

Khảo sát quá trình chế tạo sợi in 3D composit trên cơ sở nhựa PLA và bột nhôm mác AlSi₁₀Mg

Đoàn Văn Phúc*, Nguyễn Tiến Mạnh

Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: doanphucpbstu@gmail.com

Nhận bài: 29/8/2022; Hoàn thiện: 04/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 20/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.244-252>

TÓM TẮT

Công nghệ in 3D FDM sử dụng nhựa nhiệt dẻo PA, ABS, PLA, ... đang dẫn đầu về mức độ phổ biến và phạm vi ứng dụng. Đặc biệt là nhựa PLA do không độc hại cho sức khỏe người dùng, lại có năng lượng bề mặt cao, nhiệt độ nóng chảy tương đối thấp, rất thích hợp sử dụng trong kỹ thuật in FDM. Tuy nhiên, nhựa PLA có nhiệt độ thủy tinh hóa thấp (~52 °C), hệ số giãn nở nhiệt tương đối cao (~ 68.10⁻⁶/°C) làm cho các kết cấu chế tạo bằng vật liệu này có độ ổn định nhiệt kém. Bài báo này trình bày một số kết quả trong nghiên cứu, chế tạo sợi in 3D từ vật liệu composit trên cơ sở nhựa PLA gia cường bột nhôm mác AlSi₁₀Mg. Sợi in 3D composit chế tạo được có nhiệt độ thủy tinh hóa tăng 15% ÷ 18% và hệ số giãn nở nhiệt giảm 50% so với nhựa PLA thông thường, mở ra triển vọng mới trong ứng dụng in 3D FDM nói chung và in 3D FDM sử dụng nhựa PLA nói riêng.

Từ khóa: In 3D; Nhựa PLA; FDM; Sợi in composit.

1. MỞ ĐẦU

Công nghệ in 3D đang là xu hướng phát triển mới của khoa học và kỹ thuật hiện đại. Theo thống kê của Sculpteo thì in 3D nhựa sử dụng công nghệ "Lắng đọng Fuse" (Fused deposition modeling - FDM) đang dẫn đầu về mức độ ứng dụng cũng như tầm ảnh hưởng tới các ngành công nghiệp. Công nghệ in 3D FDM sử dụng vật liệu in dạng sợi với thành phần chính là các loại nhựa nhiệt dẻo như PLA, ABS, PA, ... Đặc biệt, nhựa PLA không độc hại cho sức khỏe người dùng, khi nóng chảy không có mùi, không có khói, lại có năng lượng bề mặt cao, nhiệt độ nóng chảy tương đối thấp, rất thích hợp sử dụng trong kỹ thuật in 3D FDM. Chính vì vậy, trong mười năm trở lại đây PLA được tập trung nghiên cứu và đưa vào sử dụng rộng rãi trên thị trường, thay thế cho các dòng polyme có nguồn gốc dầu mỏ.

Nhược điểm lớn nhất, hạn chế phạm vi ứng dụng của nhựa PLA là nhiệt độ thủy tinh hóa thấp, làm cho các kết cấu chế tạo bằng vật liệu này có độ ổn định nhiệt kém [4]. Để khắc phục nhược điểm này, rất nhiều các công trình nghiên cứu đã tập trung nâng cao tính năng cơ - nhiệt của nhựa PLA, sử dụng các thành phần gia cường như sợi cacbon, sợi thủy tinh, nanocarbon tube, graphen hoặc bột kim loại, oxit kim loại [1, 2, 5, 6]. Tuy nhiên, công nghệ phối trộn và đùn ép sợi in trên cơ sở các hệ vật liệu này thường là bí quyết công nghệ, không được đề cập đến trong các công bố khoa học. Bài báo này trình bày một số kết quả trong nghiên cứu, chế tạo sợi in 3D FDM từ vật liệu composit trên cơ sở nhựa PLA gia cường bột nhôm mác AlSi₁₀Mg. Các kết quả nghiên cứu này là tiền đề, cơ sở để nhóm tác giả tiến hành những nghiên cứu sâu hơn trong quá trình nghiên cứu, làm chủ công nghệ và ứng dụng in 3D vào thực tế sản xuất.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

- Hạt nhựa PLA (Trung Quốc) với các chỉ tiêu kỹ thuật như sau:

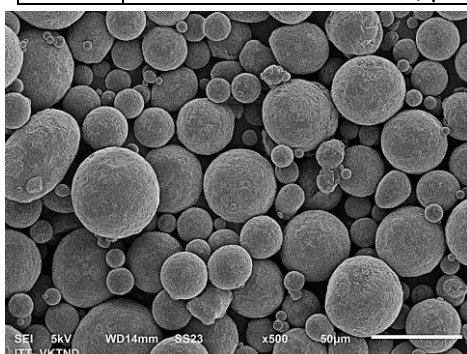
Bảng 1. Chỉ tiêu kỹ thuật nhựa PLA.

