

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ĐẦU IN DÙNG TRỤC VÍT ĐÙN NHỰA ỨNG DỤNG TRONG IN 3D FDM

DESIGN AND FABRICATION OF A SCREW-BASED PLASTIC EXTRUDER FOR FDM 3D PRINTING APPLICATIONS

Trần Minh Sang, Phạm Nguyễn Quốc Huy*, Trần Ngọc Hải, Nguyễn Phạm Thế Nhân, Hoàng Văn Thạnh

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: pnghuy@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 10/3/2024; Sửa bài / Revised: 27/4/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 20/5/2024)

Tóm tắt - Bài báo trình bày việc thiết kế và chế tạo một đầu in dựa trên cơ chế đùn nhựa bằng trục vít ứng dụng khi in 3D FDM. Thiết kế nhằm tăng áp lực đùn nhựa phù hợp cho việc in ra sợi nhựa có đường kính từ $0,1 \div 0,4\text{mm}$. Thiết kế sử dụng một động cơ bước giảm tốc nối với trục vít đùn. Ống dẫn nhựa được gia nhiệt bằng bộ gia nhiệt điện trở. Đầu in chế tạo khi thực nghiệm có khả năng đùn nhựa với đường kính lỗ thoát nhựa nhỏ đến $0,1\text{mm}$. Bài báo được trình bày từ lý thuyết tính toán đến chế tạo một cách chi tiết giúp các nhà thiết kế có thể áp dụng cho các ứng dụng khác có đùn vít đùn. Dựa vào đầu in đã thiết kế, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục xem xét ảnh hưởng của các yếu tố vận hành đầu in đến kích thước, độ ổn định sợi nhựa được in ra và thực nghiệm kết nối đầu in với cơ cấu di chuyển trên máy in 3D FDM trong thời gian tới.

Từ khóa - 3D FDM; đầu in 3D; vật liệu in 3D; trục vít đùn

1. Đặt vấn đề

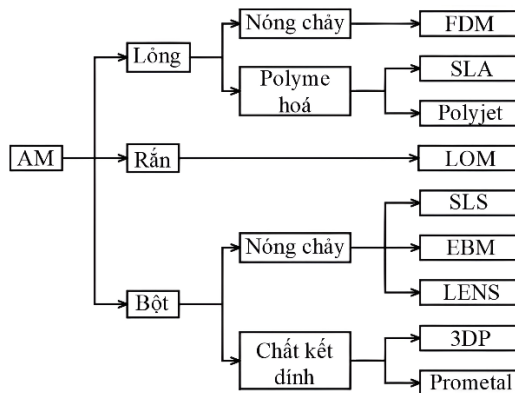
Công nghệ sản xuất bồi đắp (Additive Manufacturing - AM), còn được gọi là tạo mẫu nhanh hoặc in 3D, là công nghệ đột phá làm thay đổi cách chúng ta thiết kế và sản xuất các chi tiết. Nếu các phương pháp sản xuất truyền thống tạo hình chi tiết bằng cách cắt gọt vật liệu, đúc, cán, dập tạo hình..., thì công nghệ AM xây dựng các chi tiết thông qua sự bồi đắp của các lớp vật liệu lên nhau ứng dụng mô hình số hóa. Quá trình này mang tới sự tự do thiết kế, khả năng tùy chỉnh cao và tạo ra hình dạng chi tiết phức tạp mà phương pháp truyền thống khó đạt được, rút ngắn đáng kể thời gian thực hiện, tiết kiệm chi phí cho các bộ phận đơn lẻ [1]. Vật liệu sử dụng trong AM rất đa dạng: kim loại, nhựa, gốm, composite, vật liệu sinh học... [2]. Từ các nghiên cứu chuyên sâu trong hơn hai thập kỉ qua, công nghệ AM đã đạt được tiến bộ đáng kể trong việc phát triển và thương mại hóa các quy trình mới và cải tiến, cũng như nhiều ứng dụng thực tế trong ngành hàng không vũ trụ, ô tô, y tế, ngành công nghiệp sản xuất, thực phẩm, đến ngành thiết kế và nghệ thuật... Các ứng dụng đã nêu cũng như nhiều thông tin về các ứng dụng mới trong thời gian gần đây được đề cập trong nhiều bài báo [3-8].

Công nghệ AM được nghiên cứu và phát triển thương mại chia ra nhiều kỹ thuật sản xuất khác nhau, bao gồm: Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA), Selective Laser Sintering (SLS), Polyjet, Selective Laser Sintering (SLS), Laminated Object

Abstract - This article presents the design and fabrication of a 3D FDM extruder based on a plastic extrusion mechanism using an extruder screw. The design aims to increase the extrusion pressure to accommodate the printing of filament from 0.1 to 0.4mm. The design utilizes a stepper motor connected to a reduction gearbox, which drives to the extruder screw. The barrel is heated using a resistive heater. The designed extruder is capable of extruding plastic with a nozzle diameter as small as 0.1mm. The article provides a comprehensive and clear overview, from theoretical calculations to the fabrication process, allowing designers to adapt it for other screw-based extruder applications. Building upon this design, the research team will further investigate the impact of operational factors on the size and stability of the extruded plastic filament, as well as the experimental integration of the extruder with a 3D FDM system in future work.

