

## Ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chất lượng đường đơn khi tạo hình thép không gỉ 316L bằng công nghệ bồi đắp kim loại trực tiếp bằng laser

Dương Văn Ngụy, Ngô Minh Tú, Nguyễn Văn Quân,  
Nguyễn Tài Hoài Thanh, Lê Văn Văn, Đoàn Tất Khoa\*

Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự.

\*Email: khoadt@lqdtu.edu.vn

Nhận bài: 01/3/2023; Hoàn thiện: 15/4/2023; Chấp nhận đăng: 19/4/2023; Xuất bản: 25/6/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.88.2023.154-161>

### TÓM TẮT

*Bồi đắp kim loại trực tiếp bằng laser (Direct Laser Metal Deposition-DLMD) là công nghệ tạo hình hiện đại, có tiềm năng ứng dụng lớn trong các ngành công nghiệp trọng điểm. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng tới chất lượng lớp tạo hình, trong đó, các thông số công nghệ có ảnh hưởng rất lớn. Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ: công suất laser ( $P$ ), lưu lượng cấp bột ( $M_p$ ), tốc độ quét của đầu phun ( $V$ ) đến các đặc trưng hình học của lớp tạo hình: chiều cao ( $h$ ), chiều rộng ( $W_c$ ) và độ sâu ( $h_{mix}$ ) khi tạo hình vật liệu 316L bằng công nghệ DLMD. Kết quả cho thấy: Công suất laser có ảnh hưởng lớn nhất đến chiều rộng đường đơn (chiếm 45,97%) và chiều sâu đường đơn (chiếm 42,05%); Trong khi đó, lưu lượng cấp bột ảnh hưởng lớn nhất đến chiều cao đường đơn (chiếm 58,44%).*

**Từ khoá:** Công nghệ bồi đắp trực tiếp bằng laser; DLMD; Laser; 316L.

### 1. MỞ ĐẦU

Bồi đắp kim loại trực tiếp bằng laser là công nghệ tạo hình quan trọng, được phát triển nhanh chóng trong những năm gần đây [1]. Các chi tiết được tạo hình theo từng lớp bằng cách nung chảy vật liệu bột bằng chùm tia laser thông qua đầu phun trong hệ thống DLMD. Đầu phun có thể là loại đầu phun đồng trục hoặc không đồng trục. Trong đó, đầu phun đồng trục (liên tục hoặc gián đoạn) được sử dụng phổ biến. Do DLMD chủ yếu liên quan đến sự tương tác giữa chùm tia laser và dòng bột, nên việc nghiên cứu quá trình phun bột để nâng cao chất lượng chế tạo và hiệu suất sử dụng vật liệu có ý nghĩa quan trọng [2, 3]. Đặc biệt, DLMD còn cho phép tạo ra các chi tiết có biên dạng hình học phức tạp từ nhiều loại kim loại với thời gian ngắn [4]. So với công nghệ truyền thống, DLMD có hệ số sử dụng vật liệu cao hơn, chi tiết được tạo bởi công nghệ DLMD cần ít thời gian hơn cho gia công lần cuối. Năng suất của quá trình và chất lượng tạo hình phụ thuộc nhiều vào chất lượng và hình dạng của vòi phun [5, 6].

Trong quá trình tạo hình bằng công nghệ DLMD, đường đơn là đơn vị cơ bản để hình thành nên vật thể. Các đặc trưng về kích thước, hình dáng hình học của đường đơn này ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sản phẩm. Do đó, nghiên cứu quy luật ảnh hưởng của các tham số công nghệ đến các đặc trưng về kích thước mặt cắt ngang đường đơn, từ đó tìm ra phạm vi tham số công nghệ hợp lý, đây là cơ sở để nâng cao chất lượng sản phẩm. Hiện nay, có một số nghiên cứu nâng cao độ chính xác sản phẩm thông qua tối ưu hóa tham số công nghệ [7, 8], tuy nhiên, để tìm được phạm vi tham số công nghệ hợp lý cần tiến hành một số lượng lớn các thí nghiệm. Phòng thí nghiệm RP thuộc trường đại học công nghiệp Tây Bắc-Trung Quốc đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của quá trình quét thuận và quét nghịch của đầu phun lệch trục tới độ chính xác lớp tạo hình. Kết quả nghiên cứu cho thấy: đầu phun lệch trục chỉ thích hợp tạo hình những chi tiết có hình dạng đơn giản mà không thích hợp tạo hình những chi tiết có biên dạng đường cong phức tạp [9]. Đầu phun đồng trục có khả năng khắc phục được nhược điểm trên của đầu phun lệch trục. Dòng bột có phân bố đều trong không gian và đồng trục với chùm laser, do đó, không chịu ảnh hưởng của hướng quét và biên dạng quét.

