

TỐI ƯU HÓA CẤU TRÚC CỦA MÁY IN 3D FDM DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH PHẦN TỬ HỮU HẠN

THE OPTIMIZATION OF FDM 3D PRINTER STRUCTURE BASED ON FINITE ELEMENT ANALYSIS

Đoàn Kim Bình, Bùi Minh Hoàng

Trường Đại học Mở – Địa chất

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu về cách cải thiện độ chính xác của máy in 3D thông qua việc tối ưu hóa cấu trúc của máy in 3D. Nghiên cứu tập trung vào máy in 3D và sử dụng phần mềm Solidworks để tạo mô hình máy in 3D. Sau đó, mô hình được phân tích trên phần mềm để xác định tính biến dạng ảnh hưởng đến cấu trúc máy in dưới tác dụng của áp lực, xác định tần số rung tự nhiên ảnh hưởng đến chất lượng in. Dựa trên phân tích này, các thông số sau được tối ưu hóa như đường kính trục dẫn, đường kính vít me, đường kính ổ, tăng độ cứng vững và giảm độ võng của khung, lựa chọn vật liệu có độ bền và độ cứng tốt hơn, đảm bảo chuyển động cân bằng và ổn định. Quá trình tối ưu hóa dẫn đến sự cải thiện đáng kể về tính chất cơ học tổng thể của máy in, trên cơ sở đó tối ưu được kết cấu tổng thể của máy in đã giúp tăng độ chính xác đáng kể của các chi tiết được in.

Từ khóa: Máy in 3D FDM; Mô phỏng Solidwork; Ansys.

ABSTRACT

This article studies how to improve the accuracy of 3D printers through optimizing the printer's structure. The research focuses on 3D printers and uses Solidworks software to create 3D printer models. Then, the model is analyzed on software to determine the deformation affecting the printer structure under the effect of pressure, and determine the natural vibration frequency that affects print quality. Based on this analysis, the following parameters are optimized such as shaft diameter, lead screw diameter, drive diameter, increasing stiffness and reducing deflection of the frame, selecting materials with durability and stiffness better, ensuring balanced and stable movement. The optimization process results in a significant improvement in the overall mechanical properties of the printer, on that basis optimizing the overall structure of the printer has helped significantly increase the accuracy of printed parts.

Keywords: FDM 3D printer; Solidwork simulation; Ansys.



1. GIỚI THIỆU

Máy in 3D sử dụng công nghệ FDM (Fused Deposition Modeling) được ứng dụng rộng rãi trên thị trường nhờ độ chính xác cao, giá thành thấp và dễ dàng tìm kiếm vật liệu in. Mặc dù công nghệ FDM có xu hướng trưởng thành, nhưng vẫn còn nhiều hạn chế trong quá trình tạo mẫu và sản xuất như độ chính xác của khuôn, loại vật liệu, v.v. Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác tạo mẫu của máy in 3D loại FDM có thể chia thành 04 nhóm: Phần mềm, thuật toán điều khiển, cấu trúc cơ học, v.v. Hiện nay, nghiên cứu về cấu trúc cơ học của máy in chủ yếu tập trung vào các bộ phận riêng lẻ như vòi phun, cột, v.v., ít quan tâm đến cấu trúc tổng thể của máy in 3D, thiếu tính toàn diện và độ sâu nghiên cứu chưa đủ [1].

Bài báo này chọn một máy in 3D dạng core XY làm đối tượng nghiên cứu. Đầu tiên, mô hình tổng thể của máy in 3D được tạo mô hình. Thứ hai, phân tích cơ học tĩnh và phân tích cơ học động của mô hình máy in đã được thiết lập, được thực hiện bằng cách sử dụng phần mềm Ansys Workbench để có được đồ thị biến dạng, tần số tự nhiên và hình dạng mô hình của mô hình máy in. Cuối cùng, kết quả của phân tích phần tử hữu hạn được sử dụng làm tham khảo để tối ưu hóa cấu trúc cơ học của máy in.

