

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VỀ ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ IN 3D KIM LOẠI ĐẾN CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM IN

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE EFFECT OF 3D PRINTING PROCESS PARAMETERS TO THE PRINTED PART QUALITY

Nguyễn Thái Sơn¹, Trần Ngọc Hiền²

¹Trung tâm Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải, Trường Đại học Giao thông Vận tải

²Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

In 3D cho phép tạo các sản phẩm chuyên dụng đã và đang được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực. Nghiên cứu bộ thông số công nghệ in tới chất lượng sản phẩm in là rất cần thiết. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm của phương pháp in bồi đắp lắng đọng (FDM) sử dụng rô bốt hàn. Các mô hình toán thể hiện mối liên hệ giữa chế độ in khi in vật liệu hợp kim Titan với độ nhám bề mặt, độ cứng của mẫu in đã được thiết lập. Các kết quả thực nghiệm cho thấy các giá trị độ nhám bề mặt và độ cứng của các mẫu in nằm trong giới hạn cơ tính của vật liệu hợp kim Titan. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để lựa chọn các bộ thông số công nghệ hợp lý khi in 3D đối với các vật liệu khó gia công.

Từ khóa: Mô hình hoá bồi đắp lắng đọng; In 3D; Thông số công nghệ in; Nhám bề mặt; Độ cứng.

ABSTRACT

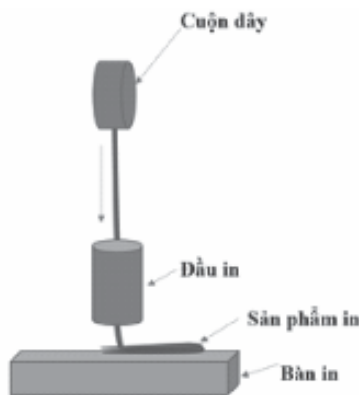
3D printing allows creating specialized products that have been applied in many fields. Research on the set of printing parameters to determine the quality of printed products is necessity. This article presents the results of experimental research on the fused deposition modelling (FDM) using the welding robot. Mathematical models showing the relationship between the printing parameters when printing Titanium alloy material and the surface roughness, and the hardness of the printed sample have been established. Experimental results show that the surface roughness and hardness values of the printed samples are within the mechanical properties limit of Titanium alloy material. The research results are the basis for choosing appropriate technological parameter sets when 3D printing difficult-to-process materials.

Keywords: Fused deposition modelling; 3D printing; Printing process parameters; Surface roughness; Hardness.

1. IN 3D KIM LOẠI VÀ BỘ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ

1.1. In 3D kim loại sử dụng robot hàn

Sản xuất bồi đắp (Additive Manufacturing – AM) hay in 3D đã được áp dụng thành công cho nhiều lĩnh vực bao gồm thời trang, hàng không vũ trụ, hàng không và quốc phòng, y tế và xây dựng [1]. Mặc dù gần đây sự phát triển cho thấy việc sử dụng ngày càng tăng các hệ thống AM để chế tạo các cấu trúc quy mô lớn. Phương pháp in mô hình hoá bồi đắp lắng đọng – FDM được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Phương pháp in mô hình hoá bồi đắp lắng đọng – FDM

Với phương pháp in này, dây hợp kim Titan từ cuộn dây được cấp tới đầu in, đầu in gia nhiệt vật liệu đến trạng thái chảy để tạo lớp in trên tấm nền được đặt trên bàn in. Các hệ thống máy AM dạng này phần lớn ở dạng ba trục và thường in sản phẩm vật liệu nhựa [2–3]. Tùy thuộc vào hình dạng và kích thước của vật thể, các cấu trúc hỗ trợ có thể được yêu cầu dẫn đến tăng thời gian chế tạo, tiêu thụ nguyên liệu và chi phí chế tạo [4]. Hơn nữa, các máy sản xuất bồi đắp ba trục được liên kết với phương pháp chế tạo từng lớp nghiêm ngặt, tạo ra các vật thể có hiệu ứng bậc thang điển hình [5]. Từ

