

Tối ưu hóa thông số quá trình nhằm cải thiện độ bền nén của sản phẩm FDM (Fused Deposition Modeling)

Huỳnh Hữu Nghị, Trần Minh Tôn, Nguyễn Hữu Thọ và Thái Thị Thu Hà

Tóm tắt—Hiện nay, Công nghệ in 3D hay còn gọi là Công nghệ bồi đắp vật liệu (AM – Additive Manufacturing) được thế giới xem như là một công nghệ quan trọng của cách mạng công nghiệp 4.0. Trong các công nghệ in 3D, công nghệ FDM (Fused Deposition Modeling) là công nghệ phổ biến nhất. Chất lượng của sản phẩm AM nói chung và FDM nói riêng phụ thuộc rất nhiều vào các thông số trong quá trình chế tạo sản phẩm. Bài báo đề cập đến vấn đề tối ưu hoá các thông số quá trình nhằm cải thiện độ bền nén của sản phẩm. Các thông số được lựa chọn là: kiểu điền đầy, mật độ điền đầy, số lớp thành, bề dày lớp, góc raster. Phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế thí nghiệm (DOE) và tối ưu hoá các thông số. Đồng thời sử dụng phân tích ANOVA để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đó đến độ bền nén của sản phẩm

Từ khóa—Độ bền nén, tối ưu hóa, FDM, ANOVA, Taguchi.

1 GIỚI THIỆU

Công nghệ bồi đắp vật liệu (AM) đang được chú tâm bởi những lợi ích nó mang lại vô cùng to lớn. Nó có thể chế tạo sản phẩm một cách nhanh chóng với chi phí và thời gian được giảm đáng kể so với các công nghệ truyền thống. Từ dữ liệu thiết kế 3D trên máy tính (CAD – Computer Aided Design),

Bài báo này được gửi vào ngày 19 tháng 06 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 5 tháng 10 năm 2017.

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số TNCS-CK-2016-02.

Huỳnh Hữu Nghị, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM (e-mail: hhnghi@hcmut.edu.vn)

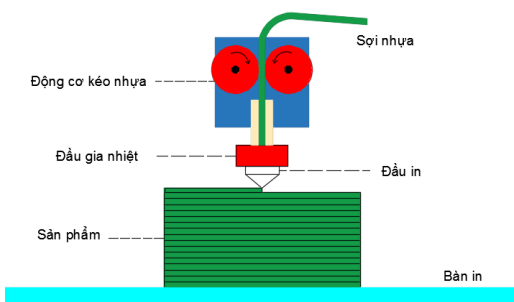
Trần Minh Tôn, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.

Nguyễn Hữu Thọ, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM. (email: mr.nhtho@gmail.com)

Thái Thị Thu Hà, Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM. (email: tttha2005@yahoo.com)

các thiết bị AM tạo thành sản phẩm theo nguyên lý bồi đắp vật liệu theo từng lớp, lớp sau chồng lên lớp trước cho đến khi hoàn tất quá trình. Với nguyên lý trên, công nghệ AM có thể tạo ra những sản phẩm có hình dạng phức tạp một cách nhanh chóng mà các phương pháp gia công truyền thống khó hoặc không thể chế tạo được. Hiện nay, công nghệ AM bao gồm rất nhiều công nghệ như FDM (Fused Deposition Modeling), LOM (Laminated Object Manufacturing), SLS (Selective Laser Sintering), SLA (Stereolithography)... Trong đó, công nghệ FDM là một trong những công nghệ phổ biến nhất do giá thành rẻ và sử dụng các loại vật liệu thông dụng, dễ tìm và thân thiện đối với môi trường. Công nghệ FDM sử dụng nguyên lý đùn sợi nhựa được gia nhiệt tới trạng thái bán lỏng qua một vòi phun và bồi đắp theo từng lớp để tạo hình sản phẩm. Hình 1 cho ta thấy được trực quan hơn về nguyên lý công nghệ FDM. Mặc dù công nghệ FDM ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực quan trọng, nhất là trong lĩnh vực chế tạo ra các chi tiết sử dụng ngay, tuy nhiên chất lượng của sản phẩm FDM còn cần phải được cải tiến thêm để đáp ứng nhu cầu của khách hàng, đặc biệt là cơ tính. Do bản chất của công nghệ là bồi đắp và liên kết vật liệu với nhau theo từng lớp nên cơ tính của sản phẩm rất kém theo phương chế tạo (thường là phương Z). Quá trình chế tạo sản phẩm bằng công nghệ FDM là một quá trình phức tạp, chất lượng sản phẩm FDM phụ thuộc vào rất nhiều thông số quá trình, hay còn gọi là thông số công nghệ khác nhau [1, 2, 4]. Vì vậy, một trong những thách thức đối với người sử dụng công nghệ FDM hiện nay là chất lượng của sản phẩm, hạn chế này một phần là do vật liệu sử dụng nhưng chủ yếu do nguyên lý chế tạo bằng công nghệ FDM. Theo hướng này, công việc hiện tại là tập trung vào việc cải tiến chất lượng sản phẩm bằng cách kiểm soát (lựa chọn, cài đặt giá trị) đúng các thông số của quá trình. Sood và cộng sự [1] đã chỉ ra rằng các thông số quá trình như độ dày lớp, định hướng xây dựng, góc raster, chiều rộng raster, khoảng cách không

