

Tối ưu hóa thông số quá trình SLM

Optimization parameters of the SLM process

Phan Thanh Minh^{1,*}, Đặng Văn Nghìn²

¹Phòng thí nghiệm điều khiển số và kỹ thuật hệ thống

²Viện cơ học và tin học ứng dụng, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

* Email: 1412310@hcmut.edu.vn

Mobile: 0165 245 45 99

Tóm tắt

Từ khóa:

Độ cứng; Laser nóng chảy chọn lọc;
Thiết kế thực nghiệm; Tối ưu hóa.

Quá trình in 3D kim loại SLM là một quá trình phức tạp có rất nhiều thông số công nghệ khác nhau (130). Bài báo giới thiệu sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến các chỉ tiêu độ cứng tế vi của quá trình SLM. Phần quan trọng của bài báo là việc lựa chọn các thông số công nghệ, cũng như việc phát biểu và giải bài toán tối ưu hóa thông số.

Abstract

Keywords:

Design of experiments; Hardness;
Optimization; Selective Laser
Melting.

The process of 3D metal SLM printing is a complex process that has a lot of different technological parameters (130). This paper presents the influence of technological parameters on the hardness of the SLM process. The important part of the article is the selection of technological parameters, as well as the interpretation and solution of the optimization problem.

Ngày nhận bài: 29/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 14/9/2018

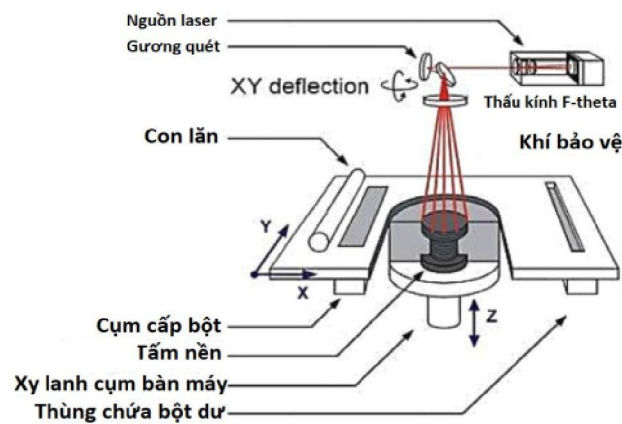
Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Nguyên lý hoạt động của SLM (Selective laser melting)

Công nghệ in 3D kim loại SLM (Selective laser melting) được giới thiệu đầu tiên trên thế giới với bằng sáng chế DE 19649865 vào năm 1995.

Công nghệ SLM hay còn gọi là công nghệ in 3D kim loại - mang những nguyên lý cơ bản của công nghệ bồi đắp vật liệu AM (Additive Manufacturing) đó là xây dựng sản phẩm bằng cách chồng các lớp vật liệu lên nhau cho đến khi hoàn thành sản phẩm. Các lớp được tạo ra bằng cách dùng chùm laser năng lượng cao làm nóng chảy cục bộ vị trí laser chiếu trong điều kiện chân không hoặc khí trơ, kim loại bột có độ rỗng nhất định sau khi laser đi qua bị làm nóng chảy và hóa rắn tạo thành vật liệu mang tính chất của kim loại đặc khối. Sơ đồ nguyên lý cơ bản của công nghệ SLM được thể hiện trên hình 1 dưới đây.

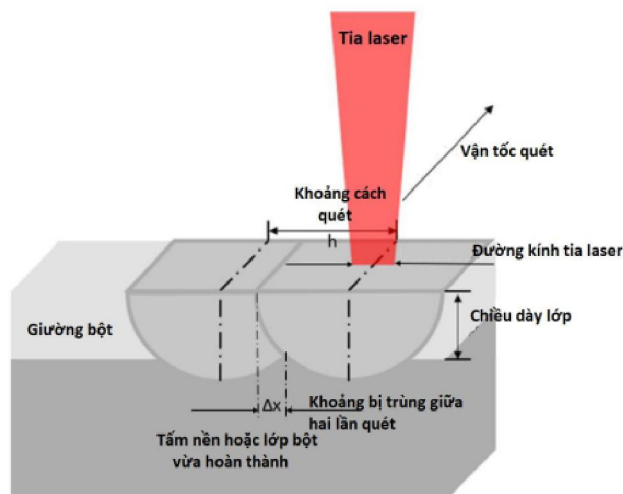


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý quá trình SLM

1.2. Các thông số công nghệ



Hình 2. Các thông số quá trình SLM [1]