Key words - 3D FDM; 3D extruder; 3D printing materials; extruder screw

Manufacturing (LOM), Electron Beam Melting (EBM), Laser Engineered Net Shaping (LENS), 3D printing (3DP) [9]. Hình 1 trình bày tổng quan về dạng vật liệu ban đầu, trạng thái vật liệu khi in và các kỹ thuật áp dụng tương ứng trong công nghệ AM.

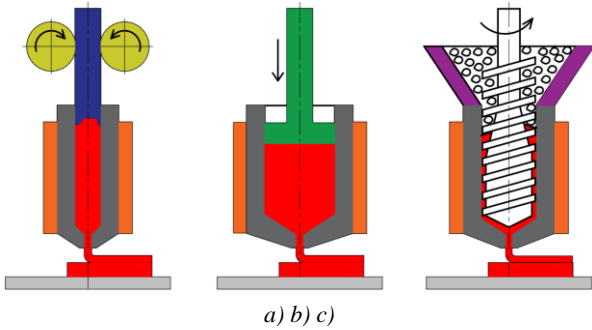


Hình 1. Các kỹ thuật trong công nghệ AM

Trong nghiên cứu hiện tại, tác giả tập trung vào các kỹ thuật AM dùng vật liệu nhựa để có thể ứng dụng in các chi tiết của hệ cơ khí có kích thước tổng thể nhỏ dưới $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}$. Các yêu cầu hướng đến trong thiết kế một đầu in nhựa thoả mãn yêu cầu đề ra là: ① dùng kỹ thuật in để tiếp cận và chi phí thấp, ② đường kính sợi nhựa in đạt đến $0,1\text{mm}$, ③ đầu in có khả năng pha trộn vật liệu nhựa với các vật liệu khác để cải thiện cơ tính sợi in.

¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Vietnam (Tran Minh Sang, Pham Nguyen Quoc Huy, Tran Ngọc Hải, Nguyen Pham The Nhan, Hoang Van Thanh)

Để đáp ứng các yêu cầu trên, khi phân tích các kỹ thuật in trong công nghệ AM dùng vật liệu nhựa có thể dùng các công nghệ sau: FDM, SLA, Polyjet, LOM, SLS, 3DP [4]. Ngoài ra, tham khảo các nhà cung cấp máy in 3D nhựa, dòng máy in 3D dùng kỹ thuật in FDM có giá thành thấp và cạnh tranh hơn so với các dòng máy khác do có cơ chế in đơn giản, vật liệu nhựa in rẻ, và sự phổ biến của nó trên thị trường [10, 11]. Vòi phun cho máy in 3D FDM thương mại thường dùng đường kính lỗ thoát nhựa từ 0,4mm trở lên để lắng đọng nhiều vật liệu và tăng năng suất in. Lỗ thoát nhựa nhỏ nhất được cung cấp trên thị trường là 0,1 mm. Tuy nhiên, khi dùng vòi 0,1mm thì nhựa hay bị tắc nghẽn trong lỗ thoát nhựa do áp suất đùn nhựa thấp, đặc biệt khi nhựa có độ dẻo cao hoặc vật liệu tổng hợp chứa các hạt phụ gia không phải nhựa. Do đó, cần áp suất đùn nhựa lớn khi in với đường kính lỗ thoát nhựa nhỏ. Để tạo áp suất đùn nhựa, kỹ thuật in 3D FDM có 3 phương pháp tạo áp suất đùn nhựa được trình bày trong Hình 2 [12]. Phương pháp dùng cặp bánh răng đang được dùng cho máy in FDM thương mại hiện nay; phương pháp dùng xi-lanh pit-tông đòi hỏi lực ép lớn và khả năng cấp liệu liên tục gặp khó khăn; phương pháp dùng trục vít có khả năng tạo áp suất đùn nhựa lớn, thích hợp với lỗ thoát nhựa có đường kính nhỏ. Do đó, phương pháp đùn nhựa bằng trục vít được lựa chọn cho thiết kế đầu in.



Hình 2. Sơ đồ các phương pháp đùn nhựa. a) đùn nhựa dùng cặp bánh răng, b) đùn nhựa dùng xi-lanh pit-tông ép, c) đùn nhựa dùng trục vít

