

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MÁY IN 3D RESIN THEO CÔNG NGHỆ LCD

STUDY ON DESIGN AND FABRICATION OF A RESIN 3D PRINTER USING LCD TECHNOLOGY

Nguyễn Anh Tuấn¹, Nguyễn Quang Dũng², Nguyễn Văn Khiết¹

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế – Kỹ thuật Công nghiệp

²Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày quá trình thiết kế, chế tạo và thực nghiệm một máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD. Trên cơ sở kế thừa các nghiên cứu trước đây, nhóm tác giả đã nghiên cứu thiết kế chế tạo một máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD, với mong muốn làm chủ công nghệ của máy để phục vụ công tác đào tạo, nghiên cứu kỹ thuật và chế tạo mô hình kỹ thuật số. Ngoài ra, các thực nghiệm cũng đã được tiến hành để khảo sát đánh giá ảnh hưởng của các thông số in như chiều dày lớp in, góc tạo mẫu và thời gian phơi sáng đến độ nhám bề mặt sản phẩm. Kết quả được xử lý bằng hồi quy thực nghiệm, từ đó xác lập được mô hình toán học thể hiện ảnh hưởng của các thông số trên đến chất lượng bề mặt.

Từ khóa: Máy in 3D; Resin; LCD.

ABSTRACT

This study presents the design, fabrication, and experimental evaluation of a 3D printer using LCD-based resin technology. Based on inheriting previous research, the authors have researched, designed and manufactured a resin 3D printer to support educational and research activities. Experiments examined the effects of printing parameters such as layer thickness, model angle, and exposure time on surface roughness. Regression analysis established a mathematical model correlating input parameters to surface quality.

Keywords: 3D printer; Resin; LCD.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ in 3D ngày càng được ứng dụng phổ biến trong các lĩnh vực kỹ thuật, sản xuất và giáo dục. Trong số đó, công nghệ in resin sử dụng màn hình LCD nổi bật bởi độ phân giải cao, chi phí thấp và phù hợp cho mục

tiêu đào tạo và tạo mẫu nhanh. Một số công trình nghiên cứu đã được các hãng chế tạo máy trên thế giới ứng dụng để chế tạo thành các sản phẩm thương mại [1-5]. Tuy nhiên, các công bố của các hãng thường mang tính chất giới thiệu, không có tài liệu thiết kế và công nghệ cụ thể nên khó áp dụng.



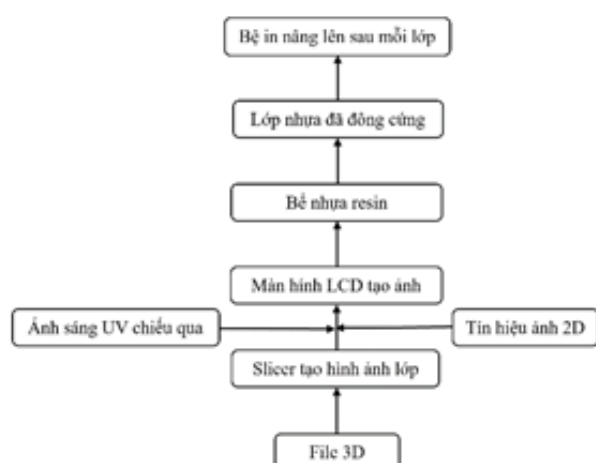
2. NỘI DUNG

Màn hình LCD (Liquid Crystal Display) có cấu tạo như thể hiện trên hình 1, bao gồm nhiều lớp vật liệu như sau:

- Bộ lọc màu: Tinh thể lỏng chỉ có thể điều chỉnh độ sáng, nên màn hình LCD cần bộ lọc màu để tạo ra các màu sắc khác nhau bằng cách thay đổi cách ánh sáng đi qua.

ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)

từ 25-100 micromet), cho phép resin mới chảy vào khoảng trống để tiếp tục quá trình tạo lớp tiếp theo. Quá trình này được lặp lại nhiều lần cho đến khi toàn bộ mô hình 3D được hoàn thành. Sau khi in xong, sản phẩm sẽ được lấy ra khỏi bàn nâng, làm sạch bằng dung môi như isopropyl alcohol, và thường cần được xử lý hậu kỳ bằng ánh sáng UV để hoàn tất quá trình đông cứng.