những lợi ích và hạn chế của các ứng dụng sản xuất bồi đắp thông thường, các phương pháp sản xuất AM được điều khiển bằng rô bốt đa trục được sử dụng cho phép mang lại chất lượng, tính linh hoạt, và năng suất hơn [6–9]. Việc sử dụng kết hợp hệ thống rô bốt đa trục và công nghệ sản xuất bồi đắp mang lại khả năng sản xuất bồi đắp đa trục và chế tạo các hình học phức tạp trong các môi trường sản xuất khác nhau. Phần lớn các hệ thống dựa trên phương pháp đùn vật liệu được hỗ trợ bằng rô bốt đang được sử dụng để tạo ra các hình dạng phức tạp và thường là các vật thể lớn. Zhang và cộng sự [10] đã sử dụng robot ABB để điều khiển đầu in đùn. Một nền tảng tính toán có tên Robot Studio (do ABB phát triển) đã được sử dụng để cho phép mô phỏng, tối ưu hóa và trực quan hóa quá trình chế tạo. Các chi tiết sử dụng vật liệu ABS đã được sản xuất nhưng hệ thống này có thể được mở rộng sang các vật liệu khác, chẳng hạn như việc sử dụng sợi carbon để sản xuất các chi tiết bằng composite. Tương tự, Wu và cộng sự [11] đã sử dụng cánh tay rô bốt 6-DOF UR3 để sản xuất các chi tiết vật liệu polyme từ PLA ở dạng sợi, với cấu trúc hỗ trợ tối thiểu hoặc không có cấu trúc hỗ trợ. Một công cụ tính toán đã được phát triển bằng C++ để phân tách các mô hình thành nhiều mô hình con hỗ trợ, được in theo trình tự không xung đột.

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng bộ thông số công nghệ in 3D kim loại đến chất lượng sản phẩm in sử dụng phương pháp in FDM trên rô bốt.

1.2. Bộ thông số công nghệ

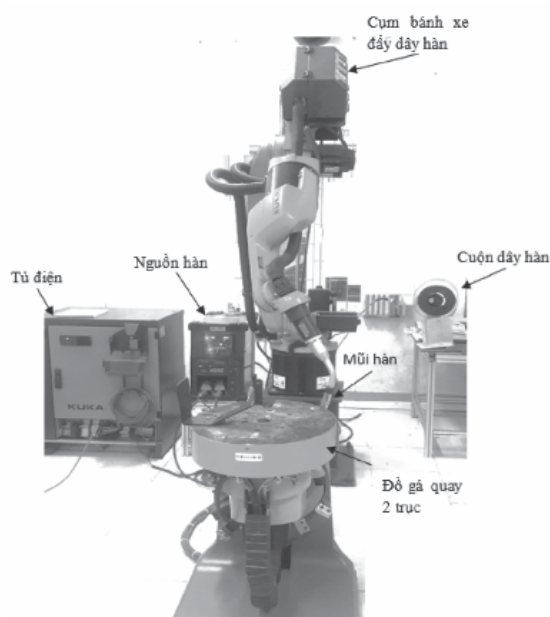
Quá trình in 3D có sự hỗ trợ cánh tay robot công nghiệp thông thường yêu cầu bộ thông số công nghệ chính: (1) Lập kế hoạch

quy trình in, (2) Kiểm soát các thành phần của đầu in (ví dụ: ép đùn, bộ gia nhiệt, quạt, tốc độ trục xoay), (3) Kiểm soát đường dẫn in thông qua bộ điều khiển cánh tay robot và (4) Giao tiếp giữa bộ điều khiển cánh tay rô bốt và cả đầu in. Vấn đề quan trọng là bộ điều khiển cánh tay rô bốt và bộ điều khiển đầu cộng/trừ có thể đồng bộ hóa và giao tiếp để cung cấp các lớp in chất lượng cao và năng suất. Trong giới hạn nghiên cứu này, các mẫu in kim loại có hình dạng hình hộp chữ nhật được thiết kế với kích thước 35x60x35mm. Các đường chuyển động của cánh tay rô bốt được tạo ra dựa trên hệ thống tích hợp sẵn trên cánh tay rô bốt hàn công nghiệp KUKA.

2. THIẾT LẬP THỰC NGHIỆM

2.1. Rô bốt hàn và các thông số thực nghiệm

Rô bốt hàn sử dụng cho quy trình thực nghiệm được thể hiện như trong Hình 2. Cánh tay rô bốt nặng 291kg và có khả năng tải 8kg với tầm với 2101mm.