khí không chỉ ảnh hưởng đến cấu trúc hệ tầng của phần xây dựng mà còn ảnh hưởng đến việc liên kết và biến dạng theo một cách thức phức tạp, dẫn đến các đặc tính giòn và dị hướng của bộ phận sản phẩm FDM. Vì vậy ta cần nghiên cứu ảnh hưởng của biến thể của các tham số chế tạo đến độ bền nén. Tải trọng nén thường có trong nhiều hệ thống kỹ thuật, do tải nén trực tiếp hoặc do tải uốn hoặc do tải va đập. Một hiện tượng khác kết hợp với tải trọng nén làm hạn chế nghiêm trọng hiệu quả trong kết cấu của hệ thống khi sử dụng các tính chất vật liệu thực tế [1]. Ang và cộng sự [4] thực hiện nghiên cứu về độ bền nén khi điều chỉnh các thông số quá trình để tạo ra mẫu với các độ rộng xóp khác nhau nhưng vẫn đảm bảo về cơ tính trong kỹ thuật mô (TE), thông qua việc sử dụng phương pháp thiết kế thí nghiệm (DOE), tính chất rỗ và tính chất cơ học của khung làm bằng chất dẻo dạng acrylic được tạo ra bởi FDM (vật liệu xây dựng tiêu chuẩn FDM, ABS P400, được lựa chọn thay cho vật liệu bioresorbable để giảm số lượng các biến, cụ thể các biến không được tối ưu hóa cho quá trình FDM). Ahn và cộng sự [9] so sánh độ bền kéo và nén của các nguyên mẫu FDM được làm bằng ABS P400, với các bộ phận ép phun cùng một vật liệu.



Hình 1. Nguyên lý công nghệ FDM

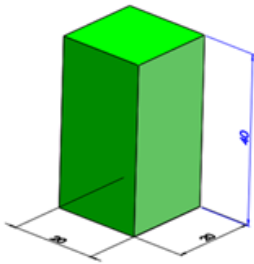
2 TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU

Sood và cộng sự [1] đã nghiên cứu các thông số: bề dày lớp, hướng tạo mẫu, góc raster, khoảng hở, chiều rộng raster ảnh hưởng đến độ bền nén của sản phẩm FDM bởi tính dị hướng của sản phẩm FDM, đưa ra kết quả giải thích 96,13% biến thể của phản ứng và sự phù hợp để thiết kế thực nghiệm cho các ứng dụng kỹ thuật trong tương lai. Tối ưu hóa quá trình của QPSO (quantum-behaved particle swarm optimization) tạo ra áp suất nén tối đa là 17,4751 MPa và giá trị tối ưu của độ dày lớp, hướng tạo mẫu, góc raster, chiều rộng raster và khoảng cách không khí là 0,254 mm, 0,036 độ, 59,44 độ, 0,422 mm và 0,00026 mm tương ứng. Gianluca Percoco [2] đã ngâm mẫu trong hóa chất

