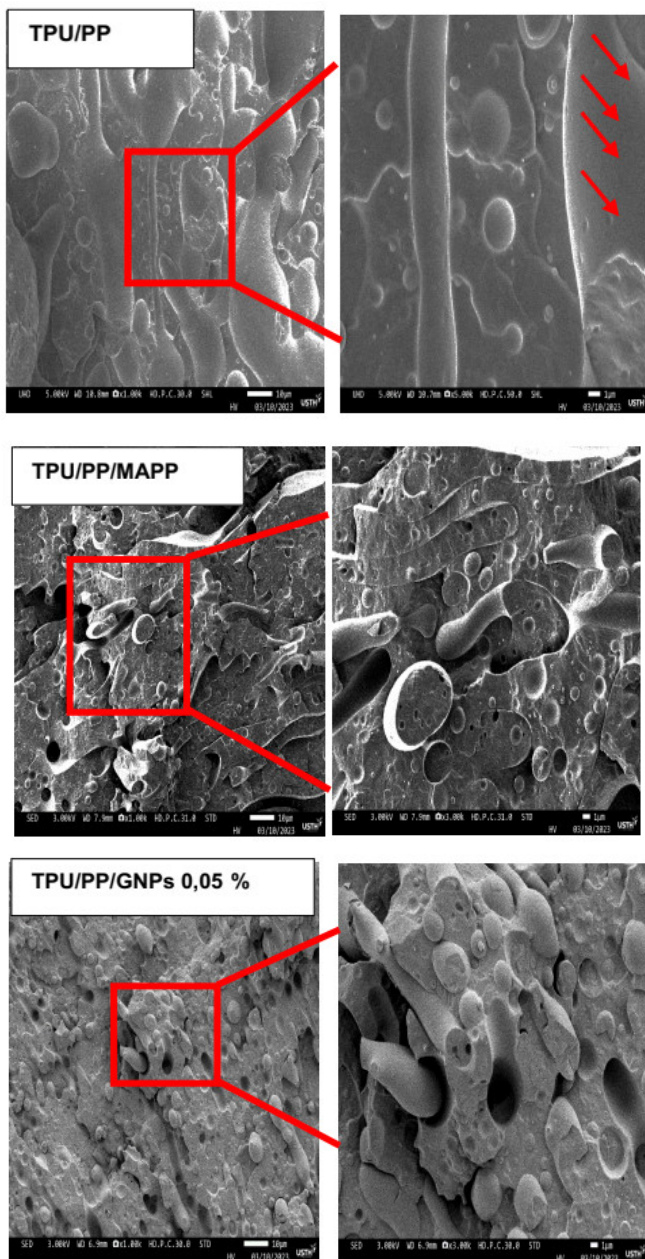
- Nhóm có chứa MAPP hoặc chứa GNPs hàm lượng từ 0,05% trở lên, phần lớn độ bền kéo đứt đạt được ngay khi mẫu chuyển sang mô hình biến dạng dẻo, tức mẫu vẫn tiếp tục biến dạng nhưng độ bền không tăng cho tới khi bị phá hủy. Các blend trở nên cứng hơn với độ biến dạng thấp hơn, ứng suất kéo được chuyển sang cho PP, cho thấy sự tương tác giữa hai pha đã cải thiện nhờ vào MAPP và GNPs.