STT	Tên chỉ tiêu	Giá trị
1	Khối lượng riêng, g/cm ³	1,25 ±0,05
2	Đường kính hạt, mm	2 - 5
3	Nhiệt độ nóng chảy, °C	~160
4	Nhiệt độ thủy tinh hóa, °C	52
5	Mô đun đàn hồi, MPa	3500
6	Độ bền kéo, MPa	50,0
7	Độ dẫn dài khi đứt, %	≥ 3

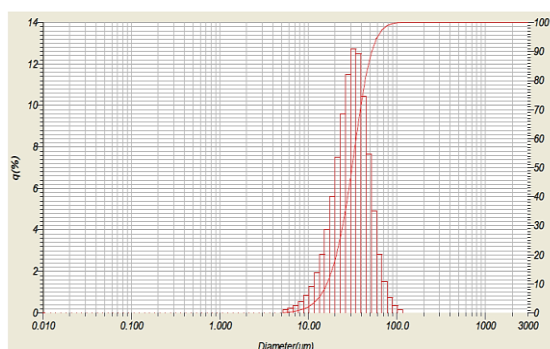
- Bột nhôm mạt AlSi₁₀Mg chế tạo tại Viện Hóa học – Vật liệu với các chỉ tiêu kỹ thuật được trình bày tại bảng 2; ảnh SEM và phân bố cỡ hạt được trình bày tại hình 1 và hình 2.

Bảng 2. Chỉ tiêu kỹ thuật bột nhôm AlSi₁₀Mg.

STT	Tên chỉ tiêu	Giá trị
1	Thành phần hóa học, %	Từ 9 đến 11; Từ 0,2 đến 0,45; Không lớn hơn 0,55; Không nhỏ hơn 87
	- Si	
	- Mg	
	- Fe	
2	Cấu trúc hình thái hạt kim loại	Hình cầu
3	Kích thước hạt kim loại, μm	Từ 10 đến 100



Hình 1. Ảnh SEM bột AlSi₁₀Mg.



Hình 2. Phân bố cỡ hạt bột AlSi₁₀Mg.

2.2. Thiết bị nghiên cứu, chế tạo

2.2.1. Thiết bị chế tạo

- Tủ sấy DHG-9240B, Trung Quốc;
- Cân điện tử Ohaus, Mỹ;
- Máy nghiền bi, Nhật Bản;
- Bộ gia nhiệt cho cối nghiền, Việt Nam;
- Bộ thiết bị đùn trục vít do nhóm nghiên cứu chế tạo. Trên bảng 3 là các thông số kỹ thuật chính của máy.

Bảng 3. Các thông số cơ bản của máy đùn trục vít.

STT	Tên thông số	Đơn vị đo	Giá trị
1	Đường kính trục vít, D	mm	30
2	Chiều dài trục vít, L	mm	160
3	Bước răng cánh vít, A	mm	20
4	Bề dày cánh vít, b	mm	3

5	Đường kính lõi vít, D_0	mm	14	
6	Chiều sâu rãnh vít:	mm	4,80	
	- Vùng nạp liệu H1			2,92
	- Vùng nén H2			1,04
7	Bước vít, t	mm	20	
8	Góc nghiêng của răng vít, φ	Độ	17,5	
9	Tốc độ quay của trục vít, w_D	Vòng/ phút	Từ 25 đến 140	

2.2.2. Thiết bị phân tích

- Máy kéo vạn năng, Trung Quốc;
- Kính hiển vi điện tử quét (SEM) JEOL 6610 LA, Nhật Bản;
- Thiết bị phân tích cơ động lực DMA-8000, Mỹ;

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp kính hiển vi điện tử quét (SEM)

Khảo sát phân bố bột AlSi₁₀Mg trong nhựa PLA.

2.3.2. Phương pháp xác định tính năng cơ - lý - nhiệt của vật liệu

- *Khối lượng riêng*: Xác định theo TCVN 6039-1:2008;
- *Độ bền kéo*: Xác định theo tiêu chuẩn TCVN 4509:2006;
- *Nhiệt độ thủy tinh hóa*: Xác định trên thiết bị phân tích cơ nhiệt động lực DMA-8000. Mẫu đo được nâng nhiệt từ nhiệt độ phòng lên 100 °C với tốc độ nâng nhiệt 3 °C/phút, tần số đo 1Hz. Giá trị mô đun dự trữ (E'), mô đun mất mát (E'') và $\tan\delta = E''/E'$ được ghi lại trong suốt quá trình đo.
- Nhiệt độ thủy tinh hóa T_g là nhiệt độ tại đó $\tan\delta$ đạt giá trị cực đại trong dải nhiệt độ nghiên cứu.
- Hệ số giãn nở nhiệt dài: Theo ASTM D696.