sau đó kiểm tra độ bền nén của sản phẩm FDM thông qua các thông số điều chỉnh là: bề rộng raster, góc raster, thời gian ngâm. Kết quả của việc nghiên cứu cho thấy thời gian ngâm 90% dimethylketone và 10% nước tối đa là 300s cải thiện độ nhám đến 90%, mặt khác sau khi ngâm cơ tính kéo, uốn, nén của sản phẩm tăng lên đáng kể. F. Knoop, V. Schoeppner [3] đã thực hiện nghiên cứu về độ bền kéo và nén với 2 thông số: hướng tạo mẫu, góc raster. Ang và cộng sự [4] thực hiện nghiên cứu về khoảng hở, độ dày raster, hướng tạo mẫu, góc raster, bề dày lớp để tối ưu hóa cơ tính nén cho bộ phận giàn giáo trong kỹ thuật mô (TE). Upadhyay và cộng sự [5] đã nghiên cứu về độ dị hướng của sản phẩm FDM khi điều chỉnh hướng tạo mẫu ngang và dọc để đánh giá về cơ tính qua các thí nghiệm kéo, nén, va chạm Izod, độ cứng. Uddin và cộng sự [6] đánh giá về cơ tính kéo và nén của sản phẩm FDM bằng cách điều chỉnh thông số: độ dày lớp, hướng tạo mẫu, mặt phẳng tạo mẫu. Aaron M. Forster [7] đưa ra thống kê và đề ra các tiêu chuẩn đo mẫu về sức căng, độ cong vênh, sức nén, độ cứng nứt, va chạm, sức chịu lực và nén có lỗ tròn cho sản phẩm tạo mẫu nhanh AM cho vật liệu polymer, tình trạng hiện tại và khả năng áp dụng thực tế. Shah và cộng sự [8] đã điều tra ảnh hưởng của các thông số quá trình cụ thể là 2 thông số hướng tạo mẫu và số lớp thành đến độ bền nén, tính dẻo của sản phẩm FDM với vật liệu sử dụng là ABS-M30 để phục vụ trong quá trình ứng dụng khi các sản phẩm chịu áp lực nén lớn. Vì vậy, việc nghiên cứu để nâng cao độ bền cơ học, ở đây là độ bền nén, bằng việc lựa chọn các thông số tối ưu trong quá trình vận hành máy là vấn đề quan trọng cần được xem xét. Hiện nay, đã có nhiều công trình nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ bền kéo, uốn, độ va đập... của sản phẩm. Tuy nhiên, độ bền nén cũng là một chỉ tiêu quan trọng cần được nghiên cứu. Mục đích nghiên cứu của bài báo này là cải thiện độ bền nén khi điều chỉnh các thông số quá trình dùng cụ thể cho mục đích sản xuất trong các ngành như ô tô, hàng không hay trong dân dụng, sử dụng phương pháp Taguchi để thiết kế thí nghiệm. Phương pháp Taguchi là một phương pháp giúp cho việc thực nghiệm dễ dàng hơn, trả lời cho câu hỏi số thí nghiệm cần thực hiện là bao nhiêu mà vẫn đảm bảo được độ tin cậy của các bộ số liệu thống kê cho việc phân tích và đánh giá. Sau khi có kết quả thí nghiệm ta dùng ANOVA để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đến cơ tính nén từ đó đưa ra kết luận cho bài báo này.

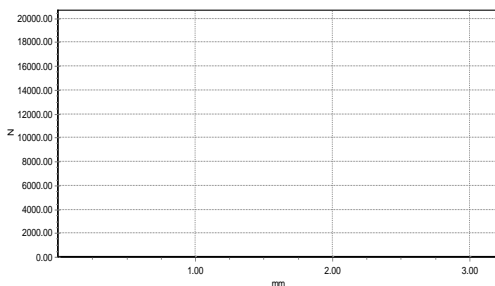
3 THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM

Sử dụng máy in 3D (REPMARBOX) mã nguồn mở được nghiên cứu chế tạo bởi nhóm 3DprinterCKBK thuộc Bộ môn Chế tạo máy, Khoa Cơ khí - Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM, dùng đầu phun 0,4mm với đầu phun có thể in chia tối thiểu đến 0,1mm mỗi lớp để tạo mẫu hình 2. Tiêu chuẩn được sử dụng để thí nghiệm được thực hiện theo Aaron M. Forster [7] và chọn ra tiêu chuẩn mẫu D695-2a “Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics”. Trong nghiên cứu này, sử dụng vật liệu tạo mẫu là PLA (Polylactide Acid) là loại vật liệu sinh học thân thiện với môi trường và con người.



Hình 2: Mẫu thí nghiệm.

