

Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình kéo sợi và in 3D đối với vật liệu CF/PA6

Đình Thế Dũng*, Nguyễn Trần Hùng, Lã Đức Dương

Viện Hóa học – Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Số 17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: gnudktvn@gmail.com

Nhận bài: 08/11/2023; Hoàn thiện: 18/01/2024; Chấp nhận đăng: 30/01/2024; Xuất bản: 22/04/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.94.2024.55-61>

TÓM TẮT

Sợi in 3D CF/PA6 được tạo ra từ sự kết hợp giữa nhựa polyamide 6 (pa6) của BASF và sợi cacbon của hãng Toray (Nhật Bản), với kích thước dưới $300\mu\text{m}$. Nghiên cứu này tập trung vào việc tối ưu điều kiện chế tạo và sử dụng CF/PA6 trong điều kiện khảo sát. Các thông số kỹ thuật quan trọng như độ bền kéo và độ bền uốn đã được đo đạc để đánh giá hiệu suất cơ học trong các điều kiện chế tạo sợi in. Nghiên cứu đã xác định rằng sợi in 3D CF/PA6 đạt độ bền cơ tính tốt nhất khi sử dụng nhiệt độ trộn nóng chảy là $270\text{ }^{\circ}\text{C}$, tốc độ quay trục vít là 50 vòng/phút và tốc độ kéo sợi là 5 cm/s. Trong điều kiện khảo sát, sản phẩm in có độ bền kéo cao nhất khi mật độ điền đầy là 50%, kiểu điền đầy đồng tâm (concentric), số lớp thành 2 và độ dày lớp 0,1 mm.

Từ khóa: In 3D; Vật liệu composite; Nhựa polyamide 6; Sợi cacbon.

1. MỞ ĐẦU

Công nghệ in 3D Fused Deposition Modeling (FDM) đã trở thành một phần quan trọng và không thể thiếu trong công nghiệp hiện đại và cộng đồng sáng tạo. Được ra đời vào những năm đầu thế kỷ 21, FDM đã nhanh chóng thu hút sự chú ý của nhiều ngành công nghiệp nhờ vào khả năng tạo ra các sản phẩm phức tạp, đa dạng với chi phí thấp và khả năng tùy chỉnh cao [1, 2]. Vai trò của công nghệ in 3D FDM không chỉ giới hạn trong việc sản xuất nguyên mẫu và mô hình, mà còn mở rộng ra nhiều lĩnh vực khác nhau như y tế [3-5], giáo dục [1], công nghiệp hàng không và không gian [6], nghệ thuật [6], và đặc biệt là trong quá trình chế tạo các linh kiện và sản phẩm cuối cùng [7]. Khả năng xây dựng từng lớp của vật liệu, thường là nhựa đặc biệt, giúp FDM trở thành công nghệ in 3D phổ biến và hiệu quả trong việc sản xuất hàng loạt sản phẩm có độ phức tạp cao và chi tiết nhỏ. Ngoài ra, FDM còn mang lại sự linh hoạt trong quá trình thiết kế và sản xuất, giúp giảm thời gian và chi phí so với các phương pháp truyền thống. Điều này thúc đẩy sự đổi mới và sáng tạo, làm cho FDM trở thành một công cụ mạnh mẽ trong tay các kỹ sư, nhà thiết kế và doanh nghiệp. Qua đó, bài viết này sẽ đi sâu vào khám phá các khía cạnh của công nghệ in 3D FDM, từ chế tạo sợi in 3D đến quá trình in 3D FDM để hiểu rõ hơn về khả năng ứng dụng của công nghệ này.

Vật liệu được sử dụng cho công nghệ in 3D FDM trong báo cáo này là vật liệu composite trên nền polyamide 6 cốt sợi carbon, là một loại vật liệu có những đặc tính đặc biệt như độ bền cơ học cao, trọng lượng nhẹ, khả năng chống mài mòn và kháng hóa chất,... có các tính chất tốt hơn so với các vật liệu phổ biến hiện nay được sử dụng trên thị trường như sợi PLA, ABS hay là polyamide 6. Hiện nay, trên thị trường có nhiều sản phẩm thương mại hóa của vật liệu dạng này như sợi Onyx (Markforged) [8], Nylonx (Matterhacker) [9], CarbonX (3Dxtech) [10],... Tuy nhiên, ở Việt Nam hiện chưa có sản phẩm hay nghiên cứu nào liên quan đến vật liệu này. Sợi in 3D trên nền nhựa polyamide 6 và sợi cacbon (CF/PA6) trong báo cáo này được tác giả nghiên cứu tối ưu quy trình chế tạo và quy trình sử dụng để in chế tạo mẫu.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên vật liệu