Hình 2. Cánh tay rô bốt hàn công nghiệp KUKA

Các thông số công nghệ chính được thể hiện như trong Bảng 1. Trong nghiên cứu này, ba thông số công nghệ được sử dụng để nghiên cứu đó là: Cường độ dòng điện I (A); Điện áp hàn U (V); Vận tốc hàn S (cm/phút). Để đánh giá ảnh hưởng các thông số quá trình đến chất lượng in, 08 mẫu được thực hiện với các giá trị thay đổi của bộ ba thông số nêu trên. Các giá trị này được lựa chọn phù hợp với khả năng hoạt động hiệu quả của cánh tay rô bốt hàn công nghiệp và các điều kiện thực tế thí nghiệm: nhiệt độ nóng chảy của kim loại in, chi phí in, thời gian thực nghiệm in.

Bảng 1. Thông số đầu vào quá trình thực nghiệm.

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị nhỏ nhất (-)	Giá trị lớn nhất (+)
Cường độ dòng điện	I	A	160	180
Điện áp hàn	U	V	26	28
Vận tốc hàn	S	cm/phút	10.57	13.4

2.2. Vật liệu in và mẫu in thực nghiệm

Hợp kim titan là hợp kim có chứa hỗn hợp titan và các nguyên tố hóa học khác. Vật liệu hợp kim titan có độ cứng cao, thuộc nhóm vật liệu khó gia công. Chúng có trọng lượng nhẹ, có khả năng chống ăn mòn đặc biệt và khả năng chịu được nhiệt độ khắc nghiệt. Tuy nhiên, do chi phí cao của cả nguyên liệu thô và quá trình gia công chế tạo đã hạn chế việc sử dụng.

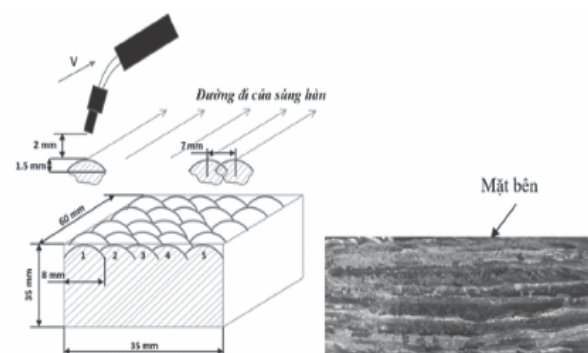
dụng chúng trong các ứng dụng quân sự, máy bay, tàu vũ trụ, xe đạp, thiết bị y tế, đồ trang sức, các bộ phận chịu ứng suất cao như thanh kết nối trên ô tô thể thao đắt tiền và một số thiết bị thể thao cao cấp và thiết bị điện tử tiêu dùng. Với mục tiêu đánh giá khả năng chế tạo các chi tiết sử dụng vật liệu titan bằng công nghệ in 3D, trong nghiên cứu này đã sử dụng vật liệu in là vật liệu Titan – Gr2 dạng sợi, có đường kính 2.4 mm được cuộn thành các cuộn có khối lượng 2kg. Thành phần hóa học của loại hợp kim này được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần hóa học hợp kim titan – Gr2

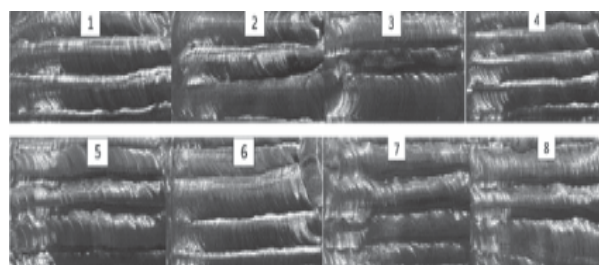
Thành phần	Tỷ trọng (%)
Titanium, Ti	≥ 98.9
Iron, Fe	≤ 0.30
Oxygen, O	≤ 0.25
Carbon, C	≤ 0.080

Theo bảng thông số thiết lập cho quy trình thực nghiệm 08 mẫu in bằng vật liệu Titan được tiến hành với kích thước 35x60x35mm. Quy trình in được thực hiện như sau, súng hàn mang theo sợi Titan được gia nhiệt tới trạng thái lỏng và phun liên tục trong quá trình in, cánh tay rô bốt mang theo súng hàn di chuyển theo quỹ đạo là các đường thẳng và đi theo cùng một hướng với vận tốc không đổi (vận tốc hàn) (Hình 3). Khoảng cách giữa hai đường đi liên tiếp của súng hàn được bằng 0.8 lần kích thước vũng kim loại lỏng trên bề mặt tương

ứng với giá trị khoảng cách 6.4 mm. Kết quả thực nghiệm được trình bày như trong Hình 4.