Nghiên cứu ở bài báo dùng phương pháp đo theo tiêu chuẩn: ISO 604-2003 “Plastics – Determination of compressive properties”. Với máy nén như hình 5, tải tối đa 30 kN với độ chính xác đo là ±5% và tốc độ nén sử dụng cho mẫu là 0.8 mm/ phút, kết quả đo hiển thị trên màn hình máy tính và dừng tác động tải khi mẫu bị phá vỡ. Mô hình CAD model được thiết kế bằng phần mềm Soliwork và xuất ra file có định dạng .STL chia lưới và sau đó file .STL sau đó được đưa vào phần mềm cắt lớp “Slic3r” để điều chỉnh các thông số chạy mẫu, sau đó xuất sang file có định dạng .gcode và nạp trực tiếp vào máy in 3D FDM. Một kết quả đo của mẫu thử số 25 được hiển thị qua bảng 1 và hình 3. Giá trị lực tăng dần cho đến khi mẫu thử xảy ra biến dạng hoặc bị phá hủy.



Hình 3. Đồ thị mối quan hệ giữa lực và chuyển vị

Hình 3 cho thấy lực càng tăng thì chuyển vị cũng tăng theo và khi tới giá trị tối đa cũng là lúc mẫu bị biến dạng hoặc gãy. Ta quan sát đồ thị được hiển thị trên máy tính kết nối với máy đo, khi giá trị lực đạt đến giá trị cực đại và bắt đầu giảm ta dừng thí nghiệm và ghi lại kết quả đo.

Bảng 1. Giá trị đo tối đa

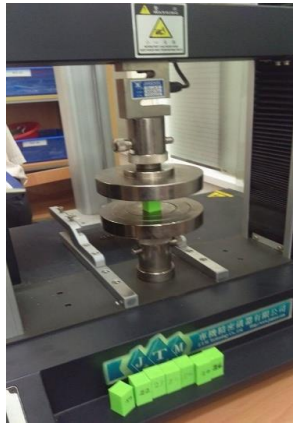
	Lực (kgf)	Chuyển vị (mm)	Ứng suất (kgf/mm ²)
Tối đa	20674,1	2,68	51,69



Hình 4. Mẫu bị biến dạng và phá hủy khi nén.

Bảng 2. Thông số và các mức

Yếu tố	Kí hiệu	Mức			Đơn vị
		Thấp (1)	Giữa (2)	Cao (3)	
Kiểu điện dây	A	Honey-comb	Line	Recti-line	-
Mật độ điện dây	B	20	50	75	%
Số thành lớp	C	1	2	3	-
Bề dày lớp	D	0.2	0.3	0.4	-
Góc raster	E	30	45	60	Độ



Hình 5. Thử nén trên máy JTM tech. Model TM-UTC

Dựa vào các bài báo đã nghiên cứu cho thấy các thông số điều khiển quan trọng với độ bền nén đó là:

- A: Kiểu điền đầy là hình dạng cấu trúc bên trong của sản phẩm.
- B: Mật độ điền đầy là tỉ lệ điền đầy bên trong, tạo nên độ rỗng xốp của sản phẩm.
- C: Số lớp thành là số lớp ngoài cùng tạo nên sản phẩm.
- D: Bề dày lớp là chiều dày mỗi lớp cắt.
- E: Góc raster là góc hợp bởi hướng điền đầy bên trong sản phẩm với trục x trong mặt phẳng nằm ngang.

Thiết kế thí nghiệm và tối ưu hóa bằng phương pháp Taguchi được thiết kế trên “Minitab R16”. Nhập đầu vào là 3 mức với 5 yếu tố như bảng 2 ta thiết lập được 27 thí nghiệm như bảng 3.

Bảng 3. Dữ liệu thực nghiệm thu được từ DOE

Số thí nghiệm	Yếu tố					Ứng suất nén (MPa)
	A	B	C	D	E	
1	1	1	1	1	1	13,82
2	1	1	1	1	2	13,57
3	1	1	1	1	3	13,67
4	1	2	2	2	1	41,06
5	1	2	2	2	2	38,16
6	1	2	2	2	3	32,98
7	1	3	3	3	1	46,81
8	1	3	3	3	2	48,98
9	1	3	3	3	3	46,81
10	2	1	2	3	1	7,41
11	2	1	2	3	2	7,75

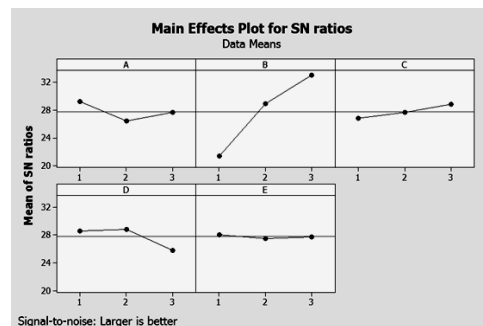
12	2	1	2	3	3	8,75
13	2	2	3	1	1	41,07
14	2	2	3	1	2	22,98
15	2	2	3	1	3	27,90
16	2	3	1	2	1	37,82
17	2	3	1	2	2	39,00
18	2	3	1	2	3	39,65
19	3	1	3	2	1	13,55
20	3	1	3	2	2	15,02
21	3	1	3	2	3	16,00
22	3	2	1	3	1	19,88
23	3	2	1	3	2	19,13
24	3	2	1	3	3	20,74
25	3	3	2	1	1	51,69
26	3	3	2	1	2	46,42
27	3	3	2	1	3	47,00