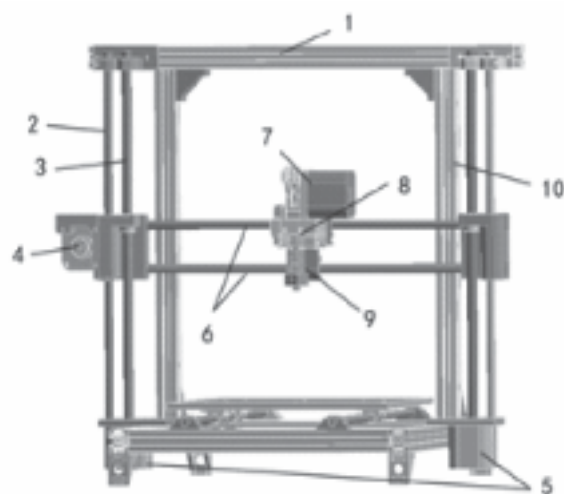
2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH PHẦN TỬ HỮU HẠN MÁY IN 3D

2.1. Xây dựng mô hình CAD cho máy in 3D

Dòng máy in core XY là một trong những dòng máy in FDM phổ biến nhất hiện có trên thị trường [2]. Ưu điểm của dòng máy này là cấu trúc cơ học đơn giản và độ chính xác cao. Hệ thống đầu phun của máy bao gồm

chức năng nạp và nung chảy, trong quá trình hoạt động của máy, nó di chuyển dọc theo trục bạc đạn cố định.

Nền tảng tạo mẫu nằm trên trục bạc đạn phía dưới của máy in 3D và hướng chuyển động của nền tảng vuông góc với mặt phẳng chuyển động của hệ thống đầu phun. Để phản ánh chính xác tình huống thực tế của máy in, phần mềm Solidworks được sử dụng để mô hình hóa cấu trúc tổng thể của máy in 3D theo kích thước thực tế của nó. Trong quá trình tạo mô hình, theo mức độ ảnh hưởng đến quá trình phân tích phần tử hữu hạn tiếp theo, cấu trúc máy in được đơn giản hóa. Hai ổ trục vít bên của máy in 3D có thể được thay thế bằng ổ trục trực hình trụ tiêu chuẩn giống nhau, bỏ qua dây đai đồng bộ và đơn giản hóa động cơ bước bằng mô hình động cơ có cùng trọng lượng và hình dạng. Chế độ đơn giản hóa của cấu trúc tổng thể máy in 3D và các thành phần chính của nó được minh họa như hình 1.



Hình 1. Mô hình đơn giản hóa của máy in 3D:
1 – Thanh dầm; 2 – Ổ đỡ trục đứng; 3 – Ổ vít đơn giản hóa; 4, 5 – Động cơ bước; 6 – Ổ trục ngang; 7 – Động cơ cấp liệu; 8 – Điểm đòn; 9 – Bộ phận nung chảy đầu phun; 10 – Thanh dẫn hướng.

2.2. Các vật liệu chính của khung máy in 3D

Khung máy in 3D chủ yếu được làm từ hợp kim nhôm (nhôm định hình). Loại hợp kim nhôm là 6060-T5 [3]. Mỗi nối giữa hai thanh nhôm là một giá đỡ cố định và cũng được làm bằng hợp kim nhôm. Để thuận tiện cho việc tính toán, chúng tôi đã thiết lập tính chất của vật liệu một cách thống nhất. Đường kính của ổ trục đứng và ngang của máy in 3D là 8mm và vật liệu là thép chịu lực GCR15 [4]. Trong máy in, phần kết nối của động cơ, phần cố định đầu phun và phần ổ trục ngang cố định là các thành phần có vật liệu PLA [7].

Bảng 1. Tính chất của các vật liệu chính của khung máy in 3D

Loại vật liệu	Khối lượng riêng (Kg/m ³)	Hệ số bán kính	Mô đun đàn hồi (GPa)
Thép chịu lực	7810	0.3	208
Hợp kim nhôm	2700	0.33	70
PLA	250	0.402	~3.5

2.3. Cách xử lý bề mặt tiếp xúc bàn in của máy in 3D

Phương pháp gia công bề mặt tiếp xúc cơ học rất quan trọng đối với cấu trúc cơ học. Mặt tiếp xúc của mô hình máy in có thể được chia thành hai loại chính: tiếp xúc cố định và tiếp xúc không tách rời. Tiếp xúc cố định thích hợp cho các đối tượng có cách chuyển động giống nhau, hai đối tượng không thể tách rời hoặc trượt còn, tiếp xúc không tách rời có thể có khe hở cho phép xoay, nhưng không cho phép di chuyển ngang. Thanh nhôm được liên kết bằng giá đỡ và được vặn chặt bằng vít loại M5*8. Lực siết trước là 6,4kN, đủ để cố định chắc chắn khung máy in 3D. Do đó, tiếp xúc

của các vít cố định trên cấu trúc máy in được coi là tiếp xúc cố định. Trong hệ thống đầu phun và nền tảng tạo mẫu, bề mặt tiếp xúc với ổ trục ngang sẽ ở trạng thái trơn trượt khi máy in hoạt động.