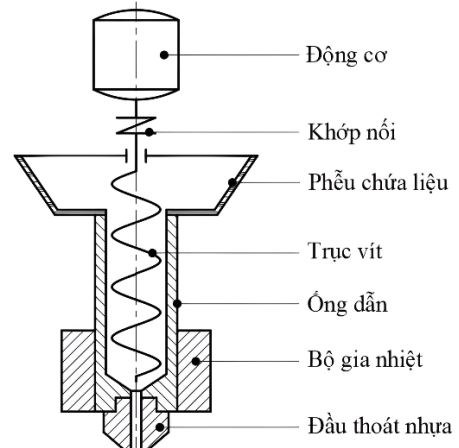
Ngoài 2 yêu cầu trên, trong hướng phát triển tiếp của nghiên cứu là đáp ứng được yêu cầu về tăng độ bền cơ học của sản phẩm in nhựa FDM, đặc biệt là các chi tiết nhỏ dễ bị biến dạng hoặc nứt vỡ dưới tác dụng của ngoại lực. Một số phương pháp để tăng bền có thể liệt kê như: lựa chọn vật liệu có độ bền cao hơn, tối ưu thông số quá trình in, xử lý chi tiết sau in, gia cố bằng cách trộn sợi (fiber) gần như sợi carbon, sợi thủy tinh với chất nền vật liệu nhựa in... [13-16]. Hiện tại, số lượng các nghiên cứu về chủ đề liên quan đến vật liệu tổng hợp gia cố bằng sợi carbon và thủy tinh trong in FDM ngày càng tăng, điều này cho thấy sự quan tâm và ứng dụng ngày càng lớn [17-19]. Dựa vào các phương pháp đùn nhựa (Hình 2), đùn nhựa dùng trục vít đùn là phương án thích hợp nhất cho các thử nghiệm pha trộn các sợi vào vật liệu nhựa để tăng cường độ bền cơ học cho các chi tiết.

Từ các phân tích đáp ứng yêu cầu thiết kế đề ra, nghiên cứu này hướng đến thiết kế và chế tạo một đầu in dùng trục vít để đùn nhựa áp dụng khi in FDM. Việc thiết kế hệ vít đùn đòi hỏi nhiều kiến thức chuyên sâu và là bài toán khó cho hầu hết các kỹ sư thiết kế. Bài báo trình bày trình tự thiết kế vít đùn với các công thức và thông số cụ thể và để tiếp cận đến người đọc.

2. Tính toán thiết kế đầu in

2.1. Sơ đồ và nguyên lý hoạt động đầu in nhựa

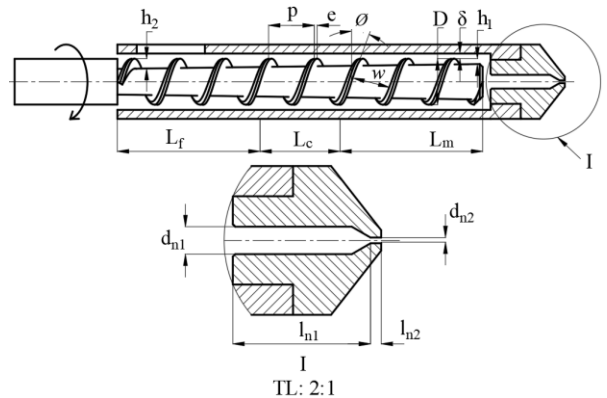
Trên Hình 3 thể hiện sơ đồ phác họa đầu in nhựa dùng vít đùn. Nguyên lý hoạt động được mô tả như sau: động cơ dẫn động được liên kết với trục vít đùn thông qua khớp nối; liệu được chứa trong phễu chứa liệu và được trục vít dẫn vào ống dẫn và bị nén ở đoạn cuối của vít đùn; cuối ống dẫn có gắn trở nhiệt để gia nhiệt ống dẫn đến nhiệt độ nóng chảy của vật liệu; nhựa lỏng tại đầu cuối ống dẫn dưới áp suất nén lớn sẽ được đùn ra khỏi đầu thoát nhựa; đường kính của sợi nhựa được quyết định bởi đường kính lỗ thoát nhựa.



Hình 3. Sơ đồ động đầu in nhựa

2.2. Mô hình tính toán đặc tính dòng chảy nhựa

Hình 4 thể hiện mô hình vít đùn được dùng trong tính toán dòng chảy nhựa, giả thuyết dòng chảy nhựa là lưu chất Newton và không nén được.



Hình 4. Sơ đồ mô hình tính toán đặc tính dòng chảy nhựa

Khi vít đùn hoạt động bên trong ống dẫn nó được chia làm 3 đoạn tương ứng với các độ dài khác nhau: vùng ăn nhựa (L_f), vùng nén (L_c), vùng nóng chảy (L_m). Áp suất dòng nhựa sẽ tăng dọc trục và đạt giá trị cao nhất tại đầu cuối của vùng nóng chảy, và vùng nóng chảy được sử dụng cho việc tính các đặc tính dòng chảy nhựa.

Lưu lượng dòng chảy nhựa (Q) là sự kết hợp giữa 3 dòng chảy: dòng chảy được mang đi trong khoan cánh trục vít và được gọi là dòng chảy kéo (Q_d), dòng chảy ngược bởi chênh lệch áp suất dọc trục (Q_p) và dòng chảy rò (Q_L) do khe hở δ giữa đỉnh cánh vít và ống dẫn. Q được tính theo công thức sau [20]:

$$Q = Q_d - Q_p - Q_L \quad (1)$$

$$Q_d = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 n h_1 \sin \phi \cos \phi \quad (2)$$

$$Q_P = \frac{\pi D h_1^3 \sin^2 \phi}{12 \eta} \cdot \frac{dP}{dL} \quad (3)$$

$$Q_L = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3}{12 \eta e} \tan \phi \cdot \frac{dP}{dL} \quad (4)$$

Gần đúng có thể coi biến thiên của áp suất dọc theo vị trí chiều dài ống dẫn nhựa là tuyến tính ($\frac{dP}{dL} = \frac{P}{L}$), mặt khác khe hở δ tại vùng cuối trục vít là rất bé nên có thể bỏ qua dòng rò ngược ($Q_L = 0$). Công thức dòng chảy (1) được viết lại cho trục vít đơn:

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 n h_1 \sin \phi \cos \phi - \frac{\pi D h_1^3 \sin^2 \phi}{12 \eta} \cdot \frac{P}{L} \quad (5)$$

Từ công thức (5), giả sử rằng trong trường hợp đầu cuối của ống dẫn là thông ($P = 0$) ta tính được Q_{max} , ta cũng tính được P_{max} nếu coi đầu cuối có áp rất lớn làm ngừng dòng chảy ($Q = 0$). Lúc này, Q_{max} và P_{max} được tính như sau:

$$Q_{max} = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 n h_1 \sin \phi \cos \phi \quad (6)$$

$$P_{max} = \frac{6 \pi D L n \eta}{h^2 \tan \phi} \quad (7)$$

Coi đường kính sợi nhựa khi thoát ra vòi in và hoá rắn có đường kính $d_{nh} = d_{n2}$; mặt khác tốc độ in tối đa thiết kế đạt được là v_{max} . Từ đó ta xác định được lưu lượng đường nhựa rắn:

$$Q_{nh} = v_{max} \cdot \pi \cdot d_{nh}^2 / 4 \quad (8)$$

Do khối lượng riêng của nhựa khi rắn lớn hơn khối lượng riêng của nhựa trạng thái lỏng, do đó lưu lượng nhựa lỏng cần đùn ra khỏi vòi được xác định [20]:

$$Q_{n2} = Q_{nh} \cdot \rho_s \setminus \rho_l \quad (9)$$

Do coi chất lưu là không nén được, ta có công thức cân bằng lưu lượng dòng chảy nhựa:

$$\frac{1}{2} \pi^2 D^2 n h_1 \sin \phi \cos \phi = Q_{n2} \quad (10)$$

Công thức (10) sẽ được sử dụng trong việc lựa chọn các thông số vít đùn, và tính toán gần đúng số vòng quay trục vít (n) cần thiết. Trong trường hợp có xét đến thất thoát do dòng áp suất (Q_P), ta tính áp suất tại số vòng quay trục vít (n) theo công thức (7), sau đó tính lại số vòng quay trục vít hiệu chỉnh (n_{hc}) theo công thức:

$$\frac{1}{2} \pi^2 D^2 n_{hc} h_1 \sin \phi \cos \phi = Q_{n2} + Q_P \quad (11)$$

2.3. Năng lượng cho đầu in

Phương trình cân bằng năng lượng của đầu in được thể hiện qua công thức sau [21, 22]:

$$Q_{\Delta H} = Q_{tv} + Q_h - Q_{con} - Q_{rad} \quad (12)$$

$$Q_{\Delta H} = G \cdot \Delta H = (Q_{n2} + Q_P) \rho_s \cdot \Delta H \quad (13)$$

$$Q_{conv} = h \cdot A \cdot (T - T_r) \quad (14)$$

$$Q_{rad} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot (T^4 - T_r^4) \quad (15)$$

Một số vật liệu dùng trong 3D FDM có sẵn trên thị trường như: PLA, ABS, PC, TPU, PA [23, 24]... Mức biến thiên enthalpy (ΔH) của các vật liệu trên phụ thuộc vào độ tinh khiết của nhựa trong quá trình sản xuất. Trong đó, PA₁₂ còn gọi là Nylon 12, là loại nhựa in mà khi chuyển hoá trạng thái từ dạng rắn ở nhiệt độ phòng sang dạng lỏng có enthalpy trung bình lớn nhất so với các vật liệu nhựa in

khác. Do đó, enthalpy của PA₁₂ được sử dụng tính toán năng lượng đầu in.

2.4. Tính mômen xoắn trục vít và công suất động cơ

Mômen xoắn trên trục vít được tính:

$$T_{tv} = 9,55 \cdot W_{tr} / n_{hc} \quad (16)$$

Vì trục động cơ được nối với trục vít qua khớp nối và hộp giảm tốc đi kèm nên:

$$W_{dc} = W_{tr} / \mu \quad (17)$$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính toán thông số động học vít đùn

Thông số lựa chọn các kích thước vít đùn, ống dẫn nhựa, đầu thoát nhựa được trình bày trong Bảng 1. Kết quả tính toán dòng chảy và động học vít đùn được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 1. Thông số lựa chọn thiết kế vít đùn

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
p	8	h_1	0,85	d_{n1}	2
e	1	h_2	1,7	d_{n2}	(0,1 ÷ 0,4)
\emptyset	20	L	64	l_{n1}	10,5
w	6,6	L_f	32	l_{n2}	2,5
D	7,9	L_c	16	v_{max}	400
δ	0,05	L_m	16	η	420 [20]
ρ_s	1140 [20]	ρ_l	790 [20]	-	-

Bảng 2. Kết quả tính toán động học vít đùn

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Q_{nh}	50,24	n	0,863	Q_P	1,21
Q_{n2}	72,5	P	218928,8	n_{hc}	0,877