2.4. Phương pháp chuẩn bị mẫu

Bột nhôm và hạt nhựa PLA được cân theo tỉ lệ xác định rồi cho vào cối nghiền cùng với bi thép. Cối nghiền sau đó được đặt lên máy nghiền, đồng thời được gia nhiệt. Mục đích của việc trộn nóng là để giảm độ cứng của nhựa PLA, từ đó, tăng xác suất bột kim loại được găm vào hạt nhựa. Nhiệt độ và thời gian trộn được khảo sát lần lượt từ 55 đến 90 °C và từ 30 đến 120 phút.

Sau khi thu được hỗn hợp nhựa PLA/ bột nhôm, tiến hành ép đùn sợi in 3D trên máy đùn trục vít. Các thông số công nghệ được khảo sát gồm: Nhiệt độ đùn ép từ 100 đến 150 °C, tốc độ đùn ép (tốc độ quay trục vít) từ 20 đến 100 vòng/ phút và hàm lượng bột kim loại từ 10 đến 20%. Sợi sau khi ép đùn được cắt thành các mẫu thử có chiều dài khoảng 20 cm để đo độ bền kéo và các mẫu có chiều dài khoảng 3 cm để xác định nhiệt độ thủy tinh hóa. Các mẫu chụp ảnh SEM được chuẩn bị bằng cách nhúng nitơ trong thời gian 30 phút, sau đó, được bẻ gãy nhanh để thu được mặt cắt của sợi. Sợi chưa thử nghiệm được bảo quản trong các hộp nhựa kín có chứa silicagen chống ẩm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

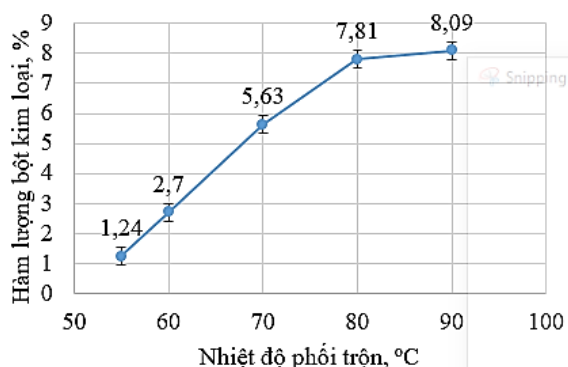
3.1. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng của quá trình trộn hợp nhựa PLA và bột nhôm AlSi₁₀Mg

3.1.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ trộn hợp

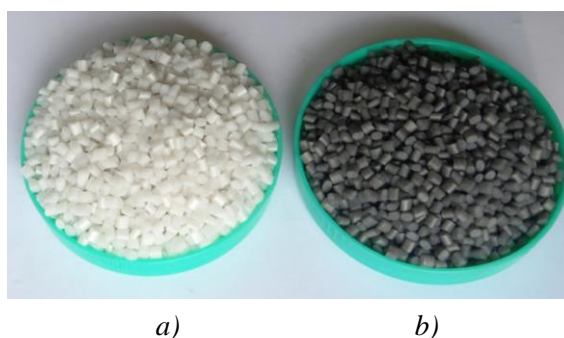
Ảnh hưởng của nhiệt độ tới quá trình trộn hợp nhựa PLA và bột nhôm AlSi₁₀Mg được khảo sát thông qua sự thay đổi khối lượng nhựa PLA, tức là hàm lượng bột nhôm có thể "hợp kim hóa" vào nhựa sau cùng một khoảng thời gian trộn hợp. Với hàm lượng bột kim loại sử dụng ban đầu là 10% [6], thời gian trộn là 60 phút, nhiệt độ trộn hợp được khảo sát từ 55 °C (nhiệt độ chảy

mềm của nhựa PLA [7, 8]) đến 90 °C. Mẫu sau khi trộn hợp được sàng loại bột nhôm dư, sau đó cân trên cân kỹ thuật với độ chính xác 0,1 g. Kết quả sự biến đổi khối lượng nhựa PLA được trình bày trong hình 3.