Hình 2. Sơ đồ quy trình in 3D resin sử dụng công nghệ LCD

2.2. Thiết kế kết cấu máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD

Sau khi đã xác định được nguyên lý hoạt động của máy in 3D resin công nghệ LCD, bước tiếp theo trong quá trình thiết kế là xác định các cụm chức năng chính của hệ thống. Việc phân tích và lựa chọn các cụm chức năng phù hợp là cơ sở quan trọng để đề xuất phương án thiết kế tối ưu, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật, tính ổn định, hiệu quả và khả năng chế tạo.

+ Lựa chọn nguồn sáng UV: Trong máy in 3D resin theo công nghệ LCD, ánh sáng UV là yếu tố kích hoạt phản ứng quang trùng hợp của nhựa cảm quang (resin), giúp tạo thành các

lớp vật liệu rắn từ chất lỏng. Do đó, lựa chọn loại đèn UV phù hợp về bước sóng, cường độ và khả năng phân bố ánh sáng là yếu tố then chốt để đảm bảo chất lượng bản in, độ bền của thiết bị và tốc độ in. Trên cơ sở phân tích ba phương án nguồn sáng UV phổ biến hiện nay bao gồm LED UV dạng Matrix, LED UV dạng COB và đèn UV Halogen, tác giả đã lựa chọn sử dụng đèn LED UV dạng Matrix có bước sóng 405 nm, làm nguồn sáng chính cho máy in 3D công nghệ LCD.

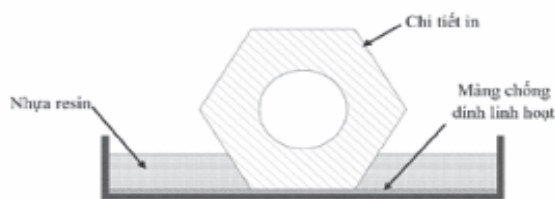
+ Lựa chọn màn hình LCD: Trong công nghệ in 3D resin, màn hình LCD đóng vai trò như một mặt nạ quang động (dynamic mask), kiểm soát khu vực ánh sáng UV được truyền qua để làm cứng nhựa cảm quang tại những vị trí mong muốn. Việc lựa chọn màn hình phù hợp không chỉ ảnh hưởng đến độ chính xác và độ chi tiết của sản phẩm in, mà còn quyết định đến tốc độ in, độ bền của hệ thống, và khả năng tương thích với nguồn sáng. Trong nghiên cứu này lựa chọn sử dụng màn hình LCD monochrome 7K để bảo đảm sự cân bằng giữa hiệu suất quang học, chất lượng in và độ bền trong quá trình sử dụng.

+ Lựa chọn cơ cấu thay đổi mức nhựa: Trong quá trình in 3D resin, lượng nhựa resin trong bể chứa sẽ liên tục giảm do sự tiêu thụ nhựa trong quá trình tạo lớp. Việc duy trì mức resin ổn định là rất quan trọng để đảm bảo độ chính xác lớp in, độ bám dính, cũng như hạn chế lỗi in. Trong ba phương án nạp nhựa resin trong quá trình in phổ biến hiện nay gồm bơm và cảm biến, bình phụ nổi thông, nạp resin thủ công. Mỗi phương pháp có những ưu nhược điểm riêng, phù hợp với từng yêu cầu và đặc điểm sản xuất khác nhau. Trong nghiên cứu này lựa chọn phương án bơm và cảm biến giúp tiết kiệm thời gian và nâng cao hiệu quả sản xuất, đồng thời giúp hệ thống in 3D hoạt động



ổn định, giảm thiểu rủi ro trong quá trình in, đặc biệt là trong các ứng dụng sản xuất quy mô lớn và liên tục.