3.2. Kết quả lựa chọn thiết bị gia nhiệt và động cơ

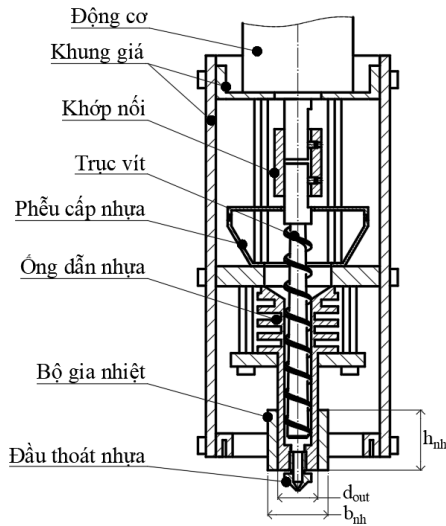
Khi có kết quả tính toán động học vít đùn, bản vẽ 2D của đầu in được xây dựng (Hình 5). Dựa vào bản thiết kế, ta xác định diện tích phần thoát nhiệt để tính năng lượng nhiệt cần thiết cấp cho đầu in. Trong đó, khi tham khảo khoảng nhiệt độ in phù hợp cho từng loại vật liệu, thấy rằng vật liệu PA₁₂ yêu cầu nhiệt độ in cao đạt đến 250°C, nhiệt độ này được sử dụng trong tính chọn thiết bị gia nhiệt [25, 26]. Giả sử lượng nhiệt truyền toàn bộ từ bộ gia nhiệt sang ống dẫn nhựa và lượng nhiệt thất thoát do dẫn nhiệt được bỏ qua. Bảng 3 trình bày tất cả các thông số được sử dụng trong tính toán năng lượng nhiệt cần cung cấp cho đầu in. Bảng 4 trình bày kết quả tính chọn bộ gia nhiệt và động cơ.

Bảng 3. Thông số tính toán cấp nhiệt đầu in

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
d_{out}	12	$\Delta H_{PA_{12}}$	245 [24]	T_r	298,15
h_{nh}	20	G	$8,27 \cdot 10^{-5}$	h	$59 \div 64$ [27]
b_{nh}	18	A	$1,76 \cdot 10^{-3}$	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$
L_{nh}	26	T	523,15	ε	$0,2 \div 0,31$ [23]

Bảng 4. Kết quả tính chọn nhiệt thiết bị và động cơ

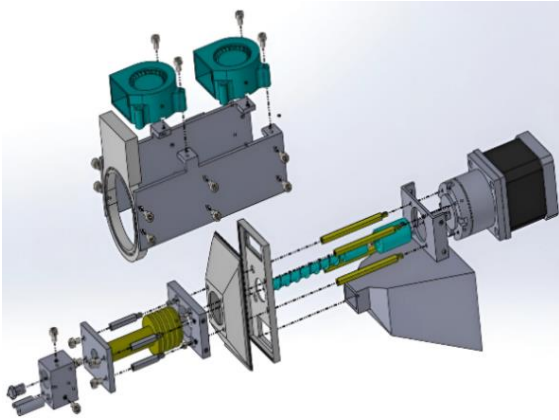
Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
$Q_{\Delta H}$	20,25	Q_{conv}	25,34	Q_{rad}	2,07
$Q_{tv} + Q_h$	47,67	$Q_{tv} = W_{tr}$	20	Q_h	27,67
T_{tv}	0,22	μ	0,7	W_{dc}	28,57



Hình 5. Kết cấu đầu in nhựa

Động cơ được nối với trục vít thông qua khớp nối, nên mômen xoắn trục ra động cơ bằng mômen xoắn trục vít. Ta chọn động cơ bước NEMA 17, model: 17HS19-1684S-PG14 kèm hộp giảm tốc với tỷ số truyền 13,7 và mômen xoắn 0,52Nm khi chưa có hộp giảm tốc [28]. Từ yêu cầu công suất nhiệt của thiết bị gia nhiệt, ta chọn thanh gia nhiệt điện trở dùng dòng điện áp 220V và công suất 80W. Giải thích thêm rằng, để đảm bảo đầu in có kết cấu nhỏ gọn thì nên lựa chọn công suất trục vít hợp lý để chọn được động cơ bước có kích thước nhỏ và mô men xoắn vừa phải. Trong khi đó, ta có thể nâng cao công suất gia nhiệt vì bộ gia nhiệt điện trở có kết cấu gọn và dễ dàng lựa chọn được loại có công suất thoải mái.