Hình 3. Quá trình in mẫu theo phương pháp FDM



Hình 4. Kết quả thực nghiệm mẫu in 3D sử dụng cánh tay rô bốt

Với mục đích thiết lập mô hình hồi quy thể hiện mối liên hệ giữa thông số công nghệ in với các thông số đầu ra là độ nhám bề mặt và độ cứng, phương pháp thiết kế thí nghiệm với yếu tố hai mức đầy đủ như thể hiện trên Bảng 3. Với 02 mức và 03 yếu tố đầu vào, tổng cộng có 08 thí nghiệm được thiết lập. Sử dụng máy đo độ cứng DTR 200, với phương pháp thử TCVN 257-11:2007 (ISO 6508-1:2005) cho giá trị độ cứng HRB của các mẫu tương ứng. Về độ nhám bề mặt, sau khi xử lý sau in bề mặt, độ nhám các mẫu được đo sử dụng thiết bị đo độ nhám bề mặt TR210. Giá trị độ nhám này làm cơ sở để tiến hành các công nghệ sau in đối với chi tiết in như phun phủ bề mặt sản phẩm in.

Bảng 3. Kết quả đầu ra về độ cứng và độ nhám của 08 mẫu in

Mẫu in	Cường độ dòng điện I (A)	Điện áp hàn U (V)	Vận tốc hàn S (cm/phút)	Độ nhám Ra (μm)	Độ cứng HRB
1	160	26	13.40	1.339	73.8
2	180	26	10.57	1.525	74.3
3	180	26	13.40	1.324	75.4
4	180	28	13.40	1.256	78.8
5	160	28	13.40	1.435	75.5
6	160	28	10.57	1.351	74.2
7	160	26	10.57	1.755	68.5
8	180	28	10.57	1.835	73.5

3. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA BỘ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN CHẤT LƯỢNG IN

Các mô hình hồi quy tuyến tính bậc nhất đã được thiết lập ứng dụng Minitab. Các mô hình này thể hiện mối liên hệ giữa chế độ công nghệ in bao gồm cường độ dòng điện, điện áp và tốc độ in với độ nhám bề mặt và với độ cứng của mẫu in.

3.1. Ảnh hưởng của chế độ in tới độ nhám bề mặt

Mẫu in sau khi được xử lý sau in bằng nguyên công mài đã được đánh giá độ nhám bề mặt nhằm làm cơ sở triển khai các giải pháp công nghệ khác trên mẫu in. Xét ảnh hưởng độc lập của các yếu tố đến độ nhám bề mặt của mẫu in:

$$Ra = 2.75 + 0.00075 \cdot I - 0.00825 \cdot U - 0.09823 \cdot S \quad (1)$$

Xét ảnh hưởng tương quan của các yếu

tố đến độ nhám bề mặt của mẫu in:

$$Ra = 29.73 - 0.1374 \cdot I - 1.3062 \cdot U + 0.2836 \cdot S + 0.00687 \cdot I \cdot U - 0.00396 \cdot I \cdot S + 0.0108 \cdot U \cdot S \quad (2)$$

3.2. Ảnh hưởng của chế độ in tới độ cứng của sản phẩm

Xét ảnh hưởng độc lập của các yếu tố đến độ cứng của mẫu in:

$$HRB = 5.4863 + 0.125 \cdot I + 1.25 \cdot U + 1.1484 \cdot S \quad (3)$$

Xét ảnh hưởng tương quan của các yếu tố đến độ cứng của mẫu in:

$$HRB = -267.796 + 1.76617 \cdot I + 11.2383 \cdot U + 0.9717 \cdot S - 0.06 \cdot I \cdot U - 0.00177 \cdot I \cdot S + 0.01767 \cdot U \cdot S \quad (4)$$