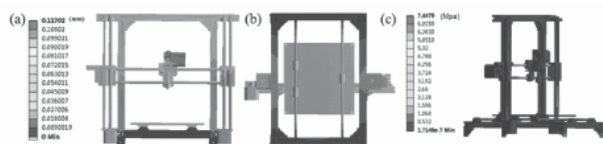
3. PHÂN TÍCH PHẦN TỬ HỮU HẠN CỦA CẤU TRÚC MÁY IN 3D

Trước khi thực hiện tính toán phân tích phần tử hữu hạn, cần phải chia lưới cho mô hình máy in, đây là một phần quan trọng của phương pháp phần tử hữu hạn. Chất lượng của lưới sẽ ảnh hưởng đến việc truyền tải lực trong quá trình tính toán phần tử hữu hạn, ultimately có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả tính toán. Dưới điều kiện mặc định của phần mềm Ansys Workbench, chất lượng của lưới thu được tương đối thô và lưới giữa các thành phần khác nhau có sự chênh lệch lớn. Có nhiều phương pháp chia lưới khác nhau trong phần mềm phân tích phần tử hữu hạn. Phần cơ khí có hình dạng thông thường. Khi tối ưu hóa lưới, người ta sử dụng phương pháp ưu tiên hình lục lăng để tối ưu hóa lưới. Chất lượng lưới trung bình sau khi tối ưu hóa là 73,6%. Mục đích chính của phân tích phần tử hữu hạn là khám phá độ ổn định của cấu trúc cơ học của máy in 3D và phân tích phần tử hữu hạn của toàn bộ cấu trúc máy in 3D chủ yếu có thể được chia thành phân tích tĩnh và phân tích mô hình.

3.1. Phân tích kết cấu tĩnh của máy in 3D

Mục đích chính của phân tích tĩnh là phân tích độ tin cậy của cấu trúc cơ học của máy in 3D và thảo luận về các khuyết tật tiềm ẩn trong cấu trúc của máy in. Trong phân tích tĩnh của phần tử hữu hạn, đáy của bốn chân đế hợp kim nhôm dưới máy in được cố định. Sau khi hoàn thành việc đặt điều kiện biên và tối ưu hóa lưới của máy in, kết quả phân tích tĩnh của

máy in dưới trọng lực của chính nó được hiển thị trong Hình 2.



Hình 2. (a) Biểu dạng tổng thể của máy in nhìn từ phía trước (phân tích tĩnh), (b) Biểu dạng tổng thể của máy in nhìn từ phía dưới (phân tích tĩnh), (c) Phân bố áp lực (phân tích tĩnh)

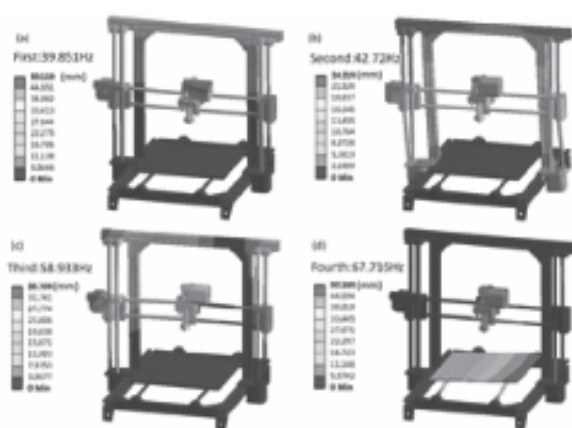
Phân tích kết quả phân tích tĩnh cho kết quả Hình 2c là biểu đồ phân bố áp lực cho thấy các bộ phận chịu tải chính của máy in tập trung ở các điểm tiếp xúc giữa giá đỡ phía dưới và cột trụ, cũng như tiếp điểm của nền tảng tạo mẫu và hệ thống đầu phun với trục quang. Hình 2a cho thấy tổng thể máy in bị biến dạng nhiều nhất ở hệ thống cấp liệu. Xu hướng biến dạng là vươn ra ngoài từ điểm cố định của ổ trục ngang, hình dạng biến đổi tăng dần và biến dạng tối đa đạt 0,117mm. Hình 2b cho thấy biến dạng của nền tảng tạo mẫu có xu hướng không đối xứng. Biến dạng của phía dưới khoảng 0,01mm, trong khi phía trên đạt 0,06mm. Hiện nay, đường kính đầu phun của máy in 3D loại FDM trên thị trường thường là 0,3-0,4 mm và độ chính xác tối đa của máy in có thể đạt 0,1 mm. Ngoài ra, trong thực tế, do đầu phun nóng chảy của máy in không được cố định chắc chắn nên trong quá trình tạo mẫu có thể bị lắc nhẹ. Xét đến ảnh hưởng của các yếu tố này, biến dạng cấu trúc tổng thể của máy in 3D trong phân tích tĩnh sẽ ảnh hưởng lớn đến lỗi tạo mẫu.