+ Cơ cấu chống dính, chân không và bể in: Trong quá trình in 3D bằng công nghệ LCD, sau khi mỗi lớp resin được chiếu sáng và đông đặc, bề mặt xây dựng cần tách lớp in ra khỏi màn chiếu để tiếp tục in lớp kế tiếp. Tuy nhiên, do đặc tính nhớt và khả năng chảy loãng của resin, đồng thời do sự tiếp xúc gần như kín giữa lớp in và màng phim/màn chiếu, nên hai hiện tượng bị dính và tạo chân không xảy ra cùng lúc. Hai hiện tượng này cộng hưởng với nhau, gây lực kéo rất lớn lên mô hình in. Nếu không được kiểm soát, chúng sẽ dẫn đến: Lỗi tách lớp (delamination); Gãy lớp in; Mô hình bị biến dạng; Tăng lực kéo lên các bộ phận cơ khí, giảm tuổi thọ thiết bị. Dựa trên tiêu chí đơn giản hóa kết cấu cơ khí, dễ chế tạo và vận hành, giảm chi phí đầu tư ban đầu, mà vẫn đảm bảo hiệu quả giảm lực dính và hạn chế lực chân không ở mức hợp lý, ở đây lựa chọn phương án sử dụng màng FEP kết hợp với bể in phẳng, không trang bị cơ cấu nghiêng như thể hiện trên hình 3 để chống dính và chống chân không trong quá trình in.

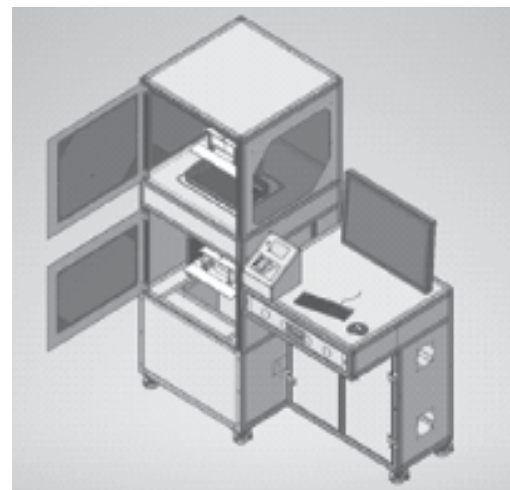
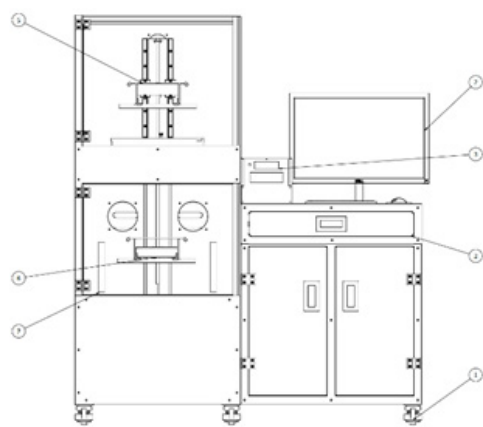


Hình 3. Bể in gắn màng chống dính linh hoạt

+ Cụm nâng hạ chi tiết in theo trục Z: Để biến chuyển động quay thành chuyển động tịnh tiến, tác giả lựa chọn sử dụng động cơ servo và bộ truyền vít me đai ốc bi C-KBS1204-400. Ưu điểm của bộ truyền này là truyền động chính xác, khả năng chịu tải dọc lớn và độ bền vận hành cao. Đặc biệt, vít me bi còn có khả năng

tự hãm cơ học tốt, đảm bảo vị trí ổn định khi tạm dừng hoặc trong các pha tách lớp.

Trên cơ sở phân tích lựa chọn các cụm chức năng của máy, thực hiện thiết kế và lắp ráp các cụm chi tiết trên môi trường Assembly của phần mềm Inventor sẽ xây dựng được kết cấu chung của của máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD. Từ đó thực hiện thiết kế cụm bàn máy sẽ xây dựng được kết cấu tổng thể hệ thống cơ khí của máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD như thể hiện như thể hiện trên hình 4.