3.3. Bàn luận kết quả

Các mô hình hồi quy cho phép xác định được bộ thông số công nghệ khi in sử dụng cánh tay rô bốt công nghiệp. Kết quả đầu ra của các mô hình này phù hợp với dải giá trị cho

phép của vật liệu hợp kim Titan – Grade 2. Cụ thể giá trị HRB trong phạm vi giá trị của Titan – Grade 2 là 75 HRB và cơ tính của nhóm vật liệu khó gia công.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm quá trình in 3D theo phương pháp FDM sử dụng rô bốt công nghiệp cho phép thiết lập được các mô hình hồi quy thể hiện mối liên hệ giữa thông số công nghệ in với độ nhám bề mặt và độ cứng của mẫu in. Các mô hình toán từ 1 đến 4 cho phép xác định được bộ thông số công nghệ in hợp lý đảm bảo các mục tiêu đầu ra theo yêu cầu. Các nghiên cứu về cấu trúc tế vi mẫu in và cơ tính khác là những nghiên cứu tiếp theo nhằm đảm bảo các yêu cầu chất lượng của sản phẩm in đối với các ứng dụng công nghiệp.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải (ĐHGTVT) trong đề tài mã số T2023-TTKHCN-001.❖

Ngày nhận bài: 15/10/2023

Ngày phản biện: 16/11/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. B. Wang, *The future of manufacturing: a new perspective*, Engineering (2018), <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2018.07.020>.
- [2]. S.W. Williams, F. Martina, A.C. Addison, J. Ding, G. Pardal, P. Colegrove, Wire arc additive manufacturing, Mater. Sci. Technol. (2015), <https://doi.org/10.1179/1743284715Y.000000007>.
- [3]. G.Q. Zhang, X. Li, R. Boca, J. Newkirk, B. Zhang, T.a Fuhlbrigge, H.K. Feng, N.J. Hunt, *Use of industrial robots in additive manufacturing - A survey and feasibility study*, Proceedings for the ISR/ROBOTIK 2014.
- [4]. M. Vaezi, S. Chianrabutra, B. Mellor, S. Yang, *Multiple material additive manufacturing – Part 1: A review*, Virt. Phys. Prototyp. 8 (2013) 19–50 <https://doi.org/10.1080/17452759.2013.778175>.
- [5]. F. Wulle, D. Coupek, F. Schöffner, A. Verl, F. Oberhofer, T. Maier, *Workpiece and machine design in additive manufacturing for multi-axis fused deposition modeling*, (2017) <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.046>.
- [6]. P. Neto, *Off-line programming and simulation from CAD drawings: robot-assisted sheet metal bending*, IECON 2013, <https://doi.org/10.1109/IECON.2013.6699815>.
- [7]. R. Ahmad, P. Plapper, *Safe and automated assembly process using vision assisted robot manipulator*, Procedia CIRP (2016), <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.129>.
- [8]. S. Neudecker, C. Bruns, R. Gerbers, J. Heyn, F. Dietrich, K. Dröder, A. Raatz, H. Kloft, *A new robotic spray technology for generative manufacturing of complex concrete structures without formwork*, Procedia CIRP (2016), <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.107>.
- [9]. M. Morioka, S. Sakakibara, *A new cell production assembly system with human - robot cooperation*, CIRP Ann. 59 (2010), <https://doi.org/10.1016/J.CIRP.2010.03.044>.
- [10]. G.Q. Zhang, A. Spaak, C. Martinez, D.T. Lasko, B. Zhang, T.A. Fuhlbrigge, *Robotic additive manufacturing process simulation-towards design and analysis with building parameter in consideration*, Int. Conf. Autom. Sci. Eng. 2016, <https://doi.org/10.1109/COASE.2016.7743457>.
- [11]. C. Wu, C. Dai, G. Fang, Y.J. Liu, C.C.L.L. Wang, *RoboFDM: A robotic system for support-free fabrication using FDM*, 2017 IEEE Int. Conf. Robot. Autom. 2017, pp.1175–1180 <https://doi.org/10.1109/ICRA.2017.7989140>.