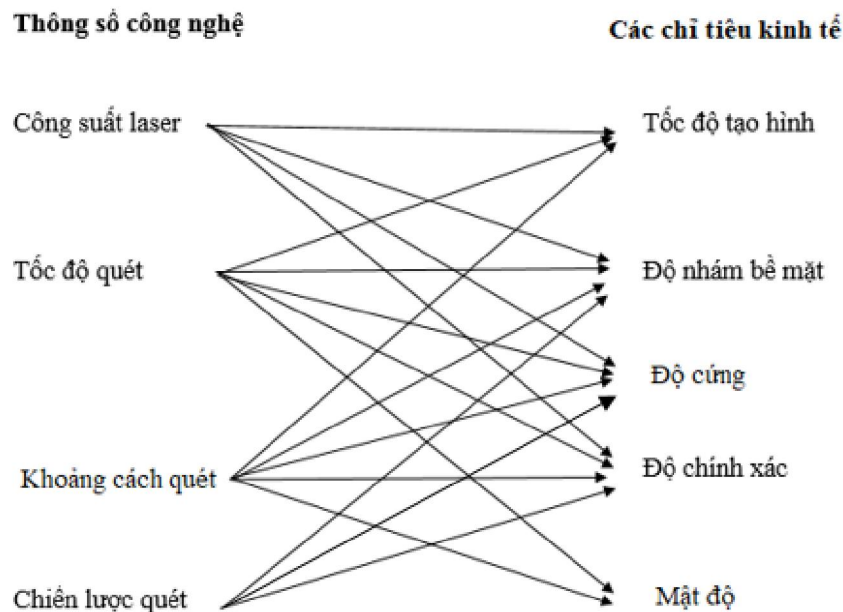


Hình 3. Sơ đồ các thông số quá trình SLM: Công suất laser, khoảng cách quét, vận tốc quét và chiều dày lớp bột [2]

Có khoảng hơn 130 thông số được chia làm 4 nhóm có ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình xây dựng chi tiết, và cuối cùng là về chất lượng của các chi tiết [1]. Một số trong số vốn có đối với vật liệu được chọn như tính dẫn nhiệt, trọng lượng riêng, nhiệt độ nóng chảy, còn nhiều thông số khác. Rõ ràng là tất cả chúng đều có tác động trực tiếp đến công việc xây dựng, nhưng không có cách nào để sửa đổi chúng.

1.3. Các chỉ tiêu đánh giá

Ảnh hưởng của các thông số công nghệ (TSCN) đến tính chất sử dụng (TCSD) được tác giả Ning Yu [3] và B. AlMangour [4] nghiên cứu, khái quát rõ qua hình 4. Chúng ta cũng rút ra được một kết luận chung nhất sau những dẫn chứng cũng như các thông tin đã đề cập trong các mục đã qua rằng: Các TSCN có ảnh hưởng lớn và nhất định đến TCSD của chi tiết được tạo hình qua SLM. Từ đó, để đạt được các tính chất mong muốn của chi tiết tạo hình từ SLM, phải thiết lập các TSCN thích hợp. Hình 4 thể hiện cho chúng ta thấy những đường mũi tên kết nối mỗi TSCN này với thuộc tính chất lượng sản phẩm (CLSP), TCSD mà TSCN đó ảnh hưởng mạnh.