3.2. Kết quả khảo sát vi cấu trúc của các blend

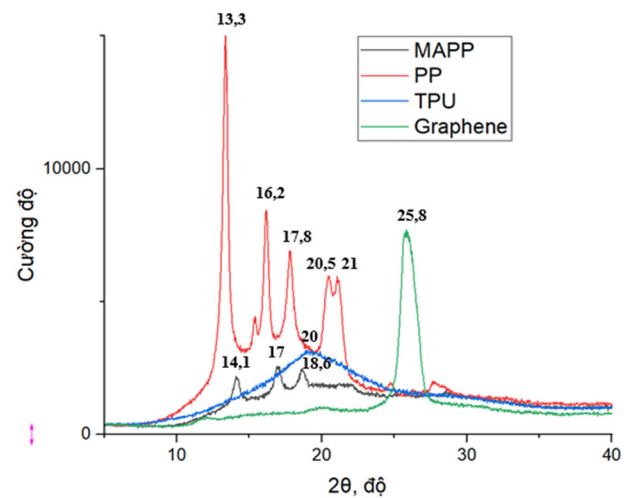
Hình 5 là ảnh FeSEM bề mặt phá hủy các mẫu blend sau thử kéo trong môi trường khí trơ nitơ. Trong nền TPU, PP chuyển thành các "dây" hoặc "hạt" có kích thước khác nhau. Hình ảnh bề mặt phá hủy cũng thể hiện mức độ biến dạng khác nhau của blend dưới ứng suất kéo. Đối với blend TPU/PP, dây PP có kích thước lớn phân tán xen kẽ với các hạt, cho thấy PP có xu hướng kết tụ lại trong nền. Vùng bề mặt (được đánh dấu mũi tên) cho thấy một sự bong tróc của một vùng PP do biến dạng kéo; bề mặt trơn nhẵn cho thấy năng lượng biến dạng thấp. Sự biến dạng của nền trở nên khác biệt với các trường hợp blend có thêm MAPP/GNPs. Nếu như blend TPU/PP/MAPP cho thấy sự biến dạng dẻo của nền lớn, thì với blend của TPU/PP/GNPs, sự biến dạng dẻo giảm đi, nền trở nên cứng giòn hơn, đặc biệt với trường hợp của blend TPU/PP/GNPs hàm lượng graphene đạt 0,09% với sự gãy vỡ gia tăng mạnh so với nền của blend TPU/PP/GNPs 0,05%. Ngoài ra, việc sử dụng MAPP và GNPs giúp gia tăng khả năng trộn hợp, giảm sự tách pha giữa TPU và PP, giúp cấu trúc của blend trở nên chặt chẽ và đặc khít hơn như quan sát thấy trong ảnh SEM; sự biến đổi vi cấu trúc này của blend khi có mặt MAPP hoặc GNPs làm chất trợ tương hợp giải thích sự thay đổi về ứng xử kéo của các blend đã trình bày ở phần 3.1.

Hình 6 mô tả phổ nhiễu xạ XRD của MAPP, graphene (GNPs), PP, TPU trong khi hình 7 trình bày phổ nhiễu xạ của các polymer và các blend. Đặc trưng cấu trúc tinh thể của PP thể hiện ở các peak sắc, nhọn ở các góc 2θ lần lượt là $13,3^\circ$; $16,2^\circ$; $17,8^\circ$; $20,5^\circ$ và 21° . Trong khi đó, TPU thể hiện đặc trưng cấu trúc vô định hình với một peak tù, rộng nằm

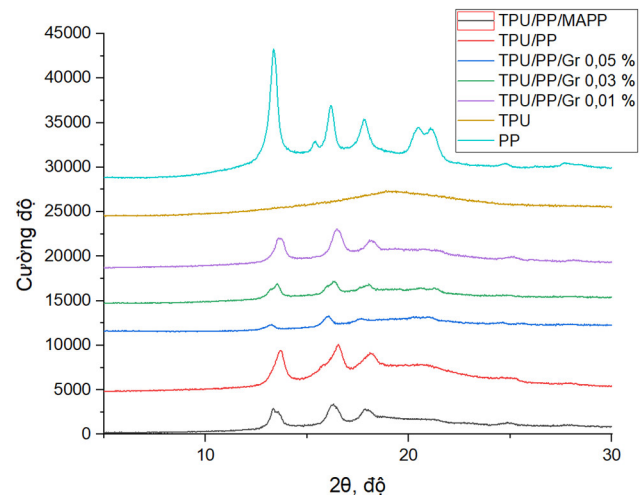
trong khoảng từ 15° đến 25° , với cường độ mạnh nhất ở góc 2θ ở 20° . Quan sát hình 7 có thể thấy, cường độ các peak đặc trưng của PP giảm rõ rệt, các peak trở nên tù khi graphene (hàm lượng 0,03% và 0,05%) và MAPP được sử dụng làm chất trợ tương hợp cho PP và TPU. Ngược lại, khi hàm lượng graphene thấp (0,01% GNPs) hoặc khi không có chất trợ tương hợp, sự tương hợp giữa hai polymer kém, dẫn tới các peak nhiễu xạ đặc trưng cho nhựa PP thể hiện rõ trên biểu đồ nhiễu xạ XRD của TPU/PP và TPU/PP/Gr 0,01%. Bên cạnh đó, cường độ nhiễu xạ của graphene (quan sát trong hình 6) cũng thấp đi đáng kể trong biểu đồ XRD của các blend có sử dụng GNPs (hình 7), cho thấy GNPs đã bong tróc khá tốt trong blend - chứng tỏ phương pháp gia công blend là phù hợp.