Từ đồ thị tại hình 3 nhận thấy, khi tăng nhiệt độ, hàm lượng bột nhôm được giữ lại trong nhựa có xu hướng tăng. Tại nhiệt độ 55 °C hàm lượng bột kim loại vào được nhựa PLA chỉ chiếm cỡ 1%, chứng tỏ ở nhiệt độ này hạt nhựa vẫn chưa chuyển mềm, quá trình trộn hợp gần như chưa diễn ra. Đến nhiệt độ 80 °C, hàm lượng bột kim loại vào được trong nhựa đạt 7,8%. Tiếp tục tăng nhiệt độ, hàm lượng bột kim loại có tăng thêm, tuy nhiên, đã quan sát thấy hiện tượng bết dính một số các hạt nhựa lại. Do đó, nhiệt độ 80 °C được lựa chọn để thực hiện quá trình trộn hợp hạt nhựa PLA và bột nhôm AlSi₁₀Mg. Trên hình 4 là hình ảnh hạt nhựa trước và sau khi trộn hợp với bột kim loại.



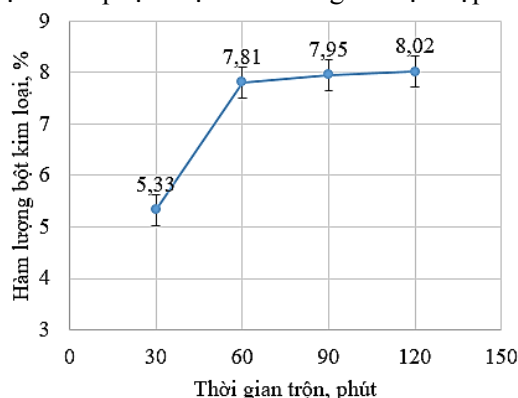
Hình 3. Đồ thị ảnh hưởng của nhiệt độ trộn hợp đến hàm lượng bột kim loại trong nhựa.



Hình 4. Hạt nhựa PLA trước (a) và sau khi trộn với bột nhôm (b).

3.1.2. Ảnh hưởng của thời gian trộn hợp

Ảnh hưởng của thời gian đến quá trình trộn hợp được khảo sát trong khoảng từ 30 đến 120 phút, với điều kiện nhiệt độ 80 °C, hàm lượng bột kim loại sử dụng 10%. Kết quả xác định sự biến đổi khối lượng hạt nhựa PLA phụ thuộc vào thời gian trộn hợp được trình bày trên hình 5.



Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian trộn hợp đến hàm lượng bột nhôm trong nhựa.

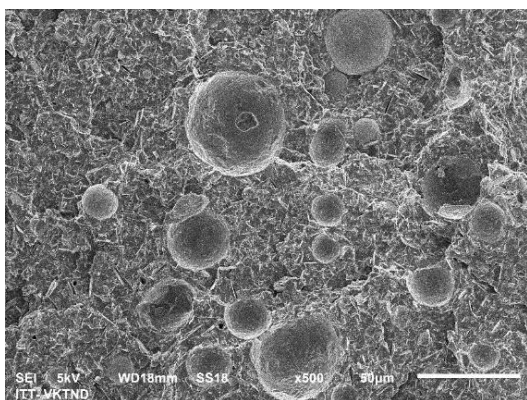
Từ đồ thị hình 5 nhận thấy, sau khoảng 60 phút trộn hợp, lượng bột kim loại được giữ lại trong hạt nhựa chiếm khoảng 80% so với lượng bột kim loại bổ sung ban đầu và hầu như không tăng thêm khi tăng thời gian trộn hợp. Như vậy, thời gian trộn hợp tối ưu cho hệ ở 80 °C là 60 phút.

3.2. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng của quá trình đùn ép sợi

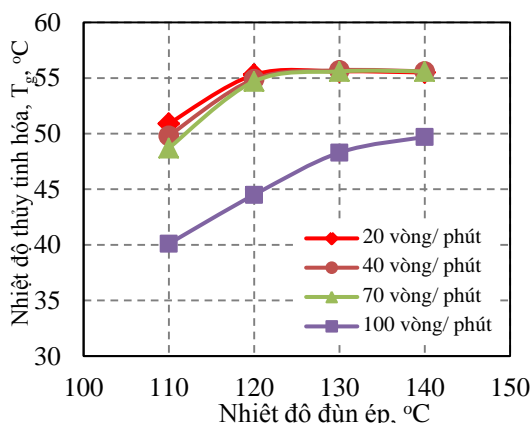
3.2.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ đùn ép

Ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ đùn tới quá trình chế tạo sợi in 3D trên cơ sở nhựa PLA/

bột nhôm $AlSi_{10}Mg$ được khảo sát thông qua sự biến đổi độ bền kéo và nhiệt độ thủy tinh hóa T_g . Hàm lượng bột kim loại sử dụng là 10%, thời gian phối trộn hỗn hợp nhựa/ bột nhôm trên máy nghiền bi là 60 phút, nhiệt độ phối trộn là 80 °C; tốc độ quay của trục vít và nhiệt độ đùn ép khảo sát lần lượt từ 20 đến 100 vòng/ phút và từ 100 đến 150 °C. Đầu đùn sử dụng có đường kính lỗ đùn 2 mm. Kết quả thực nghiệm cho thấy ở nhiệt độ 100 °C quá trình đùn ép không diễn ra được do nhựa chưa đủ chảy dẻo. Ở nhiệt độ 150 °C nhựa bị chảy loãng, quá trình kéo sợi không thể thực hiện được. Ở nhiệt độ từ 110 đến 140 °C, quá trình đùn ép cho phép thu được sợi dài, đường kính sợi khoảng 1,2 mm. Sợi thu được có màu xám nhạt đồng nhất, bề mặt sợi nhẵn bóng, không bị đứt đoạn trong khi kéo sợi. Kết quả chụp ảnh SEM sợi thu được cho thấy bột kim loại phân bố tương đối đồng đều trên nền nhựa PLA (hình 6).



Hình 6. Ảnh SEM bề mặt phá hủy sợi in 3D PLA/ bột nhôm.



Hình 7. Đồ thị ảnh hưởng của nhiệt độ đùn ép đến nhiệt độ thủy tinh hóa.

Kết quả sự biến đổi T_g và độ bền kéo phụ thuộc vào nhiệt độ và tốc độ đùn ép được trình bày trên hình 7 và bảng 4.

Bảng 4. Độ bền kéo của sợi in 3D trên cơ sở PLA/ $AlSi_{10}Mg$ với các điều kiện chế tạo khác nhau.

Tốc độ đùn, vòng/ phút	Nhiệt độ đùn, °C			
	110	120	130	140
20	6,8	22,1	26,7	26,7
40	6,1	21,8	26,6	26,7
70	5,7	21,7	26,7	26,6
100	4,8	4,9	5,4	5,9

Từ đồ thị tại hình 7 nhận thấy, khi tăng nhiệt độ đùn ép, nhiệt độ thủy tinh hóa T_g của mẫu có xu hướng tăng. Tại nhiệt độ 110 °C, tốc độ đùn 20 vòng/phút, T_g của mẫu khoảng 51 °C. Từ nhiệt độ 130 °C, mẫu có nhiệt độ thủy tinh hóa ổn định với giá trị đạt khoảng 55,6 °C.

So sánh T_g của hệ với cùng một nhiệt độ đùn nhưng tốc độ đùn ép khác nhau, nhận thấy T_g có xu hướng giảm khi tăng tốc độ đùn ép. Tại nhiệt độ 110 °C, T_g của hệ đạt 50,9 °C khi tốc độ quay của trục vít là 20 vòng/phút và giảm xuống còn 40,1 °C khi tốc độ đùn tăng lên 100 vòng/phút. Ảnh hưởng của tốc độ đùn thể hiện rõ rệt khi nhiệt độ đùn trong khoảng từ 110 đến 125 °C. Đặc biệt, khi tốc độ đùn là 100 vòng/phút, nhiệt độ thủy tinh hóa T_g của hệ có xu hướng giảm mạnh với giá trị lớn nhất là 49,7 °C tương ứng với nhiệt độ đùn 140 °C, thấp hơn 5,9 °C so với T_g của hệ khi tốc độ đùn là 70 vòng/phút với cùng nhiệt độ đùn. Nguyên nhân có thể do khi đùn ép ở tốc độ cao, hỗn hợp nhựa PLA/bột nhôm chưa kịp nhận đủ nhiệt lượng cần thiết để nóng chảy hoàn toàn đã bị đẩy ra khỏi đầu đùn, từ đó, làm giảm T_g của hệ.

Kết quả khảo sát độ bền kéo cho thấy với nhiệt độ đùn ép từ 130 ÷ 140 °C, tốc độ đùn ép từ 20 ÷ 70 vòng/phút, sợi chế tạo được có độ bền cơ học cao nhất, độ bền kéo 26,7 MPa. Điều này

Nghiên cứu khoa học công nghệ

hoàn toàn phù hợp với phân tích về sự biến đổi nhiệt độ thủy tinh hóa ở trên. Như vậy, có thể thấy nhiệt độ và tốc độ đùn ép tối ưu của hệ tương ứng là 130 °C và 70 vòng/phút.