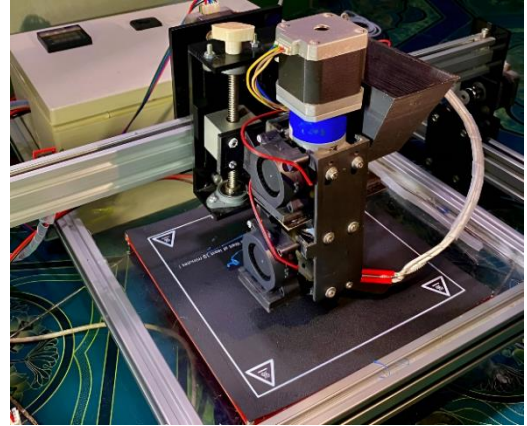
3.3. Kết quả chế tạo đầu in



Hình 6. Bản vẽ phân rã thiết bị đầu in

Bản thiết kế tổng thể được thể hiện trong Hình 6, và thiết kế này được tham khảo từ thiết kế trước đây [29, 30]. Một số bộ phận chính được liệt kê như sau: bộ gia nhiệt và các tấm giăng giá khung được làm từ hợp kim nhôm 6061, các tấm khung được làm từ các vật liệu nhựa phủ cách điện với khoảng chịu nhiệt từ $320 \div 350^{\circ}\text{C}$, vít đùn và ống dẫn nhựa làm từ thép không gỉ SUS 304, phễu chứa liệu được in 3D từ vật liệu PLA, đầu thoát nhựa vật liệu đồng và được mua theo tiêu chuẩn các đầu ra nhựa được sử dụng trên các đầu in đùn nhựa bằng bánh răng có sẵn trên thị trường. Hình 7 là hình ảnh đầu in sau khi chế tạo được lắp ráp lên cơ cấu vận hành di chuyển 2 trục XY để

kiểm tra kích thước sợi nhựa in. Hình 8 thể hiện sợi nhựa thoát ra khỏi đầu thoát nhựa có đường kính 0,4 mm số vòng quay động cơ là 15 vg/ph.



Hình 7. Đầu in gắn trên cơ cấu di chuyển 3D



Hình 8. Dòng nhựa in khi dùng $d_{n2} = 0,4 \text{ mm}$

3.4. Kết quả khảo sát đường kính sợi nhựa in

Để khảo sát khả năng đùn nhựa của đầu in thiết kế, đầu thoát nhựa có đường kính: 0,4; 0,3; 0,2 và 0,1 lần lượt được thử nghiệm. Nhựa PLA được sử dụng trong thực nghiệm này có nhiệt độ in được yêu cầu trong khoảng $190 \div 230^{\circ}\text{C}$. Hình 9 trình bày quá trình đo xác nhận đường kính sợi nhựa khi in với các đường kính thoát nhựa khác nhau. Kết quả cho thấy, đường kính trung bình sợi nhựa tương ứng với đường kính lỗ thoát nhựa với sai số $\pm 0,01 \text{ mm}$.



Hình 9. Đo đường kính sợi nhựa in

Bảng 5 trình bày cài đặt đầu in để đạt được chất lượng sợi nhựa dựa trên tiêu chí đánh giá đạt độ bóng và độ ổn định ra nhựa khi in vật PLA. Trong đó, chỉ tiêu độ bóng

quang học được quan sát bằng mắt thường, khi độ mịn bề mặt tốt thì sợi nhựa có độ phản quang tốt. Kết quả cho thấy sợi nhựa có độ bóng quang học tốt, khả năng ra nhựa liên tục và không có sự đứt quãng xảy ra trong quá trình thử nghiệm. Kết quả cho thấy, đầu in thỏa yêu cầu thiết kế ban đầu đề ra khi có thể in được sợi nhựa có đường kính nhỏ đến 0,1mm với sai số $\pm 0,01$ mm. Đầu in được cấp nhựa dưới dạng hạt, liệu được cuốn vào ống dẫn nhựa bằng cơ cấu trục vít nên ta có thể pha trộn nhiều loại vật liệu gia cố để tăng bền cho chi tiết in. Các thực nghiệm xa hơn về ảnh hưởng của thông số vận hành đầu in đến chất lượng sợi nhựa, cũng như khả năng cải thiện cơ tính sản phẩm bằng cách pha trộn các vật liệu khác nhau sẽ được thực hiện trong nghiên cứu tiếp theo.

Bảng 5. Thông số cài đặt nhiệt độ đầu in, tốc độ in và đánh giá sơ bộ sợi nhựa

Đường kính d_{n2}	Nhiệt độ in ($^{\circ}\text{C}$)	Vận tốc động cơ (vg/ph)	Độ bóng sợi nhựa	Khả năng ra nhựa
0,4	210	15	Tốt	Đều
0,3	210	15	Tốt	Đều
0,2	210	10	Tốt	Đều
0,1	210	7	Tốt	Đều

4. Kết luận

Nghiên cứu trình bày quá trình tính toán thiết kế đầu in nhựa dùng trục vít đùn ứng dụng trong in 3D FDM vật liệu nhựa. Trong đó, các công thức tính toán chi tiết và số liệu được trình bày cụ thể, là tài liệu tham khảo hữu ích cho các kỹ sư trong quá trình thiết kế tính toán trục vít đùn cho các ứng dụng của mình. Đầu đùn nhựa được chế tạo và thực nghiệm khả năng đùn nhựa với các đường kính lỗ thoát nhựa khác nhau. Kết quả cho thấy, đầu in nhựa chế tạo có khả năng in được sợi nhựa có kích thước nhỏ tới 0,1mm với độ ra nhựa ổn định tốt, và hoàn toàn có thể ứng dụng khi in các chi tiết có kích thước nhỏ. Hướng phát triển của nghiên cứu là thực nghiệm ảnh hưởng của nhiệt độ in, tốc độ trục vít, khoảng cách giữa đầu ra lỗ thoát nhựa và lớp nhựa in, và tốc độ in đến chất lượng của chi tiết in. Bên cạnh đó cần tiến hành hiệu chỉnh firmware để kết nối đầu in trên một máy in 3D FDM và tiến hành in với sự hỗ trợ của các phần mềm in thông dụng.