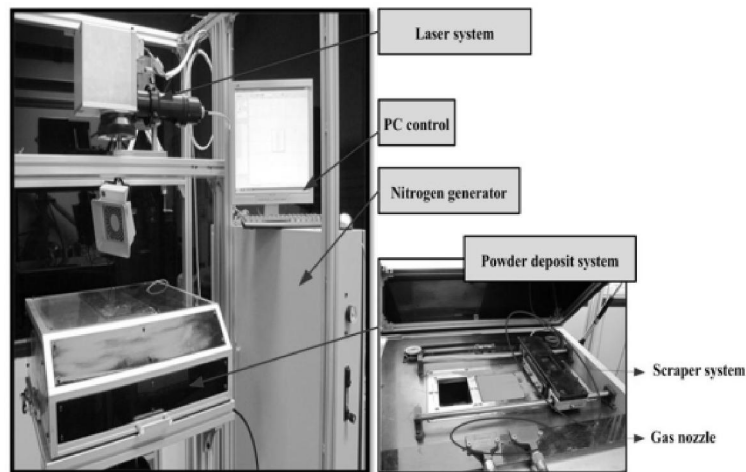
Hình 4. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến CLSP và TCSD

Do đó việc tối ưu hóa các thông số quá trình có ảnh hưởng và ý nghĩa to lớn trong việc nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm SLM.

1.4. Bố trí thí nghiệm

1.4.1. Máy thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trên máy SLM (The national metal and Materials Technology Centre, Thailand) như hình 5 với thông số kỹ thuật bảng 1.



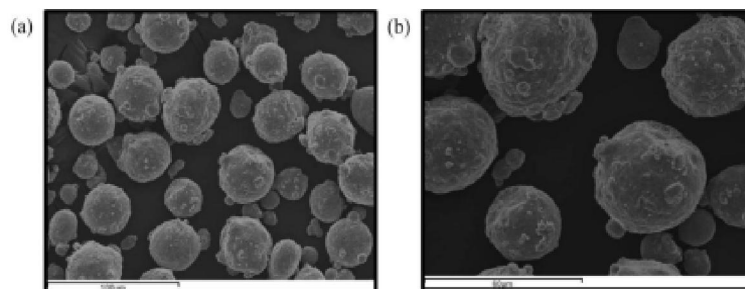
Hình 5. Máy SLM được phát triển bởi The national metal and Materials Technology

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của máy được sử dụng trong SLM

Lazer	Loại	Sợi Lazer
	Bước sóng	1,064 μm
	Chế độ	CW và xung
	Công suất tối đa trên phôi	$\sim 300W$ (CW)
	Đường kính chùm trung bình	$\sim 80 \mu m$
	M^2 (Chất lượng chùm)	1,05
Buồng cháy	Hệ thống lắng đọng bột	Recoater với 1 scraper
	Chiều dày lớp bột	Tối thiểu $\sim 100 \mu m$
	Bàn máy làm việc	100mm x 100 mm
	Điều khiển mức độ Oxygen	Dòng khí liên tục

1.4.2. Đặc tính bột

Thép không gỉ 316L được sử dụng trong thí nghiệm ở dạng bột đã qua xử lý (độ tinh khiết 99%) cho quá trình SLM. Hình 6 cho biết các hình thái học của bột thép không gỉ 316L. Bột này có dạng hình cầu và kích thước hạt trung bình khoảng 36,6 μm . Thành phần của bột này là Fe cân đối, 16,9% Cr, Ni 10,9%, 2,1% Mo, 1,36% Mn, 0,46% Si, 0,029% P, 0,015% S, 0,016% C. Bảng 2 cho thấy giá trị của một số tính chất vật lý của thép không gỉ 316L.



Hình 6. a, Ảnh hiển vi SEM điển hình của dạng hạt 316L SS và b, hình ảnh phóng đại cao hơn

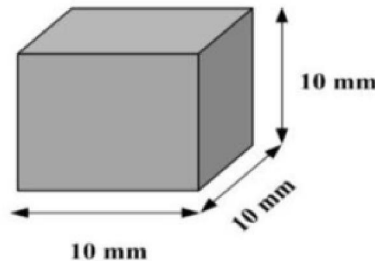
Bảng 2. Một số đặc tính vật lý của thép không gỉ 360L (Gusarow et al.2007)

Mật độ ($\rho - kg/m^3$)	4700
Điểm nóng chảy ($T_m - K$)	1,783
Nhiệt nóng âm nóng chảy	272,500
Dẫn nhiệt ở nhiệt độ phòng ($\lambda - W/mK$)	20
Nhiệt dung riêng tại nhiệt độ phòng ($C_p - J/kgK$)	500
Hệ số phản xạ (R)	0,7

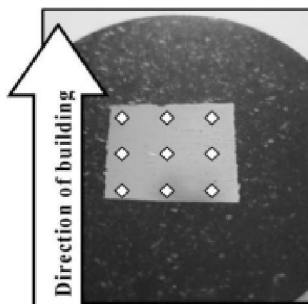
1.4.3. Mẫu

Mẫu đánh giá phải có một số yêu cầu cần phải có hoặc đạt được như:

- Kích thước quan trọng cần thực hiện vừa và đủ nhỏ để tạo điều kiện kiểm soát chất lượng có kích thước 10x10x10mm như hình 7.
- Dễ đo lường, không tiêu tốn nhiều vật liệu và thời gian tạo hình không quá lâu.