4 KẾT QUẢ THẢO LUẬN

Sử dụng Taguchi để phân tích độ lệch giữa giá trị thực nghiệm và giá trị mong muốn. Để tính toán độ nhiễu, hàm đưa ra để tính toán là S/N (signal/noise). Thông thường có ba loại đánh giá là smaller-the-better, the-larger-the-better và the-nominal-the-best. Mục đích của bài báo là tối ưu độ bền nén, do đó chọn the-larger-the-better và được biểu diễn bằng phương trình:

$$\eta_c = 10 \lg(u^2 + \sigma^2) = 10 \lg\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right)$$

Trong đó: y_i là dữ liệu có được ở thí nghiệm thứ i và n là số thí nghiệm.



Hình 6. Ảnh hưởng của các thông số đến độ bền nén.

Hình 6 cho ta thấy mức độ ảnh hưởng của các yếu tố qua độ dốc của đồ thị, và các thông số ảnh hưởng nhiều nhất cũng như ít nhất. Kết quả của hình 6 được đưa ra từ phân tích nhiễu S/N bằng

“Minitab R16”, qua đó ta biết được các thông số tối ưu nhất cho độ bền nén đó là A(1), B(3), C(3), D(2), E(1).

Bảng 4. Bảng phân hồi tín hiệu tỉ lệ S/N

Level	A	B	C	D	E
1	29,23	21,38	26,83	28,63	28,06
2	26,42	28,96	27,70	28,87	27,49
3	27,69	33,00	28,81	25,84	27,78
Delta	2,81	11,62	1,98	3,03	0,57
Rank	3	1	4	2	5

Dựa vào bảng 4 cho biết thông số B ảnh hưởng nhiều nhất, và yếu tố E ít ảnh hưởng nhất đến độ bền nén.

Các phân tích hồi quy được sử dụng cho mô hình hoá và phân tích một số biến khi có mối quan hệ giữa một biến phụ thuộc và một hoặc nhiều biến độc lập, với các biến đầu vào là năm yếu tố và biến đầu ra là độ bền nén. Các phương trình dự báo thu được bằng mô hình hồi quy tuyến tính bậc một của độ bền nén như sau:

$$S = 3,56037 \quad R\text{-Sq} = 96,49\%$$

$$R\text{-Sq}(\text{adj}) = 94,30\%$$

Phương trình hồi quy:

$$\text{Độ bền nén} = 2,29 - 2,58A + 16,4B + 3,44C - 2,88D - 1,09E$$

Qua bảng 5, ta thấy A, B, C, D có giá trị $p < 0,05$ nên tập trung đánh giá vào 4 thông số đó. Thấy được giá trị F của thông số B lớn nhất nên đánh giá được thông số B ảnh hưởng nhiều nhất đến độ bền nén.

Bảng 5. Kết quả phân tích ANOVA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	240,16	240,16	120,08	9,47	0,002
B	2	4826,60	4826,60	2413,30	190,38	0,000
C	2	293,22	293,22	146,61	11,57	0,001
D	2	182,24	182,24	91,12	7,19	0,006
E	2	32,56	32,56	16,28	1,28	0,304
Error	16	202,82	202,82	12,68		
Total	26	5777,59				

5 KẾT LUẬN

Bài báo này đã thực hiện điều chỉnh các yếu tố: kiểu điền đầy, mật độ điền đầy, số lớp thành, bề dày lớp, góc raster đến độ bền nén của sản phẩm FDM. Nhờ vào phương pháp thiết kế thí nghiệm (DOE) cho ta biết được số thí nghiệm cần làm đạt độ tin cậy cao. Phương pháp Taguchi đã giúp ta phân tích kết quả thí nghiệm và cho thấy được bộ thông số A(1), B(3), C(2), D(1), E(1) là bộ thông số tối ưu nhất cho việc tăng độ bền nén. Phương pháp