Lời cảm ơn: Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số T2023-02-21. Tác giả cũng gửi lời cảm ơn đến các sinh viên Khoa Cơ khí: Phạm Minh Hiếu và Nguyễn Ngọc Hưng khoá 2019 đã hỗ trợ chế tạo thiết bị.

Danh mục các ký hiệu và từ viết tắt

p	Bước vít đùn, mm
e	Độ dày cánh vít đùn, mm
ϕ	Góc xoắn vít đùn, $^{\circ}$
w	Độ rộng giữa 2 cánh vít liền kề, mm
D	Đường kính ngoài vít đùn, mm
h_1	Độ cao cánh vít tại đầu cuối, mm
h_2	Độ cao cánh vít tại đầu vào, mm
δ	Khe hở cách vít và ống dẫn, mm
d_{n1}, d_{n2}	Đường kính lỗ thoát nhựa, mm

l_{n1}, l_{n2}	Chiều dài đoạn thoát nhựa, mm
l_f	Chiều dài đoạn ăn hạt, mm
l_c	Chiều dài đoạn nén, mm
l_m	Chiều dài đoạn nóng chảy, mm
L	Chiều dài trục vít, mm
n	Số vòng quay trục vít, $vòng/phút$
n_{hc}	Số vòng quay trục vít hiệu chỉnh, $vòng/phút$
Q_d	Lưu lượng dòng chảy kéo, mm^3/s
Q_p	Lưu lượng dòng chảy ngược bởi chênh áp, mm^3/s
Q_L	Lưu lượng dòng chảy ngược bởi khe hở δ giữa trục vít đùn và ống dẫn, mm^3/s
Q	Lưu lượng dòng chảy, mm^3/s
Q_{max}	Lưu lượng lớn nhất, mm^3/s
Q_{nh}	Lưu lượng liệu rắn khi thoát ra khỏi đầu in, mm^3/s
Q_{n2}	Lưu lượng liệu lỏng qua đoạn l_{n2} , mm^3/s
P	Áp suất dòng chảy, N/m^2
P_{max}	Áp suất lớn nhất, N/m^2
η	Độ nhớt động học vật liệu, Ns/m^2
v_{max}	Vận tốc in lớn nhất, mm/s
v_{out_n2}	Vận tốc dòng nhựa qua đoạn l_{n2} , mm/s
$Q_{\Delta H}$	Năng lượng hoá lỏng nhựa, W
Q_{tv}	Năng lượng cơ học trục vít, W
Q_h	Năng lượng thiết bị gia nhiệt, W
Q_{conv}	Năng lượng mất do đối lưu, W
Q_{rad}	Năng lượng mất do bức xạ, W
G	Lưu lượng khối, kg/s
ΔH	Biến thiên enthalpy, J/kg
μ	Hiệu suất trục vít đùn
ρ_s	Khối lượng riêng trạng thái rắn, kg/m^3
ρ_l	Khối lượng riêng trạng thái lỏng, kg/m^3
h	Hệ số đối lưu, $W/(m^2 \cdot ^{\circ}K)$
σ	Số Stephan-Boltzmann, $W/(m^2 \cdot ^{\circ}K^4)$
ε	Độ phát xạ
A	Diện tích tiếp xúc bề mặt và không khí, m^2
T	Nhiệt độ gia nhiệt cho vật liệu, $^{\circ}K$
T_r	Nhiệt độ phòng, $^{\circ}K$
W_{tv}	Công suất trục vít, W
T_{tv}	Mômen xoắn trục vít, Nm
d_{out}	Đường kính ngoài ống dẫn nhựa, mm
b_{nh}	Bề rộng bộ gia nhiệt, mm
h_{nh}	Chiều cao bộ gia nhiệt, mm
L_{nh}	Chiều dài bộ gia nhiệt, mm
A	Diện tích thoát nhiệt của bộ gia nhiệt, m^2
PLA	Polylactic acid
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene
PC	Polycarbonate
TPU	Thermoplastic polyurethane
PA	Polyamide
AM	Additive manufacturing
FDM	Fused deposition modelling

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I. G. I. Gibson, *Additive manufacturing technologies 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Springer, 2015.
- [2] D. Bourell *et al.*, "Materials for additive manufacturing", *CIRP*