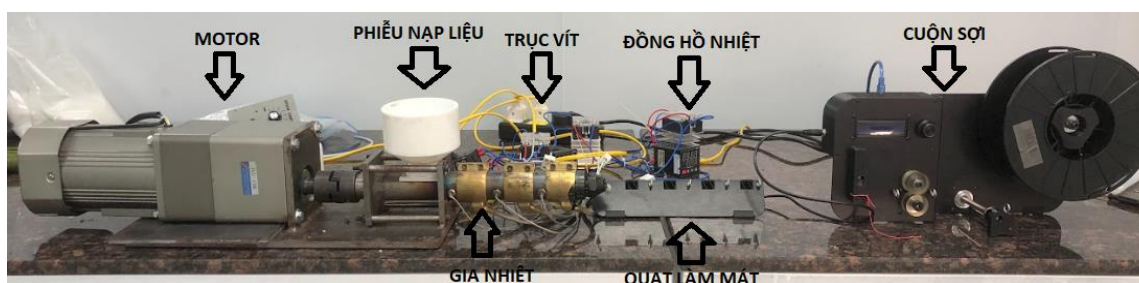
- Nhựa PA6 nguyên sinh của hãng Basf- Đức (mã hiệu B33L) nhiệt độ nóng chảy $220\text{ }^{\circ}\text{C}(\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C})$, tỷ trọng $1.12\text{ g/cm}^3 (\pm 0.02\text{ g/cm}^3)$, nhiệt độ phân hủy $438\text{ }^{\circ}\text{C} (\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C})$;

- Sợi carbon hãng Toray (Nhật Bản) có đường kính sợi 5 μ m, tỷ trọng là 1,75 g/cm³ (\pm 0.03 g/cm³) với hàm lượng carbon > 99%, chiều dài sợi < 300 μ m.

2.2. Chế tạo sợi in 3D

Vật liệu composit được chế tạo thông qua phương pháp trộn nóng chảy, trong đó, hỗn hợp PA6/sợi carbon (theo tỷ lệ thành phần khối lượng 75/25) được xác định chính xác và trộn cơ học bằng thiết bị trộn trước khi gia công với phụ gia. Mẫu được đưa vào thiết bị trộn 2 trục vít của hãng Coperion, với chuỗi cài đặt nhiệt độ được điều chỉnh theo thứ tự sau: 230, 240, 250, 260, 270, 270, 260, 250, 245, 240 °C. Tiếp theo, mẫu được làm mát và cắt thành các hạt. Những hạt này sau đó được bảo quản trong túi hút chân không để đảm bảo không bị ẩm. Quy trình này giúp duy trì chất lượng và tính đồng đều của vật liệu composit, đồng thời đảm bảo rằng các đặc tính cơ học và cấu trúc của nó được duy trì ổn định.

Hạt trước khi được tiến hành kéo sợi cần phải sấy ở 80 °C trong 4h để loại bỏ hơi ẩm. Sau đó được cuộn thành sợi có đường kính 1.75 mm bằng thiết bị kéo và cuộn (hình 1).



Hình 1. Thiết bị kéo sợi.

Sợi in 3D CF/PA6 được sử dụng để tối ưu các thông số đo trên thiết bị in 3D ender s1-pro với nhiệt độ in của đầu in có thể cho phép lên đến 300 °C.

Để khảo sát ảnh hưởng của các thông số đến cơ tính của sản phẩm, tác giả đã thử nghiệm trên sự thay đổi của các thông số sau:

- Mật độ điền đầy (Infill density): Thay đổi tỉ lệ điền đầy tương ứng với 3 giá trị: 10%, 30%, 50%.
- Kiểu điền đầy (Infill pattern): Thay đổi tương ứng với các kiểu đồng tâm (Concentric), Tam giác (Triangle).
- Số lớp thành in (Wall thickness): Thay đổi tương ứng với các giá trị là 2; 3; 4.
- Chiều cao lớp in (Layer height): 0,1 mm; 0,2 mm.