3.2. Phân tích mô hình của máy in 3D

Trong môi trường hoạt động của máy in 3D, sự kích thích là tải động, và cần tránh trường hợp tần số tự nhiên trùng với sự kích thích bên ngoài [5]. Khi giảm tần số cộng hưởng của cấu trúc cơ học, nó không chỉ có thể

cải thiện độ ổn định của chính máy in mà còn giảm tải cho máy và kéo dài tuổi thọ của máy.

Trong quá trình hoạt động của máy in 3D, nguồn kích thích chính được tạo ra bởi động cơ bước, ở mức tương đối thấp. Trong phân tích mô hình của máy in 3D, đặc tính rung và tần số tự nhiên của bậc 1 đến bậc 4 được chọn và kết quả phân tích mô hình của toàn bộ cấu trúc máy in được thể hiện trong Hình 3. Từ kết quả phân tích mô hình có thể thấy, tần số mô hình từ bậc 1 đến bậc 4 nằm trong khoảng 39-68Hz. Khi tần số thấp, máy in có hiện tượng rung rõ ràng, như hai bên cột máy, phần dầm và hệ thống đầu phun. Khi tiến hành phân tích và tối ưu hóa, cần có những biện pháp tối ưu hợp lý cho các bộ phận này.

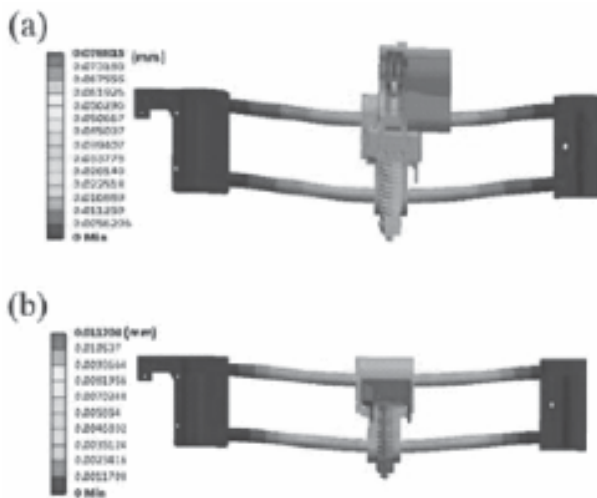


Hình 3. Phân tích mô hình của toàn bộ cấu trúc máy in 3D

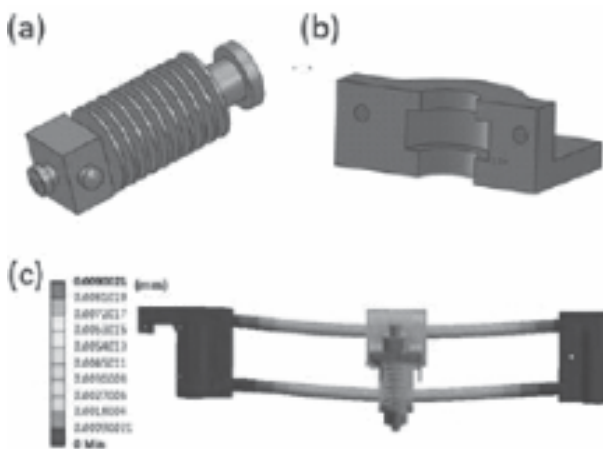
3.3. Tối ưu hóa hệ thống đầu phun

Để kiểm tra tính khả thi của phương pháp, đầu tiên vòi phun được tách ra, sau đó hệ thống vòi phun của máy in trước và sau khi tách được tính toán để thực hiện phân tích tĩnh. Kết quả phân tích tĩnh về biến dạng được thể hiện trong Hình 4 (a), (b). Từ phân tích tĩnh trong Hình 4, có thể thấy biến dạng lớn nhất của hệ thống đầu phun trước khi tách là 0,0788mm và

biến dạng lớn nhất sau khi tách là 0,0117mm. Lượng biến dạng của hệ thống đầu phun sau khi tách ban đầu so với trước khi tách đã thay đổi đáng kể. Do hiệu quả cải thiện của phân tích tĩnh của vòi phun tách rời, thiết kế của bộ phận vòi phun được tối ưu hóa. Trong quá trình hoạt động của máy in 3D, nhiệt độ của PLA nóng chảy là từ 180-210 độ C, quạt làm mát được đặt ở hai bên của vòi phun.