- annals*, vol. 66, no. 2, pp. 659-681, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.009>
- [3] Y. Huang, M. C. Leu, J. Mazumder, and A. Donmez, "Additive manufacturing: current state, future potential, gaps and needs, and recommendations", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 137, no.1, pp. 014001, 2015. <https://doi.org/10.1115/1.4028725>
- [4] N. Guo and M. C. Leu, "Additive manufacturing: technology, applications and research needs", *Frontiers of mechanical engineering*, vol. 8, pp. 215-243, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11465-013-0248-8>
- [5] B. Blakey-Milner *et al.*, "Metal additive manufacturing in aerospace: A review", *Materials & Design*, vol. 209, pp. 110008, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110008>
- [6] J. C. Vasco, "Additive manufacturing for the automotive industry", *Handbooks in Additive Manufacturing*, pp. 505-530, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818411-0.00010-0>
- [7] S. Singh and S. Ramakrishna, "Biomedical applications of additive manufacturing: present and future", *Current opinion in biomedical engineering*, vol. 2, pp. 105-115, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2017.05.006>
- [8] J. I. Lipton, M. Cutler, F. Nigl, D. Cohen, and H. Lipson, "Additive manufacturing for the food industry", *Trends in food science & technology*, vol. 43, no. 1, pp. 114-123, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.004>
- [9] K. V. Wong and A. Hernandez, "A review of additive manufacturing", international scholarly research notices, 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- [10] MatterHackers, "3D Printers", *MatterHackers.com*, Oct. 21, 2022. [Online]. Available: <https://www.matterhackers.com/store/c/3d-printers/fdm-3d-printers> [Accessed Feb. 25, 2024].
- [11] 3D Printers online store, "I3 3D PRINTERS", *3dprintersonlinestore.com*, May 8, 2023. [Online]. Available: <https://www.3dprintersonlinestore.com/i3-3d-printers> [Accessed Feb. 25, 2024].
- [12] K. Rane and M. Strano, "A comprehensive review of extrusion-based additive manufacturing processes for rapid production of metallic and ceramic parts", *Advances in Manufacturing*, vol. 7, pp. 155-173, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40436-019-00253-6>
- [13] R. Singh, S. Singh, and K. Mankotia, "Development of ABS based wire as feedstock filament of FDM for industrial applications", *Rapid Prototyping Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 300-310, 2016. <https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2014-0086>
- [14] J. M. Chacón, M. A. Caminero, E. García-Plaza, and P. J. Núñez, "Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection", *Materials & Design*, vol. 124, pp. 143-157, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065>
- [15] M. R. Khosravani, M. R. Ayatollahi, and T. Reinicke, "Effects of post-processing techniques on the mechanical characterization of additively manufactured parts", *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 107, pp. 98-114, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.10.01>
- [16] P. Wang *et al.*, "Preparation of short CF/GF reinforced PEEK composite filaments and their comprehensive properties evaluation for FDM-3D printing", *Composites Part B: Engineering*, vol. 198, pp. 108175, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108175>
- [17] S. Wickramasinghe, T. Do, and P. Tran, "FDM-based 3D printing of polymer and associated composite: A review on mechanical properties, defects and treatments", *Polymers*, vol. 12, no. 7, pp. 1529, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12071529>
- [18] J. Bochnia, M. Blasiak, and T. Kozior, "A comparative study of the mechanical properties of FDM 3D prints made of PLA and carbon fiber-reinforced PLA for thin-walled applications", *Materials*, vol. 14, no. 22, pp. 7062, 2021. <https://doi.org/10.3390/ma14227062>
- [19] V. Tambrallimath *et al.*, "Mechanical properties of PC-ABS-based graphene-reinforced polymer nanocomposites fabricated by FDM process", *Polymers*, vol. 13, no. 17, pp. 2951, 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13172951>
- [20] R. J. Crawford and P. J. Martin, *Plastics engineering*. Butterworth-Heinemann, 2020.
- [21] C. I. Chung, *Extrusion of polymers: theory & practice*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2019.
- [22] J. H. Lienhard, *A heat transfer textbook*. Phlogistron, 2005.
- [23] A. Bejan and A. D. Kraus, *Heat transfer handbook*. John Wiley & Sons, 2003.
- [24] R. L. Blaine, "Thermal applications note", *Polymer Heats of Fusion*, 2002.
- [25] Matweb, "Overview of materials for Nylon 12", *matweb.com*, Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0e37a459c4eb452faa9d92659f9a0ccc> [Accessed Feb. 27, 2024].
- [26] L. Shenzhen Esun Industrial Co., "Filaments", *Esun3d.com*, Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.esun3d.com/filaments/> [Accessed Feb. 27, 2024].
- [27] D. K. Bayoro, H. Groepenhoff, D. Hoolihan, E. A. Rose, M. J. Pedro, and A. D. Waldmann, "Impact of parylene coating on heating performance of intravenous fluid warmer: a bench study". *BMC anesthesiology*, vol. 22, no. 1, pp. 44, 2022. <https://doi.org/10.1186/s12871-022-01585-w>
- [28] Stepperonline, "Nema 17 Stepper Motor", *omc-stepperonline.com*, Jan. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.omc-stepperonline.com/nema-17-stepper-motor-bipolar-l-48mm-w-gear-ratio-14-1-planetary-gearbox-17hs19-1684s-pg14?search=17HS19-1684S-PG14> [Accessed Feb. 27, 2024].
- [29] J. M. J. Netto, H. T. Idogava, L. E. F. Santos, Z. d. C. Silveira, P. Romio, and J. L. Alves, "Screw-assisted 3D printing with granulated materials: A systematic review", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 115, pp. 2711-2727, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07365-z>
- [30] J. Boniatti *et al.*, "Direct powder extrusion 3d printing of praziquantel to overcome neglected disease formulation challenges in paediatric populations", *Pharmaceutics*, vol. 13, no. 8, pp. 1114, 2021. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13081114>