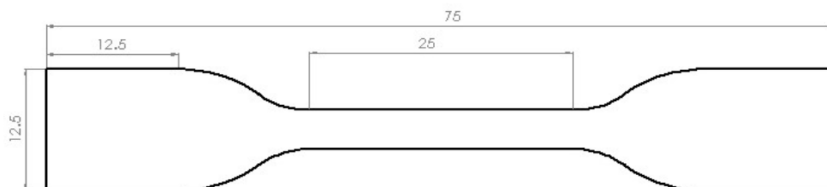
Bảng 1. Thông số các trường hợp thử nghiệm độ bền kéo.

Thông số	Giá trị thay đổi
Mật độ điền đầy (%)	10, 30, 50
Kiểu điền đầy	Đồng tâm, Tam giác
Độ dày thành	2, 3, 4
Chiều cao lớp in (mm)	0,1; 0,2

Các thông số trên được lấy từ các thông số của phần mềm Creality slicer trong quá trình xác lập thông số in. Tiến hành nghiên cứu đối với từng thông số, mỗi trường hợp được xác lập bằng cách thay đổi một thông số với một giá trị cụ thể theo giá trị thay đổi của bảng thông số. Các mức giá trị thay đổi của các thông số được lựa chọn dựa trên các kết quả nghiên cứu trong và ngoài

nước, tùy thuộc vào thông số kỹ thuật máy in, cũng như mức độ thông dụng và quan trọng của các thông số đó, ngoài ra còn một lý do khách quan nữa là thời gian nghiên cứu có hạn nên tác giả chỉ chọn các mức phổ biến nhất, các nghiên cứu sau có thể mở rộng phạm vi nghiên cứu để kết quả đánh giá chính xác và khách quan hơn.

Thông số mẫu in theo mẫu A1 tiêu chuẩn ISO 527 (hình 2).



Hình 2. Thông số mẫu in thử.

Mẫu sau khi in xong được xác định độ bền kéo bằng thiết bị kéo đứt (hình 3).



Hình 3. Thực nghiệm kéo sản phẩm sau in 3D.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Các tính chất cơ lý của vật liệu sợi in CF/PA6 như độ bền kéo đứt được xác định bằng thiết bị Zwick Z2.5 (Đức) theo tiêu chuẩn ASTM D638 và độ bền uốn được xác định bằng thiết bị Shimadzu theo tiêu chuẩn ASTM D790 tại viện Kỹ thuật Nhiệt đới.

Độ bền kéo của mẫu in 3D được xác định bằng thiết bị Tensile Technologies B theo tiêu chuẩn ISO 527 tại viện Hóa học – Vật liệu.

Chỉ số chảy được đo trên thiết bị MI4 (GOTTFFERT) tại viện Kỹ Thuật nhiệt đới theo tiêu chuẩn ISO 1133 theo phương pháp A với chế độ đo: nhiệt độ thay đổi từ 220 đến 290, 230 °C, quả cân 2,16 kg.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tối ưu hóa quá trình kéo sợi in 3D

3.1.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và chỉ số chảy đến quá trình tạo vật liệu CF/PA6

Chỉ số chảy có thể tác động đến khả năng phân tán và thấm ướt sợi carbon. Nếu chỉ số chảy quá thấp, nhựa có thể khó nóng chảy, làm giảm khả năng thấm ướt của sợi carbon. Ngược lại, chỉ số chảy cao có thể tạo ra chất nhựa quá lỏng, có thể dẫn đến sự di chuyển không mong muốn của sợi trong quá trình sản xuất và giảm khả năng kết dính giữa chất nhựa và sợi. Sự thấm ướt tốt là yếu tố quan trọng để tạo ra kết dính mạnh mẽ giữa sợi và nhựa, giảm nguy cơ xuất hiện các khe

nứt và tăng độ bền của vật liệu. Vật liệu composit với nền nhựa là nhựa PA6 với sợi gia cường cacbon có chỉ số chảy thay đổi lớn theo nhiệt độ gia công vật liệu. Chỉ số chảy của vật liệu được thử nghiệm ở các nhiệt độ lần lượt là từ 220 °C đến 290 °C với khối lượng quả nặng được cố định ở 2,16 kg (bảng 2).

Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ trộn nóng chảy đến độ bền kéo vật liệu.

STT	Nhiệt độ trộn, °C	Chỉ số chảy, g/10 phút	Độ bền kéo, MPa
1	220	2.6	56.3
2	230	3.2	59.4
3	240	4.7	62.9
4	250	8.7	70.7
5	260	13.5	72.2
6	270	14.2	83.8
7	280	15.1	76.3
8	290	16.3	67.7

Từ kết quả đo được cho thấy khi gia tăng nhiệt độ trộn nóng chảy, chỉ số chảy có sự gia tăng. Khi chỉ số chảy đạt giá trị 14.2 g/10 phút tương ứng với nhiệt độ trộn nóng chảy là 270 °C độ bền kéo của vật liệu tăng và đạt giá trị lớn nhất là 83.8 MPa, sau đó, khi nhiệt độ tăng lên độ bền kéo lại giảm xuống. Điều này có thể được giải thích bởi khi chỉ số chảy quá cao làm giảm khả năng kết dính của nhựa PA6 với sợi cacbon, ngoài ra quá trình nóng chảy rồi đóng rắn của vật liệu liên quan đến quá trình tái tạo cấu trúc vật liệu, với nhiệt độ 270 °C làm tăng khả năng thủy phân của polyamide, làm mạch phân tử ngắn lại dẫn đến tăng chỉ số chảy, đồng thời giảm tính chất cơ học.

3.1.2. Ảnh hưởng của tốc độ quay trục vít đến quá trình tạo vật liệu CF/PA6

Trên cơ sở nhiệt độ trộn là 270 °C đã được khảo sát ở phần trên, thay đổi tốc độ trộn trục vít để khảo sát ảnh hưởng thời gian trộn đến vật liệu (bảng 3).

Bảng 3. Ảnh hưởng của tốc độ trục vít đến tính chất vật liệu.

Tốc độ trục vít, vòng/phút	Độ bền kéo, MPa	Độ bền uốn, MPa
10	66.2	113.3
30	69.5	118.7
50	78.5	126.5
70	73.9	123.3
100	71.6	120.2

Tốc độ trục vít ảnh hưởng đến quá trình compound lưu lại trong xi lanh trước khi được trục vít đùn ra ngoài. Với tốc độ vòng quay của trục vít khác nhau kết quả cơ tính (độ bền kéo đứt và độ bền uốn) khác nhau. Với tốc độ trục vít từ 10-50 vòng/phút khi tăng tốc độ trục vít, tính chất cơ lý của vật liệu thu được tăng lên với tốc độ 50 vòng/phút tính chất cơ lý đạt giá trị cao nhất (độ bền kéo đứt là 78.5 MPa, độ bền uốn là 126.5 MPa), với tốc độ quay lớn hơn 50 vòng/phút, tính chất cơ lý của vật liệu suy giảm. Điều này có thể giải thích bởi với tốc độ 50 vòng/phút quá trình nóng chảy cùng thời gian nóng chảy của vật liệu trong xy lanh được tối ưu, với tốc độ nhỏ hơn 50 vòng/phút thì thời gian của vật liệu trong xy lanh lớn hơn dẫn đến quá trình phân hủy một phần nhựa nền PA6 dẫn đến làm suy giảm tính chất vật liệu, còn với tốc độ lớn hơn 50 vòng/phút thì thời gian gia nhiệt của vật liệu trong xy lanh còn thấp, dẫn đến quá trình phân tán sợi cacbon chưa được đồng đều nên làm suy giảm tính chất vật liệu.

3.1.3. Ảnh hưởng tốc độ kéo đến quá trình kéo sợi CF/PA6

Tốc độ kéo ảnh hưởng đến kích thước đường kính sợi, nếu tốc độ kéo quá chậm thì đường kính sợi sẽ lớn, tốc độ kéo quá cao thì đường kính sợi sẽ nhỏ. Với yêu cầu kích thước đường kính sợi

là 1.75 mm (phù hợp với kích thước tiêu chuẩn đối với thiết bị in 3D) thì với tốc độ 5 cm/s cho kết quả tối ưu (bảng 4).

Bảng 4. Ảnh hưởng của tốc độ kéo sợi đến kích thước và tính chất sợi.