3.2.2. Ảnh hưởng của hàm lượng bột kim loại

Để đánh giá cụ thể ảnh hưởng của hàm lượng bột nhôm AlSi₁₀Mg đến độ bền cơ học và nhiệt độ thủy tinh hóa của hệ nhựa, tiến hành cố định các điều kiện chế tạo mẫu như sau:

- Điều kiện trộn hợp hạt nhựa PLA và bột nhôm:

- + Nhiệt độ trộn hợp: 80 °C;
- + Thời gian trộn hợp: 60 phút.

- Điều kiện đùn ép sợi in 3D:

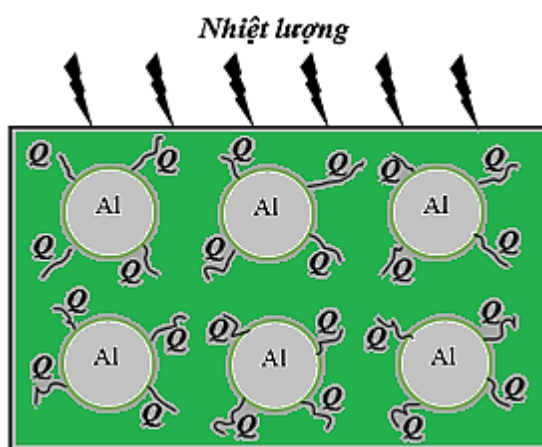
- + Nhiệt độ đùn ép: 130 °C;
- + Tốc độ đùn ép: 70 vòng/ phút.

Hàm lượng bột kim loại dùng cho quá trình trộn hợp được khảo sát từ 5 đến 20%. Kết quả khảo sát được chỉ ra tại bảng 5.

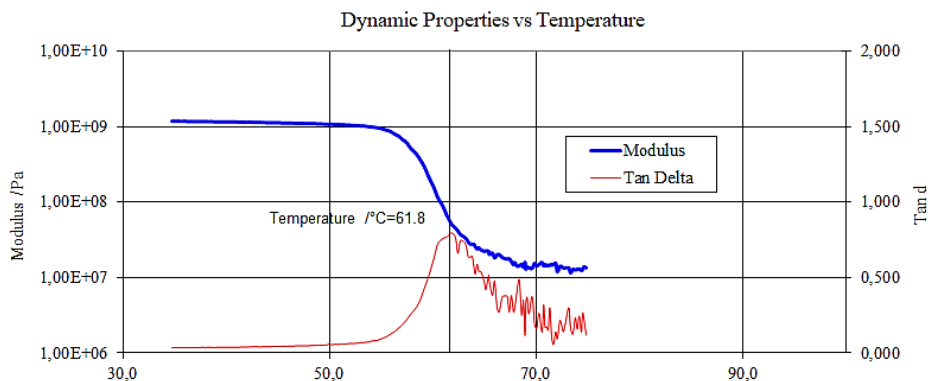
Bảng 5. Độ bền kéo và nhiệt độ thủy tinh hóa của sợi in 3D với hàm lượng bột kim loại khác nhau.

Hàm lượng bột kim loại, %	Độ bền kéo, MPa	Nhiệt độ thủy tinh hóa, °C	Hệ số giãn nở nhiệt dài, 1/°C
0	41,3	52,1	68.10 ⁻⁶
4,8	26,8	53,6	62.10 ⁻⁶
7,8	26,7	55,6	52.10 ⁻⁶
12,7	26,7	57,3	41.10 ⁻⁶
18,1	23,6	61,8	33.10 ⁻⁶

Kết quả khảo sát cho thấy, sự có mặt của bột kim loại làm tăng đáng kể nhiệt độ thủy tinh hóa của hệ. Cụ thể, với sự tham gia từ 4,8 đến 18,1% bột nhôm AlSi₁₀Mg, nhiệt độ thủy tinh hóa T_g của hệ tăng lên từ 3 ÷ 18,8% so với nhựa PLA gốc. Điều này có thể giải thích do sự có mặt của bột nhôm trong nền nhựa PLA đóng vai trò như những cọc ghim, giúp tăng cường liên kết giữa các mạch polyme, làm cho các mạch polyme trở nên kém linh động hơn, kết quả là làm tăng độ ổn định kết cấu nhiệt của hệ. Ngoài ra, kim loại nói chung và nhôm nói riêng, có khả năng hấp thụ nhiệt tốt hơn rất nhiều so với vật liệu polyme. Trong trường hợp có sự tham gia của bột nhôm AlSi₁₀Mg, các hạt kim loại này sẽ đóng vai trò là các mầm hấp thụ nhiệt, giúp vật liệu hấp thụ được nhiều nhiệt hơn mà không ảnh hưởng đến kết cấu của chi tiết và tính chất sử dụng của vật liệu (hình 8).