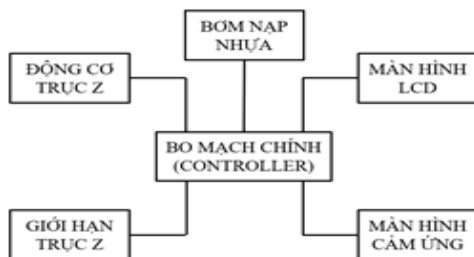
(1): Bánh xe; (2): Cụm màn hình; (3): Bảng điều khiển; (4): Màn hình; (5): Cụm máy in; (6): Cụm sấy rửa; (7): Đèn UV

Hình 4. Kết cấu hệ thống cơ khí của máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD

2.3. Thiết kế hệ thống điều khiển của máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD

2.3.1. Lựa chọn hệ thống điều khiển cụm máy in

Hệ thống điều khiển có vai trò trung tâm trong việc điều phối hoạt động của hệ thống cơ khí, điều khiển cường độ và thời gian chiếu sáng màn hình LCD, đồng thời xử lý lệnh từ phần mềm điều khiển in 3D (slicer). Việc lựa chọn đúng vi điều khiển (bo mạch chủ), driver động cơ, cảm biến giới hạn và các khối giao tiếp là yếu tố then chốt để đảm bảo chất lượng bản in, độ ổn định và khả năng mở rộng của hệ thống.

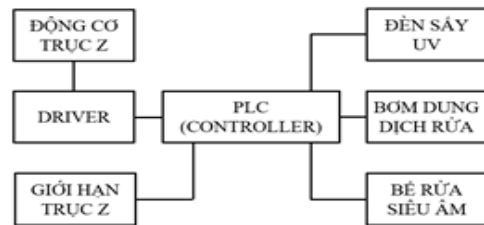


Hình 5. Sơ đồ hệ thống điều khiển cụm máy in 3D resin công nghệ LCD

Bo mạch chính là bộ não trung tâm của máy in 3D, đóng vai trò điều khiển toàn bộ hệ thống – từ truyền động cơ khí, hiển thị thông tin, đến điều khiển nguồn sáng và giao tiếp với người dùng. Trong số các loại bo mạch hiện nay, bo mạch của hãng Anycubic được đánh giá cao về độ ổn định, phổ biến, giá thành hợp lý và hỗ trợ mạnh mẽ cho máy in 3D resin công nghệ LCD. Mạch Anycubic thường tích hợp sẵn driver, có khả năng điều khiển LED UV, hỗ trợ cảm biến và hiển thị thông tin rõ ràng qua giao diện cảm ứng. Do đó, dựa trên yêu cầu hệ thống và cấu hình máy in 3D resin công nghệ LCD đặt ra, nghiên cứu này lựa chọn bo mạch chính hãng Anycubic. Bo mạch này đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật, dễ tích hợp vào hệ cơ khí đã thiết kế và giúp đảm bảo độ chính xác, độ ổn định của hệ điều khiển trong quá trình in.

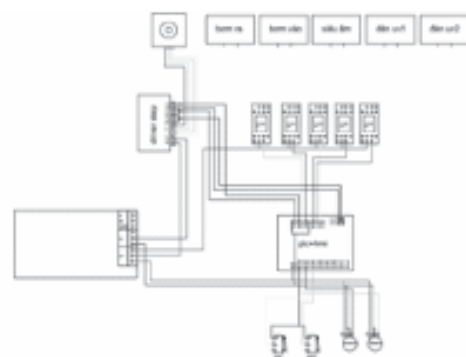
2.3.2. Lựa chọn hệ thống điều khiển cụm sấy rửa

Trong quá trình xây dựng hệ thống điều khiển của cụm sấy rửa máy in 3D resin, việc lựa chọn PLC phù hợp là bước quan trọng để đảm bảo các chu trình rửa, sấy và chiếu UV được thực hiện chính xác theo thời gian và quy trình đã định. Một PLC tích hợp màn hình HMI ngay trên thiết bị sẽ giúp quá trình xử lý đáp ứng yêu cầu, tối ưu không gian tủ điện, giảm thiểu lỗi đấu nối. Trên cơ sở tìm hiểu các dòng PLC trên thị trường, tác giả đã lựa chọn PLC YK HMI FX3U và sử dụng driver DM542 để điều khiển động cơ bước Step 57.