Tốc độ kéo, cm/s	Đường kính sợi, mm
1	2,42
2	2,33
3	2,06
4	1,77
5	1,75

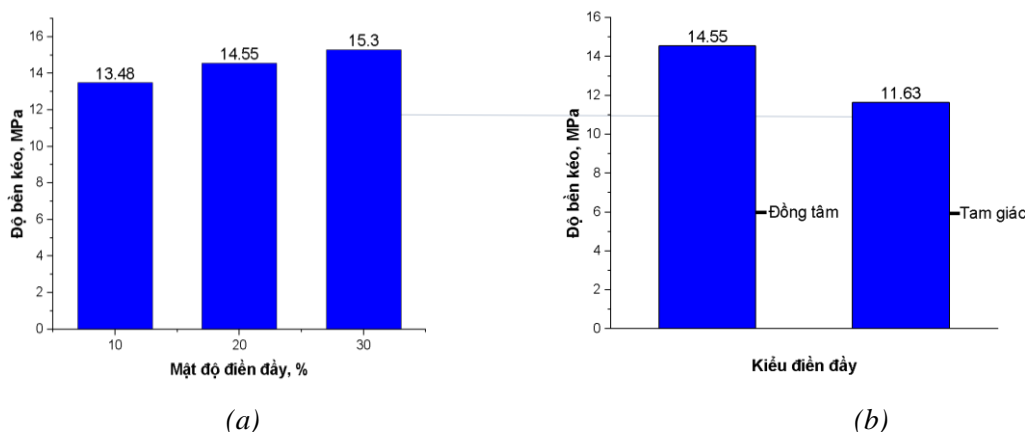
Với điều kiện thiết bị nghiên cứu, sợi in 3D CF/PA6 có tính chất tối ưu khi nhiệt độ trộn nóng chảy là 270 °C, tốc độ quay trục vít là 50 vòng/phút và tốc độ kéo sợi là 5 cm/s.

3.2. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình in đối với vật liệu CF/PA6

3.2.1. Ảnh hưởng của mật độ điền đầy và kiểu điền đầy

Trường hợp này thông số mật độ điền đầy được thay đổi trong khi giữ nguyên các giá trị còn lại.

Khi tăng mật độ điền đầy từ 10% - 30% - 50% cho thấy khả năng chịu ứng suất của mẫu thử cũng tăng theo tương ứng (hình 4a). Độ bền kéo của mẫu in tăng 8% khi mật độ điền đầy tăng từ 10% lên 30%, và tăng 5% khi mật độ điền đầy tăng từ 30% lên 50%. Khi chọn mật độ điền đầy, tùy theo độ bền mong muốn của sản phẩm mà ta có thể lựa chọn mật độ sao cho phù hợp, mật độ điền đầy càng lớn thì độ bền kéo của mẫu in càng lớn, tuy nhiên, việc chọn giá trị quá lớn cho thông số này sẽ ảnh hưởng rất lớn đến thời gian in cũng như vật liệu in.



Hình 4. Ảnh hưởng của mật độ điền đầy (a) và kiểu điền đầy (b) đến độ bền mẫu in.

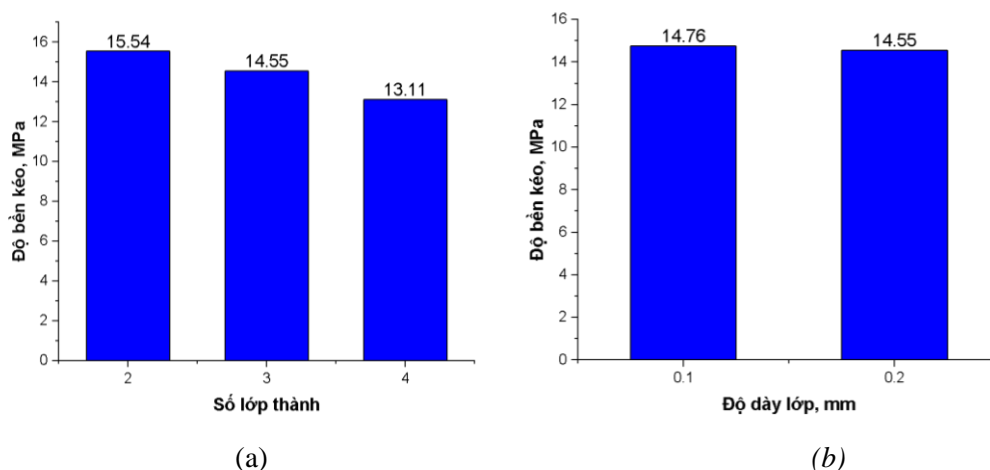
Trong phần mềm in Creality Slicer có nhiều kiểu điền đầy cho ta lựa chọn và việc lựa kiểu chạy cũng sẽ ảnh hưởng đến độ bền kéo của sản phẩm vì sẽ ảnh hưởng đến kết cấu bên trong của mẫu in. Việc thử nghiệm đối với các kiểu chạy khác nhau sẽ xác định được kiểu chạy nên được ưu tiên sử dụng để đảm bảo độ bền kéo của mẫu.