Hình 5. Hình ảnh SEM của các mẫu được chụp sau biến dạng kéo



Hình 6. Đồ thị nhiễu xạ XRD của MAPP, GNPs, PP, TPU



Hình 7. Đồ thị nhiễu xạ XRD của các polymer và các blend

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, GNPs đã được sử dụng như một chất trợ liên kết, giúp tăng cường khả năng tương tác giữa hai polymer không tương hợp là PP và TPU. Các kết quả khảo sát cho thấy GNPs cải thiện khả năng tương hợp

giữa hai polyme, gia tăng độ cứng cho nền polyme dẫn tới độ bền và modul kéo đều tăng, độ dẫn dài khi đứt giảm. Tuy nhiên, tác dụng của GNPs chỉ thể hiện rõ khi GNPs được sử dụng ở hàm lượng phù hợp: nếu hàm lượng GNPs thấp (0,01% - 0,03%) hoặc cao ($\geq 0,09\%$), GNPs hoặc không có tác dụng tăng cường sự tương tác giữa PP và TPU hoặc kết tụ/tập hợp lại tạo thành các vùng khuyết tật, tạo ra các điểm tập trung ứng suất làm giảm độ bền của blend. Các khảo sát vi cấu trúc cho thấy GNPs tương tự như MAPP giúp tăng khả năng trộn hợp, giảm sự tách pha giữa TPU và PP, giúp cấu trúc của blend trở nên chặt chẽ hơn và đặc khít hơn nên làm gia tăng độ cứng cho nền TPU. Quan sát biểu đồ nhiễu xạ XRD của các blend cho thấy cường độ nhiễu xạ của graphen giảm đi đáng kể trong các blend có sử dụng GNPs, cho thấy GNPs đã bong tróc khá tốt trong blend. Nghiên cứu này cũng tiến hành đối sánh các đặc trưng của blend TPU/PP/GNPs với TPU/PP/MAPP cho thấy ảnh hưởng của GNPs đối với độ bền, vi cấu trúc của blend tương tự như MAPP, thậm chí vượt trội ở độ bền trong trường hợp hàm lượng GNPs là 0,05% được sử dụng khi độ bền kéo của blend TPU/PP/GNPs chứa 0,05% GNPs lần lượt cao hơn 30% và 7,6% so với blend TPU/PP và blend TPU/PP/MAPP chứa 5% MAPP.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. R. Jaruttrakool, S. Tanpichai, D. Pentrakoon, P. Potiyaraj "Reactive Blending of Thermoplastic Polyurethane and Polypropylene," *International Polymer Processing*, 25(5), 327-333, 2010. doi:10.3139/217.2299
- [2]. T.S. Lee, S.T. Bee, "2-Eco-profile of plastics," in *Plastics and Sustainability*, T.S. Lee and S.T. Bee Ed., Amsterdam, Netherlands: Elsevier, ch. 2, 45-89, 2023.
- [3]. J.S. Wang, X.D. Chen, M.Q. Zhang, M.Z. Rong, "Polyurethane/Polyolefin Blends: Morphology, Compatibilization and Mechanical Properties," *Polymes and Polyme Composites*, 14(1), 1-11, 2006. doi:10.1177/096739110601400101.
- [4]. S. Jia, et al., "Thermoplastic polyurethane/polypropylene blends based on novel vane extruder: A study of morphology and mechanical properties," *Polym Eng Sci*, 54, 716-724, 2014. <https://doi.org/10.1002/pen.23598>.
- [5]. Q.W. Lu, Macosko, W. Christopher, J. Horron, "Compatibilized blends of thermoplastic polyurethane(TPU) and polypropylene," *Macromolecular Symposia*, 198(1), 221-232, 2003. doi:10.1002/masy.200350819.
- [6]. A.L. Ting, L. Jia-Horng, B. Limin, "Polypropylene/thermoplastic polyurethane blends: mechanical characterizations, recyclability and sustainable development of thermoplastic materials," *Journal of Materials*

Research and Technology, 9, 3, 5304-5312, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.056>.

[7]. N. Anindya, et al., "Graphene-based wearable temperature sensors: A review," *Materials & Design*, 221, 110971, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110971>.

[8]. D. Andrea, F. Giulia, "Effect of nanofillers addition on the compatibilization of polymer blends," *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 7, 4, 405-427, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.09.004>.

[9]. Y. Zare, "Study of nanoparticles aggregation/agglomeration in polymer particulate nanocomposites by mechanical properties," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 84, 158-164, 2016. doi:10.1016/j.compositesa.2016.01.02

[10]. S. Sweta, W. Bo, D. Prabir, "Nanoparticle processing: Understanding and controlling aggregation," *Advances in Colloid and Interface Science*, 279, 102162, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102162>.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Thi Thanh Nhan

Department of Scientific Research, East Asia University of Technology, Vietnam