ANOVA sau khi phân tích cho thấy mật độ điền đầy là yếu tố quan trọng nhất đến độ bền nén.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Anoop Kumar Sood, R. K. Ohdar, S. S. Mahapatra, “Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement”, *Journal of Advanced Research*, 2011.
- [2] Gianluca Percoco, Fulvio Lavecchia and Luigi Maria Galantucci Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale, Politecnico di Bari, Viale Japigia 182, 70126 Bari, Italy, “Compressive Properties of FDM Rapid Prototypes Treated with a Low Cost Chemical Finishing”, *Research Journal of Applied Sciences*, 2012.
- [3] F. Knoop, V. Schoeppner, “Mechanical and thermal properties of FDM parts manufactured with polyamide 12”, *Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin*. Vol. 10. 2015.
- [4] Ker Chin Ang, Kah Fai Leong and Chee Kai Chua, “Investigation of the mechanical properties and porosity relationships in fused deposition modelling-fabricated porous structures”, *Rapid Prototyping Journal*, 2005.
- [5] Kshitiz Upadhyay, Ravi Dwivedi and Ankur Kumar Singh, “Determination and Comparison of the Anisotropic Strengths of Fused Deposition Modeling P400 ABS”, *Springer Science+Business Media Singapore*, 2017.
- [6] M. S. Uddin, M. F. R. Sidek, M. A. Faizal, Reza Ghomashchi, A. Pramanik, “Evaluating Mechanical Properties and Failure Mechanisms of Fused Deposition Modeling Acrylonitrile Butadiene Styrene Parts”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2017.
- [7] Aaron M. Forster, “Materials Testing Standards for Additive Manufacturing of Polymer Materials”, *State of the Art and Standards Applicability*, 2015.
- [8] Gaurav Shah*, Arpan Shah “Investigation of the Effect of Fused Deposition Process Parameter on Compressive Strength and Roughness Properties of Abs-M30 Material”, *IJSRSET*, 2016.



Huỳnh Hữu Nghị, sinh năm 1979, tốt nghiệp kỹ sư chuyên ngành Kỹ Thuật Chế Tạo năm 2001, nhận bằng Thạc sỹ chuyên ngành Kỹ Thuật Cơ Khí năm 2014. Hướng nghiên cứu chính hiện nay: Công nghệ CAD/CAM/CNC, Kỹ thuật chế tạo sản phẩm theo phương pháp bồi đắp vật liệu – Addaptive Manufacturing (in 3D).

ThS. Huỳnh Hữu Nghị tham gia giảng dạy tại Khoa Cơ Khí – Trường Đại học Bách Khoa từ năm 2003. Hiện là giảng viên thuộc Bộ môn Chế Tạo Máy, Khoa Cơ Khí, Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM.



Trần Minh Tôn, sinh năm 1995, sinh viên nhóm 3DprinterCKBK, sinh viên Khoa Cơ khí- Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM khóa 2013. Hướng nghiên cứu chính hiện nay: Công nghệ bồi đắp vật liệu - Additive manufacturing (in 3D).



TS. Nguyễn Hữu Thọ hiện là giảng viên Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM. Hướng nghiên cứu chính: Kỹ thuật chế tạo, Hệ thống sản xuất tự động, Tối ưu hóa và quy hoạch thực nghiệm trong thiết kế kỹ thuật, Hệ thống nâng vận chuyên.



PGS.TS. Thái Thị Thu Hà hiện là giảng viên Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM. Hướng nghiên cứu chính: Thiết kế hệ thống đo công nghiệp, Thiết kế khuôn mẫu, Công nghệ Tạo mẫu nhanh.

Optimizing process parameters to improve the compressive strength of FDM products (Fused Deposition Modeling)

Huynh Huu Nghi, Tran Minh Ton, Nguyen Huu Tho and Thai Thi Thu Ha

Abstract—Nowadays, 3D Printing Technology, also known as AM - Additive Manufacturing plays an important role in the 4.0 industrial revolution. In 3D printing technologies, FDM (Fused Deposition Modeling) technology is the most popular technology. In general, the quality of AM products and FDM depend on the process parameters. The article addressed the issue of optimizing process parameters to improve the compressive strength of the product. The parameters are considered

as the fill pattern, fill density, number of contours, layer thickness and raster angle. The experimental design based on the Taguchi method is employed to identify the optimum process parameters. In addition, ANOVA is also utilized to evaluate the effect of each parameter on the compressive strength of the product.

Keywords—Compressive strength, optimization, FDM, ANOVA, Taguchi.