Khi thay đổi kiểu điền đầy và so sánh với trường hợp cơ bản là kiểu chạy concentric được mặc định trong phần mềm. Kiểu chạy đồng tâm tạo ra sản phẩm có độ bền kéo cao nhất 14,55 MPa, cao hơn 20% so với trường hợp tam giác (hình 4b).

3.2.2. Ảnh hưởng của số lớp thành và độ dày lớp in của mẫu

Số lớp thành thẳng đứng sẽ ảnh hưởng đến độ cứng vững của mẫu trong quá trình in và thậm chí sau khi quá trình in kết thúc, trường hợp của thông số này, ta tiến hành tăng dần số lớp thành mẫu in, cụ thể là: 2, 3 và 4 lớp để khảo sát ảnh hưởng của thông số này đối với độ bền của mẫu in.

Kết quả thu được, số lớp càng tăng độ bền kéo càng giảm, từ 2 lớp lên 3 lớp độ bền kéo giảm 6%, từ 3 lớp lên 4 lớp độ bền kéo giảm 9% (hình 5a). Khi chọn số lớp thành ta nên chọn số lớp thành vật in thấp nhất để chi tiết đạt độ bền kéo tốt hơn. Tuy nhiên, cần cân nhắc kỹ vì khi đó, mẫu in dễ sinh ra các khuyết tật như lỗ li ti hay độ mịn không cao gây ảnh hưởng đến thẩm mỹ của mẫu.



Hình 5. Ảnh hưởng của số lớp thành (a) và độ dày lớp in (b) đến độ bền mẫu in.

Ở trường hợp này, tiến hành thay đổi giá trị của độ dày lớp in và giữ nguyên các thông số còn lại theo mặc định của phần mềm để thấy được tác động của thông số này đối với độ bền kéo của mẫu in. Khi thay đổi độ dày lớp in ta thấy độ bền kéo giảm dần khi độ dày tăng từ 0,1 – 0,2 (mm) (hình 5b). Tuy nhiên chênh lệch trong trường hợp này là không lớn. Thông số này ảnh hưởng không đáng kể cho độ bền kéo của mẫu in. Khi chọn độ dày lớp in ta nên chọn thấp, bởi vì độ dày lớp in nhỏ, bề mặt mẫu in sẽ mịn hơn, khoảng hở giữa các lớp in sẽ nhỏ hơn, kết dính cao hơn, kết cấu vững do liên kết chặt hơn, tuy vậy, việc chọn thông số này thấp đồng nghĩa thời gian in lâu hơn.

Đối với quá trình in 3D sợi in CF/PA6 bằng phương pháp FDM, ta có thể rút ra mối liên hệ và tác động của từng thông số đối với độ bền kéo của sản phẩm in 3D. Một số thông số có ảnh hưởng, tác động rất lớn đối với độ bền kéo của sản phẩm, số còn lại có ảnh hưởng không đáng kể, cụ thể là: *Độ điền đầy*: độ điền đầy càng cao thì độ bền kéo càng cao, tuy nhiên, cần cân nhắc khi lựa chọn giá trị để đảm bảo thời gian in; *Kiểu điền đầy*: nên chọn là Conentric để chi tiết đạt độ bền kéo tốt hơn; *Số lớp thành*: nên chọn số lớp thành vật in thấp nhất để chi tiết đạt độ bền kéo tốt hơn. Tuy nhiên, cần cân nhắc kỹ vì khi đó, mẫu in dễ sinh ra các khuyết tật như lỗ li ti hay độ mịn không cao gây ảnh hưởng đến thẩm mỹ của mẫu; *Chiều cao lớp in*: nên chọn thấp để đảm bảo độ bền kéo cho sản phẩm là tốt nhất. Tuy nhiên, việc lựa chọn thông số tối ưu trong quá trình áp dụng thực tế cần quan tâm đến các yếu tố khác như: chi phí, thời gian in, tính chất mức độ quan trọng của sản phẩm để từ đó ta chọn thông số công nghệ cho phù hợp.