Hình 4. Biến dạng tổng thể của hệ thống đầu phun trước và sau khi tách



Hình 5. (a) Mô hình đầu in và (b) mặt cắt giá đỡ cố định

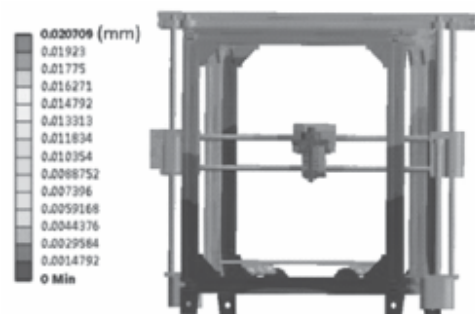
Tóm lại, PLA đáp ứng các yêu cầu về thiết kế giá đỡ cố định hỗ trợ vòi phun về độ

bền cơ học và khả năng chịu nhiệt. Giá đỡ cố định được thiết kế và bộ phận vòi phun được lắp ráp, sau đó thực hiện phân tích cơ học tĩnh của phần tử hữu hạn. Kết quả phân tích được thể hiện trong Hình 5 (c). Sau khi lắp đặt giá đỡ cố định được thiết kế, có thể thấy từ Hình 5 (c) rằng biến dạng tối đa của hệ thống đầu phun là 0,0090mm.

3.4. Tối ưu hóa tổng thể cấu trúc máy in 3D

Từ phân tích phần tử hữu hạn tĩnh của toàn bộ cấu trúc máy in 3D, có thể thấy từ Hình 2 (b) rằng biến dạng của nền tảng là không đối xứng. Lý do chính là ổ trục đỡ dưới nền tảng tạo mẫu không đối xứng, cần bổ sung ổ trục tuyến tính cố định ở phía biến dạng lớn hơn của nền tảng để đảm bảo độ đối xứng tốt của nền tảng tạo mẫu.

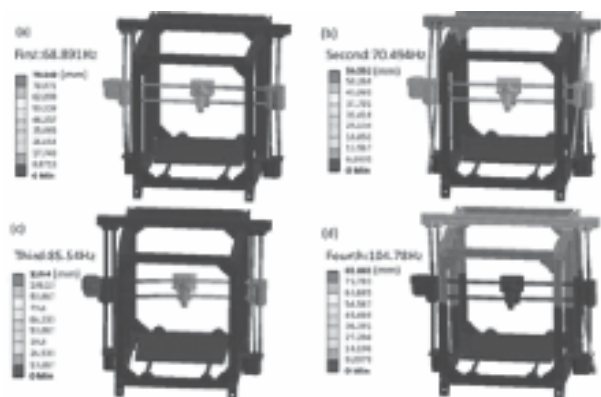
Để giải quyết những vấn đề này, các cột hai bên máy in được cố định đối xứng bằng vật liệu hợp kim nhôm 2020, cuối cùng, toàn bộ khung của máy in 3D có dạng hình vuông. Trên cơ sở này, sau khi lắp giá đỡ cố định được thiết kế, hệ thống đầu phun được cố định trên toàn bộ khung máy in. Tiến hành phân tích phần tử hữu hạn về tĩnh và động của toàn bộ cấu trúc máy in 3D, biến dạng của phân tích tĩnh của toàn bộ cấu trúc máy in được tối ưu hóa được thể hiện trong Hình 6.