**Hình 7.** Mẫu được sản xuất từ máy SLM để đo độ cứng, độ nhám bề mặt, độ chính xác và độ xốp**1.4.4. Kiểm tra độ cứng tế vi Vickers**

Độ cứng của mẫu 32 bằng thép không gỉ 316L SLM được xác định bằng phương pháp kiểm tra độ cứng tế vi Vickers (ASTM C1327-03) với một máy đo kiểm tra độ cứng tế vi (Mitutoyo AVK-C2) như hình 9. Độ cứng được đo bằng cách chịu tải trọng 400 g trong 15 giây. Các vị trí lõm được xác định bằng cách sử dụng lưới 3x3 với khoảng cách 2,5 mm giữa mỗi vị trí Hình 8.

**Hình 8.** Chuẩn bị kiểm tra độ cứng cho chi tiết



Hình 9. Máy kiểm tra độ cứng, Mitutoyo AVK-C2

2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TOÁN TỐI ƯU HÓA

2.1. Phát biểu bài toán tối ưu hóa một mục tiêu

Mục tiêu của bài toán tối ưu hóa là xác định giá trị các thông số công nghệ sao cho hàm mục tiêu đạt cực trị.

Hàm số mô tả quan hệ giữa chỉ tiêu tối ưu và các thông số công nghệ gọi là hàm mục tiêu. Bài toán tối ưu hóa được phát biểu dưới dạng toán học như sau:

Hàm xác định các giá trị x_i sao cho:

$$\begin{aligned} \text{Hàm mục tiêu:} \quad & Y(x) \rightarrow \max & x &= (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \\ \text{thỏa mãn:} \quad & c_i(x) \geq 0, & i &= 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (1)$$

Ở bài báo này ta dùng chỉ tiêu tối ưu là: Tối độ cứng chi tiết SLM.

2.2. Giải bài toán tối ưu hóa

Bản chất của công nghệ bồi đắp vật liệu là nguyên lý bồi đắp theo lớp nên độ nhám bề mặt tương đối cao khó - cải thiện. Vì thế rất ít tác giả nghiên cứu trong đó có Ning Yu [3] với công suất laser từ 80 - 200W, tốc độ quét từ 100 - 250 mm/s, khoảng cách quét từ 0,14 - 0,24mm và chiều dày lớp bột từ 0,04 - 0,16 mm thì độ nhám bề mặt đạt được từ 17 - 21 μm . Hầu hết họ tập chung vào các đặc tính quan trọng của công nghệ này là mật độ, độ cứng, tốc độ tạo hình ở đây ta chọn chỉ tiêu tối ưu là độ cứng và ràng buộc là: $80,03\% \leq \text{Mật độ} \leq 99,3\%$ và $0,93 \text{ cm}^3/h \leq \text{Tốc độ tạo hình} \leq 2,58 \text{ cm}^3/h$.

2.2.1. Nhập dữ liệu

Thông số quá trình được giới hạn bao gồm công suất laser (25-225W), tốc độ quét (50-320 mm/s), khoảng cách quét (0,04 - 0,06 mm) và chiến lược quét (có hay không chia vùng quét trung gian trong mặt cắt). Số liệu được lấy trên thí nghiệm [5] được nhập vào như sau:

Bảng 3. Kí hiệu và mức tương ứng của các thông số công nghệ

Biến	X_i	Cấp	
		Thấp (-)	Cao (+)
Công suất laser (W)	X_1	75	175
Tốc độ quét (mm/s)	X_2	80	200
Khoảng cách quét (mm)	X_3	0.04	0.06
Chiến lược quét (mm)	X_4	5 (chia vùng quét trung gian trong mặt cắt)	10(quét xuyên suốt mặt cắt)