Hình 6. Sơ đồ hệ thống điều khiển cụm sấy rửa chi tiết

Trên cơ sở này, tác giả đã xây dựng sơ đồ đấu nối giữa các thiết bị để đảm bảo hệ thống điều khiển hoạt động chính xác và an toàn như thể hiện trên hình 7. Trong sơ đồ này, PLC đóng vai trò phát tín hiệu điều khiển (xung bước và chiều quay) đến driver, thông qua các ngõ ra số (digital output).

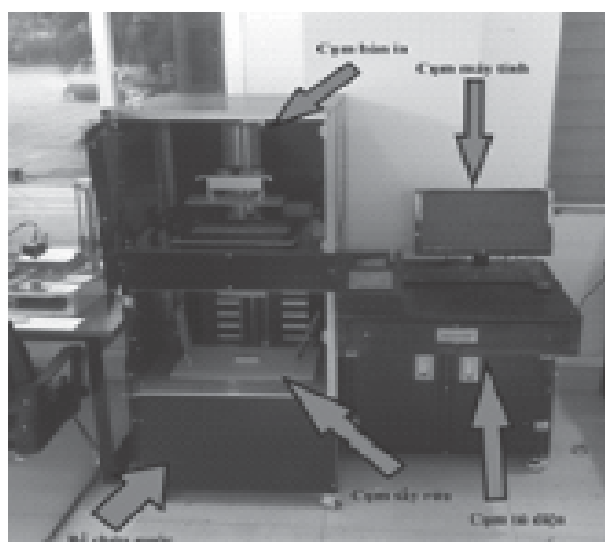


Hình 7. Sơ đồ mạch điện PLC của cụm sấy rửa

2.4. Thực nghiệm chế tạo và thực nghiệm đánh giá hiệu quả hoạt động

2.4.1. Thực nghiệm chế tạo

Từ thiết kế kết cấu cơ khí và hệ thống điều khiển, nhóm nghiên cứu đã tiến hành gia công chế tạo các chi tiết cơ khí và lựa chọn các thiết bị, linh kiện điện tử đã tính chọn. Sau đó, nhóm tiến hành lắp ráp, điều chỉnh và thử nghiệm thành công máy in 3D theo công nghệ LCD với các thông số kỹ thuật đúng theo thiết kế như thể hiện trên hình 8.



Hình 8. Hình ảnh máy in 3D resin theo công nghệ LCD sau khi thiết kế chế tạo

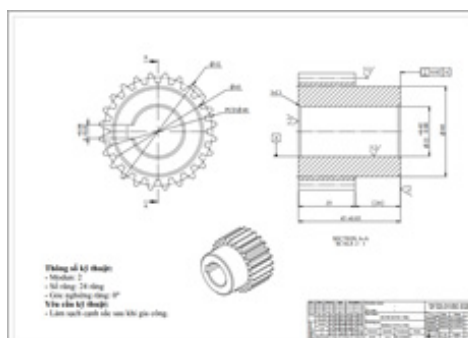
2.4.2. Thực nghiệm đánh giá hiệu quả hoạt động

Để đánh giá kiểm nghiệm khả năng hoạt động của máy, nhóm nghiên cứu đã tiến hành in thử nghiệm một số chi tiết điển hình. Kết quả cho thấy máy in 3D resin mà nhóm thiết kế chế tạo hoạt động ổn định, đảm bảo các thông số kỹ thuật yêu cầu đã đưa ra, sản phẩm in có độ chính xác kích thước và hình học đạt yêu cầu kỹ thuật đặt ra.



Hình 9. Hình ảnh một số sản phẩm được thực nghiệm in trên máy

Ngoài ra, để đánh giá khả năng làm việc của máy in 3D đã thiết kế chế tạo, nhóm tác giả đã tiến hành thực nghiệm theo ma trận trực giao L9 như trong bảng 1, nhằm đánh giá ảnh hưởng của ba thông số chế độ in quan trọng (chiều dày lớp in σ , góc tạo mẫu α , thời gian phơi sáng τ) đến độ nhám bề mặt (R_a) của chi tiết in, trong đó sản phẩm in là chi tiết bánh răng có cấu tạo như thể hiện trên hình 10. Trong đó, độ nhám bề mặt chi tiết được đo bằng máy đo độ nhám Mitutoyo SJ-301 Surf test.