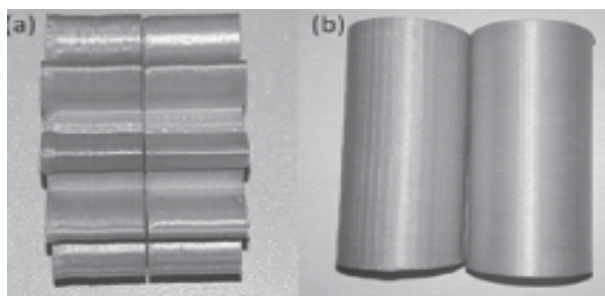
Hình 6. Biến dạng cải tiến của toàn bộ cấu trúc máy in 3D



Có thể thấy từ phân tích tĩnh của toàn bộ cấu trúc, biến dạng lớn nhất của máy in 3D được tối ưu hóa là 0,0207mm, nằm ở hệ thống đầu phun. So với biến dạng trước đó là 0,117mm, biến dạng tĩnh của máy in 3D được tối ưu hóa đã được cải thiện tốt hơn. Phân tích mô hình tổng thể của máy in 3D được cải tiến được thể hiện trong Hình 7.



Hình 7. Phân tích mô hình tổng thể của máy in 3D đã cải tiến



Hình 8. Sự tương phản tạo mẫu thực tế của máy in 3D trước và sau khi cải tiến

Trong kết quả phân tích mô hình, tần số tự nhiên của từng bậc của máy in 3D cao hơn so với cấu trúc ban đầu. Khi quan sát các chế độ rung ở mỗi bậc tần số tự nhiên, ở tần số thấp hơn, không có hiện tượng rung nghiêm trọng ở cột và dầm của cấu trúc máy in 3D đã cải tiến, và chỉ ở tần số tự nhiên bậc thứ hai và thứ tư mới có một rung động nhỏ ở dầm. Ngoài ra, thực hiện việc so sánh tạo mẫu giữa máy in 3D trước và sau khi tối ưu hóa, được thể hiện

trong hình 8. Đối tượng được tạo mẫu ở phía bên phải của hai bức ảnh được tạo ra bởi máy in 3D được tối ưu hóa, các điều kiện khác đều giống nhau ngoại trừ sự khác biệt nhỏ về màu sắc của vật liệu tạo mẫu.

4. KẾT LUẬN

Từ phân tích cấu trúc tổng thể của máy in 3D, độ cứng của thiết bị cố định cột phụ trợ ban đầu tương đối kém, và trong phân tích phần tử hữu hạn có hiện tượng rung động rõ ràng hơn. Sau khi tối ưu hóa cấu trúc máy in 3D, khung tổng thể của máy in có dạng hình vuông, tần số tự nhiên của từng bậc được cải thiện đáng kể, chế độ rung cũng ổn định hơn, biến dạng tối đa của cấu trúc tổng thể máy in 3D giảm từ 0,117mm xuống 0,021mm, chất lượng bề mặt của vật thể tạo mẫu cũng được cải thiện tốt hơn.

Về hệ thống đầu phun của máy in 3D, cần giảm trọng lượng hợp lý trong quá trình thiết kế, nó có tác dụng rất lớn trong việc giảm tải cho trục quang và nâng cao độ chính xác. Đường kính của ổ trục ngang di động sử dụng cần phù hợp, khi đường kính của ổ trục ngang đạt đến một giới hạn nhất định, khi đường kính tăng lên, các thông số động và thông số tĩnh của hệ thống đầu phun sẽ không thay đổi đáng kể.

Nói tóm lại, sau khi tối ưu hóa cấu trúc của máy in, máy in 3D đã đạt được kết quả tốt trong phân tích phần tử hữu hạn và tạo mẫu thực tế.

Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mở – Địa chất đã hỗ trợ nguồn lực để thực hiện nghiên cứu cơ sở này, mã đề tài T23-09.❖

Ngày nhận bài: 12/11/2023

Ngày phản biện: 23/12/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. B. Berman, "3-D printing: The new industrial revolution", Business Horizons, vol. 55, no. 2, pp.155-162, 2012.
- [2]. G. Cesaretti, E. Dini, X. D. Kestelier, V. Colla and L. Pambaguian, "Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology", ACTA ASTRONAUT, vol. 93, no. 1, pp.430-450, 2014.
- [3]. B. T. Wittbrodt, A. G. Glover and J. Laureto et al., "Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers", MECHATRONICS, vol. 23, no. 6, pp.713-726, 2013.
- [4]. B. M. Tymrak, M. Kreiger and J. M. Pearce, "Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions", MATER DESIGN, vol. 58, no. 6, pp.242-246, 2014.
- [5]. M. Merzoug, M. Mazari, L. Berrah and A. Imad, "Parametric studies of the process of friction spot stir welding of aluminium 6060-T5 alloys", MATER DESIGN, vol. 31, no. 6, pp.3023-3028, 2010.