Bảng 4. Số liệu thí nghiệm được nhập vào phần mềm minitab

↓	C1	C2	C3	C4	C5	↓	C1	C2	C3	C4	C5
	X1	X2	X3	X4	Y		X1	X2	X3	X4	Y
1	75	200	0,04	10	208,42	17	75	200	0,06	10	202,02
2	75	200	0,04	10	208,46	18	75	200	0,06	10	203,30
3	175	200	0,04	10	219,50	19	175	200	0,06	10	216,14
4	175	200	0,04	10	219,87	20	175	200	0,06	10	215,94
5	75	200	0,04	5	212,15	21	75	200	0,06	5	209,91
6	75	200	0,04	5	211,71	22	75	200	0,06	5	209,00
7	175	200	0,04	5	229,13	23	175	200	0,06	5	223,49
8	175	200	0,04	5	227,70	24	175	200	0,06	5	222,53
9	75	80	0,04	10	208,34	25	75	80	0,06	10	214,40
10	75	80	0,04	10	208,97	26	75	80	0,06	10	215,15
11	175	80	0,04	10	227,66	27	175	80	0,06	10	226,39
12	175	80	0,04	10	228,26	28	175	80	0,06	10	226,39
13	75	80	0,04	5	213,30	29	75	80	0,06	5	214,75
14	75	80	0,04	5	214,15	30	75	80	0,06	5	214,44
15	175	80	0,04	5	226,29	31	175	80	0,06	5	222,06
16	175	80	0,04	5	225,21	32	175	80	0,06	5	221,33

2.2.2. Xử lý dữ liệu

Sau quá trình phân tích phương sai ta được phương trình hồi quy chỉ tiêu độ cứng:

Độ cứng:

$$Y = 217,1 + 6,5X_1 - 2,1X_2 - X_3 - 1,5X_4 + b_{0,3}X_1X_2 - 0,8X_1X_3 + 0,4X_1X_4 - 1,2X_2X_3 - 1,8X_2X_4 + 0,4X_3X_4 + 0,8X_1X_2X_3 - X_1X_2X_4 - 0,6X_2X_3X_4 + 0,5X_1X_2X_3X_4$$

Kết quả độ nằm trong tin cậy $R^2 = 99,47\%$. Các sự tương tác không ảnh hưởng đáng kể đến kết quả ($P > 0,05$) đã bị loại bỏ khỏi phương trình.

3. KẾT QUẢ

Sử dụng phần mềm Minitab để giải bài toán tối ưu ta nhận được kết quả sau:

Độ cứng đạt giá trị tối ưu là $Y_{max} = 228,3 HV$

Khi các TSCN ở giá trị: $X_1 = 175W$; $X_2 = 200mm/s$; $X_3 = 0,04mm$; $X_4 = 5mm$ (Chia vùng quét trung gian trong mặt cắt).

Vậy các thông số chế tạo: Công suất laser, tốc độ quét, khoảng cách quét và chiến lược quét có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng của chi tiết. Và với các điều kiện tối ưu công suất laser

là 175W, tốc độ quét 200mm/s, khoảng cách quét 0,04 mm và chiến lược quét 5mm có thể tạo ra chi tiết có độ cứng 228,3 HV.

4. HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Giải các bài toán tối ưu hóa khác như mật độ, tốc độ tạo hình và bài toán đa mục tiêu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. C.Y.Yap, C.K.Chua., 2015. *Review of selective laser melting: Materials and applications.*
- [2]. Nesma T.Aboulkhai., 2014. *Reducing porosity in AlSi10Mg parts processed by selective laser melting.*
- [3]. Ning Yu., 2005. *Process Parameter Optimization for Direct metal laser sintering.*
- [4]. B. AlMangour., 2016. *EFFECT OF SCANNING METHODS IN THE SELECTIVE LASER MELTING OF 316L/TiC NANOCOMPOSITIES.*
- [5]. Laohaprapanon, Apinya., 2011.Thailand : Prince of Songkla University. *Study of the Optimized Parameters of Stainless Steel 316L Powder for Rapid Prototyping Based on Selective Laser Melting Technique.*