Hình 10. Bản vẽ chi tiết bánh răng được sử dụng làm mẫu in thử nghiệm

Bảng 1. Bảng ma trận quy hoạch thực nghiệm L9 và kết quả thực nghiệm với sản phẩm in là chi tiết bánh răng

Số thí nghiệm	Biến mã hóa			Biến thực nghiệm			Kết quả thí nghiệm			
	x_1	x_2	x_3	σ	α	τ	Ra1	Ra2	Ra3	Ra _{tb}
1	1	1	1	80	60	6	9,27	9,55	9,32	9,38
2	1	2	2	80	35	4	7,45	7,32	7,93	7,57
3	1	3	3	80	10	2	6,96	6,37	6,33	6,55
4	2	1	2	55	60	4	7,52	7,47	7,20	7,40
5	2	2	3	55	35	2	7,23	7,34	7,59	7,39
6	2	3	1	55	10	6	3,57	3,66	3,38	3,54
7	3	1	3	30	60	2	5,88	5,51	5,78	5,72
8	3	2	1	30	35	6	4,23	4,31	4,83	4,46
9	3	3	2	30	10	4	2,46	2,84	2,20	2,50

Sau khi tiến hành thực nghiệm in và thu thập dữ liệu sẽ nhận được bảng kết quả thực nghiệm giá trị độ nhám bề mặt với 9 bộ thông số chế độ in khác nhau như thể hiện trong bảng 1. Trên cơ sở này, ứng dụng phương pháp hồi quy thực nghiệm đã xác định được hàm toán học thể hiện mối quan hệ giữa các thông số chế độ công nghệ (δ , α , τ) đối với các yếu tố đầu ra là độ nhám bề mặt chi tiết (Ra) như sau:

$$Ra = a_0 \cdot \sigma^{a_1} \cdot \alpha^{a_2} \cdot \tau^{a_3}$$

$$Ra = -1,71814 \cdot \sigma^{0.66904} \cdot \alpha^{0.33942} \cdot \tau^{-0.23889}$$

Sau khi xác định được hàm hồi quy ở trên cần kiểm tra sự đồng nhất của các phương sai theo tiêu chuẩn Cochran, kiểm tra mức ý nghĩa của các hệ số trong phương trình hồi quy theo chuẩn Student, kiểm tra sự tương thích của phương trình hồi quy với thực nghiệm theo chuẩn Fisher [8]. Kết quả kiểm tra cho thấy:

$$+, G_m = \frac{\max S_u^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} = \frac{0,016431}{0,030386} \approx 0,54073 < G_b(2; 9; 0,05) \approx 0,801$$

→ Điều này chứng tỏ phương sai là đồng nhất,

độ nhiễu là ổn định khi thay đổi các thông số thí nghiệm.

$$+, |t_{a0}| = \left| \frac{a_0}{S_{a0}} \right| = \left| \frac{-1,71814}{0,21936} \right| = |-7,8324| > t_a(0,05; 5) \approx 2,02$$

$$+, t_{a1} = \frac{a_1}{S_{a1}} = \frac{0,66904}{0,04793} = 13,9595 > t_a(0,05; 5) \approx 2,02$$

$$+, t_{a2} = \frac{a_2}{S_{a2}} = \frac{0,33942}{0,02617} = 12,9716 > t_a(0,05; 5) \approx 2,02$$

$$+, |t_{a3}| = \left| \frac{a_3}{S_{a3}} \right| = \left| \frac{-0,23889}{0,0433} \right| = |-5,51732| > t_a(0,05; 5) \approx 2,02$$

→ Điều này chứng tỏ ba hệ số a_j trong phương trình hồi quy đều có ý nghĩa vì thỏa mãn điều kiện:

$$|t_{aj}| > t_a(0,05; 5)$$

$$+, F_m = \frac{S_{du}^2}{S_{th}^2} = \frac{0,01156}{0,00337} = 3,42465 < F_b(0,05; 5; 18) \approx 4,25$$

→ Điều này, chứng tỏ phương trình hồi quy phù hợp với thực nghiệm.