Hình 8. Mô hình hấp thụ nhiệt lượng của vật liệu trên nền nhựa PLA gia cường bột nhôm AlSi₁₀Mg.



Hình 9. Giảm độ phân tích DMA sợi in 3D PLA khi sử dụng 20% bột nhôm.

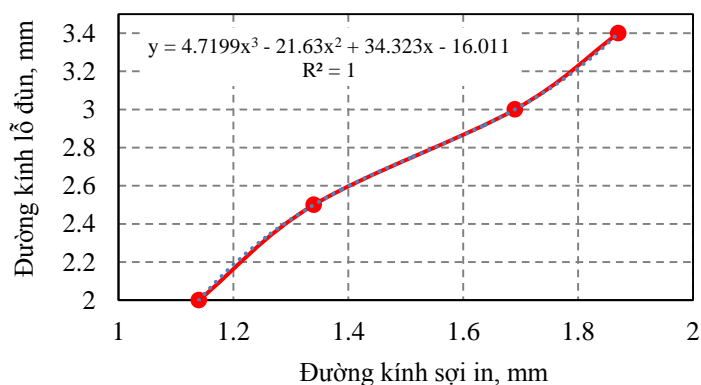
Ngược lại, khi sử dụng bột nhôm, độ bền kéo của hệ có xu hướng giảm. Điều này có thể do liên kết giữa bột kim loại và nhựa PLA là liên kết vật lý thông thường, bề mặt của các hạt nhôm lại tương đối trơn nhẵn, dẫn đến khả năng bám dính giữa bột nhôm và nền polyme bị suy giảm. Nếu lấy T_g của hệ là tiêu chí chính, có thể lựa chọn hệ nhựa PLA/ 18,1% AlSi10Mg. Nếu muốn hệ vật liệu cân bằng hơn giữa độ bền cơ học và độ ổn nhiệt, có thể lựa chọn hệ nhựa PLA/ 12,7% AlSi10Mg. Hệ nhựa PLA/ 12,7% AlSi10Mg sẽ được sử dụng trong các nghiên cứu tiếp theo.

3.2.3. Xác định đường kính đầu đùn

Nhựa sau khi ra khỏi đầu đùn sẽ thay đổi tiết diện, ban đầu là sự phình to ra do sự giải phóng năng lượng nén trong dòng chảy cùng với ảnh hưởng của sức căng bề mặt và sự giãn nở ra của polyme, sau đó là sự co ngót của sợi in dưới tác động của hệ thống kéo sợi. Do đó, để thu được sợi in 3D có đường kính xác định, phải tính toán, xác định tỷ lệ giãn nở hoặc co ngót của sợi in sau khi ra khỏi đầu đùn. Để làm được điều này, nhóm nghiên cứu tiến hành chế tạo sợi in sử dụng bộ đầu đùn với các kích thước lỗ đùn khác nhau (hình 10). Các điều kiện phối trộn và đùn ép như trình bày tại mục 3.2.2. Kích thước các sợi in chế tạo được với các đầu đùn khác nhau được đo chính xác bằng panme và được trình bày tại hình 11.



Hình 10. Bộ đầu đùn với các kích thước khác nhau.



Hình 11. Đường kính sợi in chế tạo được từ các đầu đùn kích thước khác nhau.

Dựa vào đồ thị và hàm nội suy mô tả gần đúng mối quan hệ giữa đường kính lỗ đùn và đường kính sợi in thu được, có thể xác định gần đúng kích thước lỗ đùn D để sợi in chế tạo được có kích thước $d = 1,75$ mm:

$$D = 4,7199.1,75^3 - 21,63.1,75^2 + 34,323.1,75 - 16,011$$
$$D = 3,1 \text{ mm}$$

Sử dụng đầu đùn với kích thước lỗ đùn $D = 3,1$ mm để đùn ép sợi in 3D từ hỗn hợp nhựa PLA/ 12,7% bột nhôm. Đường kính của sợi in được xác định bằng panme có độ chính xác 0,01 mm tại 5 vị trí bất kỳ, mỗi vị trí cách nhau 50 cm trên sợi in. Kết quả đo đạc và tính toán cho thấy đường kính trung bình của sợi in 3D chế tạo được là: $d = 1,76 \pm 0,024$ mm.