4. KẾT LUẬN

Đối với quá trình kéo sợi in 3D CF/PA6 sợi thành phẩm CF/PA6 có độ bền cơ tính tốt nhất khi các thông số công nghệ của quá trình chế tạo vật liệu: nhiệt độ trộn nóng chảy là 270 °C, tốc độ quay trục vít là 50 vòng/phút và tốc độ kéo sợi là 5 cm/s.

Đối với mẫu in 3D để trong điều kiện khảo sát, sản phẩm có độ bền kéo cao nhất khi mật độ điền đầy 50%, kiểu điền đầy đồng tâm, số lớp thành 2 và độ dày lớp 0,1 mm.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí đề tài Sở KH&CN Hà Nội “Nghiên cứu chế tạo vật liệu composit trên nền tổ hợp Polyamide 6, sợi cacbon và một số phụ gia ứng dụng trong công nghệ in 3D composit”, hợp đồng số 19/2021/HĐ-SKH&CN ngày 28 tháng 7 năm 2021.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dhinakaran, V., et al., "A review on recent advancements in fused deposition modeling", Materials today: proceedings, **27**, p. 752-756, (2020).
- [2]. Penumakala, P.K., J. Santo, and A. Thomas, "A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites", Composites Part B: Engineering, **201**, p. 108336, (2020).
- [3]. Winarso, R., et al., "Application of fused deposition modeling (FDM) on bone scaffold manufacturing process: A review", Heliyon, (2022).
- [4]. Melocchi, A., et al., "A graphical review on the escalation of fused deposition modeling (FDM) 3D printing in the pharmaceutical field", Journal of Pharmaceutical Sciences, **109**, 10, p. 2943-2957, (2020).
- [5]. Pu'ad, N.M., et al., "Review on the fabrication of fused deposition modelling (FDM) composite filament for biomedical applications", Materials Today: Proceedings, **29**, p. 228-232, (2020).
- [6]. Singh, R. and H.K. Garg, "Fused deposition modeling—a state of art review and future applications", Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, p. 1-20, (2016).
- [7]. Mustapha, K. and K.M. Metwalli, "A review of fused deposition modelling for 3D printing of smart polymeric materials and composites", European Polymer Journal, **156**, p. 110591, (2021).
- [8]. Onyx, <https://markforged.com/resources/blog/introducing-our-new-markforged-material-onyx>.
- [9]. Nylon X, <https://www.matterhackers.com/store/c/pro-series-filament/NylonX>.
- [10]. CarbonX, <https://www.3dxttech.com/product/carbonx-pa6-cf/>.

ABSTRACT

Research to optimize fiber manufacturing and 3D printing for CF/PA6 materials

Research and manufacturing of 3D printing fibers using polyamide 6 (PA6) polyamide and short carbon fibers are conducted, and these fibers are utilized for printing samples. The study involves the utilization of BASF's 6 polyamide and Toray's (Japan) carbon fiber with a length of less than 300 μ m to produce 3D printed fibers. The mechanical properties of various fiber processing conditions are assessed by measuring tensile strength and bending strength. The tensile strength of 3D printing fibers is determined by analyzing printing samples, which allows for the evaluation of mechanical properties under various printing settings. The optimal conditions for achieving the highest strength in CF/PA6 3D printing fibers are a melting temperature of 270 °C, a screw speed of 50 rpm, and a pull speed of 5 cm/s. The optimal conditions for 3D printing in survey settings involve achieving the maximum pull resistance by using an infill density of 50%, a concentric pattern, a wall thickness of 2 layers, and a layer height of 0.1 mm.

Keywords: 3D printing; Composite material; Polyamide 6; Carbon fiber.