Như vậy, kết quả kiểm tra cho thấy hàm hồi quy thực nghiệm ở đây là đảm bảo độ tin cậy

cây. Do đó, trên cơ sở hàm hồi quy thực nghiệm xác định được ở trên có thể rút ra một số nhận xét có ý nghĩa định hướng cho nghiên cứu và ứng dụng trong quá trình in trên máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD như sau:

+ Khi tăng chiều dày lớp in σ thì độ nhám bề mặt Ra của chi tiết sẽ tăng.

+ Khi tăng góc tạo mẫu α thì độ nhám bề mặt Ra của chi tiết cũng sẽ tăng.

+ Khi tăng thời gian phơi sáng τ thì độ nhám bề mặt Ra của chi tiết cũng sẽ giảm.

Đặc biệt, trong ba thông số đầu vào với phạm vi khảo sát đã thực hiện trong nghiên cứu này thì chiều dày lớp in σ có ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhám bề mặt của chi tiết in. Đây là cơ sở để giúp người vận hành có thể lựa chọn được chế độ in hợp lý.

3. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu thiết kế và chế tạo máy in 3D theo công nghệ LCD. Dựa trên nền tảng lý thuyết và yêu cầu thực tế, nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo được một máy in 3D resin sử dụng công nghệ LCD phù hợp với điều kiện sản xuất thực tế ở Việt Nam. Sau khi chế tạo, máy in đã được tiến hành thử nghiệm in với những điều kiện kỹ thuật khác nhau theo mảng ma trận trực giao L9. Trên cơ sở kết quả thực nghiệm, một hàm hồi quy thực nghiệm thể hiện mối quan hệ giữa ba thông số đầu vào (chiều dày lớp in, thời gian phơi sáng, góc tạo mẫu) đến độ nhám bề mặt chi tiết in đã được xác định. Từ đó cho thấy, chiều dày lớp in là thông số ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhám bề mặt. Máy in được chế tạo và lắp ráp có thể hoạt động ổn định với độ phân giải cao, phù hợp cho việc in mẫu một số sản

phẩm ứng dụng trong thực tế và mô hình chi tiết. Thiết bị có khả năng ứng dụng trong đào tạo kỹ thuật, nghiên cứu và sản xuất mô hình kỹ thuật. ❖

Ngày nhận bài: **03/7/2025**

Ngày phản biện: **18/7/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hull, C. W. (1986), “*Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography (U.S. Patent No. 4,575,330)*”. U.S. Patent and Trademark Office.
- [2]. Crump, S. S. (1992), “*Apparatus and method for creating three-dimensional objects (U.S. Patent No. 5,121,329)*”. U.S. Patent and Trademark Office.
- [3]. He, Y., Wu, Y., Fu, J. Z., Gao, Q., & Qiu, J. J. (2014), “*Developments of 3D printing microfluidics and applications in chemistry and biology: A review*”. Electrophoresis, 35(17), 2546-2557.
- [4]. Zhengbo Zhu (2023), “*Freeform Optics for Achieving Collimated and Uniform Light Distribution in LCD-Type UV-Curable 3D Printing*”.
- [5]. Li, Z., & Sun, Y. (2023), “*Mechanical Performance of Resin-Based 3D Printed Parts*”. Materials Science Forum - Nghiên cứu về độ bền cơ học và ảnh hưởng của các yếu tố thiết kế lên sản phẩm in.
- [6]. Ngô Diệu Thạch (2016), “*Nghiên cứu thiết kế máy in 3D SLA DLP*”. Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [7]. Phùng Xuân Lan, Đỗ Thọ Trường (2023), “*Thiết kế và chế tạo máy in sinh học 3D tích hợp để đặt nền móng cho các nghiên cứu công nghệ mô tại Việt Nam*”. Đại học Bách Khoa Hà Nội, Trung tâm Nghiên cứu in 3D Y sinh tại Trường VinUni.
- [8]. PGS,TS. Bùi Minh Trí (2005), “*Xác suất thống kê và quy hoạch thực nghiệm*”. NXB. Khoa học Kỹ thuật.