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu, chế tạo và khảo sát sợi in 3D composit trên cơ sở nhựa PLA và bột nhôm mác AlSi10Mg, định hướng sử dụng làm vật liệu in cho công nghệ in 3D FDM, nhóm nghiên cứu đi đến các kết luận như sau:

1. Bằng công nghệ phối trộn và ép đùn, sử dụng bộ thiết bị đùn ép sợi in 3D do Viện Hoá học - Vật liệu chế tạo, có thể chế tạo sợi in 3D composit trên cơ sở nhựa PLA/AlSi10Mg với hàm lượng bột kim loại đến 18%;

2. Trên cơ sở khảo nhiệt độ thủy tinh hoá T_g và độ bền kéo của sợi in với thành phần nguyên liệu và các thông số công nghệ khác nhau, đã xác định được một số điều kiện kỹ thuật phù hợp cho quá trình phối trộn và đùn ép sợi in 3D trên cơ sở nhựa PLA và bột nhôm AlSi₁₀Mg;

3. Sợi in 3D chế tạo được có nhiệt độ thủy tinh hoá tăng $15\% \div 18\%$ và hệ số giãn nở nhiệt giảm 50% so với nhựa PLA thông thường, mở ra triển vọng mới trong ứng dụng in 3D FDM nói chung và in 3D FDM sử dụng nhựa PLA nói riêng.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của đề tài cấp Viện KH-CN quân sự mã số 152/2021 cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Liu ZG, Wang YQ, Wu BC, Cui CZ, Guo Y, Yan C. "A critical review of fused deposition modeling 3D printing technology in manufacturing polylactic acid parts". Int J Adv Manuf Technol;102(9–12):2877–89, (2019).
- [2]. Jun Jiang, Shuangqiao Yang, Linhuan Li, Shibing Bai, "High thermal conductivity polylactic acid composite for 3D printing: Synergistic effect of graphene and alumina", Polymers for Advanced Technologies 31(5), (2020). DOI: 10.1002/pat.4858.
- [3]. Просвиряков А.С. "механическое легирование алюминиевого сплава частицами наноалмаза. Известия вузов". Порошковая металлургия и функциональные покрытия. (4):45-50, (2013). <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2013-4-45-50>.
- [4]. <http://www.simplify3d.com/>
- [5]. Zhaobing Liua, Qian Lei, Shuaiqi Xinga, "Mechanical characteristics of wood, ceramic, metal and carbon fiber-based PLA composites fabricated by FDM", Materials research and technology, 8(5): 3741-3751, (2019). DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.06.034.
- [6]. Rui Guo, Zechun Ren, Hongjie Bi, Min Xu and Liping Cai. "Electrical and Thermal Conductivity of Polylactic Acid (PLA)-Based Biocomposites by Incorporation of Nano-Graphite Fabricated with Fused Deposition Modeling". Polymers, 11, 549, (2019), doi:10.3390/polym11030549.
- [7]. Wenjie Liu, Jianping Zhou, Yuming Ma, Jie Wang and Jie Xu. "Fabrication of PLA Filaments and its Printable Performance". Materials Science and Engineering 275 (2017). doi:10.1088/1757-899X/275/1/012033.
- [8]. Farah S, Anderson DG, Langer R. "Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—a comprehensive review". Adv Drug Deliv Rev. 107:367-392, (2016).
- [9]. Saini P, Arora M, Kumar M. "Poly(lactic acid) blends in biomedical applications". Adv Drug Deliv Rev. 107:47-59, (2016).

- [10]. Zhuang Y, Song W, Ning G, et al. “3D–printing of materials with anisotropic heat distribution using conductive polylactic acid composites”. *Materials & Design*. 126:135-140, (2017).

ABSTRACT

**Study of the manufacturing process of 3D printing composite filaments,
based on PLA plastic and aluminum powder AlSi₁₀Mg**

FDM 3D printing technology using thermoplastic such as PA, ABS, PLA, etc., is leading in popularity and application scope. Especially PLA plastic because it is not toxic to users' health, has high surface energy, relatively low melting temperature, is very suitable for use in FDM printing technique. However, PLA plastic has a low vitrification temperature that makes structures made with this material have poor thermal stability. This paper presents some results in the research and fabrication of 3D printed filaments from composite materials based on PLA plastic reinforced with AlSi10Mg aluminum powder. The fabricated composite 3D printing filament has a 15% ÷ 18% higher vitrification temperature than ordinary PLA plastic, opening up new prospects in the application of FDM 3D printing in general and FDM 3D printing using PLA in particular.

Keywords: 3D printing; PLA plastic; FDM; Composite filament.