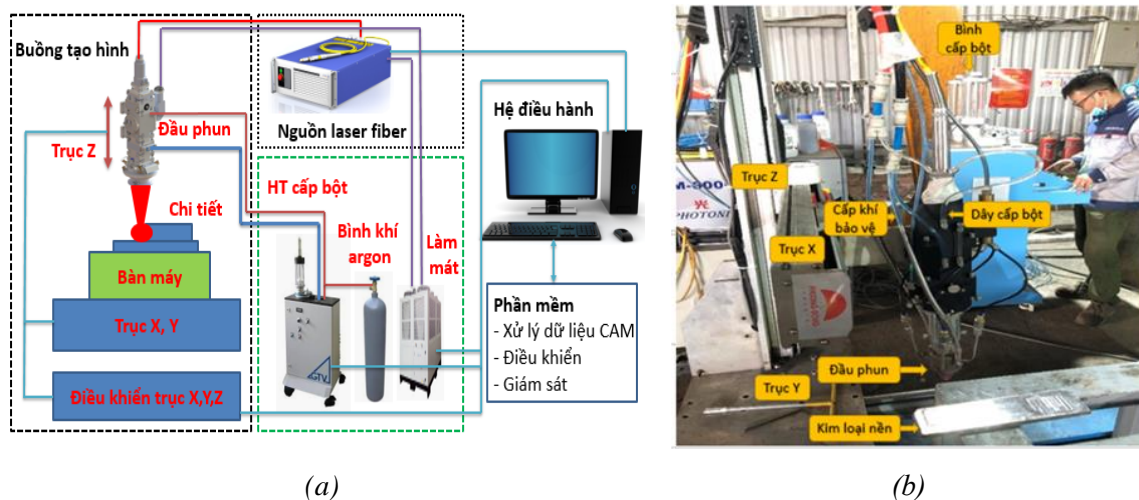
Ngoài ra, khi tạo hình các loại vật liệu chịu nhiệt, nếu hàm lượng ô xi trong buồng tạo hình quá lớn rất dễ hình thành lớp ô xít, tạp chất trong lớp tạo hình, có ảnh hưởng lớn đến độ chính xác về hình học, tổ chức tế vi và cơ tính sản phẩm. Do đó, trong quá trình tạo hình phải khống chế hàm lượng ô xi ở mức độ cho phép nhất định để ngăn chặn sự hình thành ô xít giữa các lớp tạo hình. Phòng thí nghiệm Sandia của Mỹ trong quá trình tạo hình yêu cầu khống chế hàm lượng ô xi ở mức 2÷3 ppm [10]. Phòng thí nghiệm Los Alamos (DLF) khống chế hàm lượng ô xi dưới 10 ppm [11]. Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia Canada (LC) khi tạo hình hợp kim inconel 738 khống chế hàm lượng ô xi ở mức nhỏ hơn 50 ppm [12]. Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia - Đại học công nghiệp Tây Bắc, Trung quốc khi tạo hình sản phẩm khống chế hàm lượng ô xi ở mức 150 ppm [13]. Những nghiên cứu kể trên đã chỉ ra được một số phương pháp nâng cao độ chính xác tạo hình. Tuy nhiên, do tính phức tạp của công nghệ nên vẫn còn rất nhiều vấn đề liên quan đến độ chính xác tạo hình chưa được đi sâu nghiên cứu. Ngoài ra, các báo cáo chỉ dừng lại ở việc thông báo kết quả nghiên cứu, còn về vấn đề cơ sở lý thuyết và công nghệ thì luôn được bảo mật, không công bố công khai.

Bài báo lựa chọn loại vật liệu là thép không gỉ 316L làm đối tượng nghiên cứu. Vật liệu này được ứng dụng rất nhiều trong ngành hàng không vũ trụ và các ngành công nghiệp trọng điểm khác [14, 15]. Phương pháp thực nghiệm Taguchi đã được sử dụng trong bài báo để xác định quy luật ảnh hưởng của các tham số công nghệ đến kích thước đường đơn, làm cơ sở xác định phạm vi tham số công nghệ hợp lý để tạo hình đường đơn.

## 2. MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

### 2.1. Thiết bị thực nghiệm

Thiết bị thí nghiệm là hệ thống tạo hình DLMD, bao gồm hệ thống bàn máy có kích thước (3500x1400x1600 mm), hệ thống laser có công suất 500W, hệ thống chuyển động CNC 3 trục, hệ thống cấp bột tự động, bộ phận làm mát và khí Argon bảo vệ, đầu laser cấp bột đồng trục liên tục. Sơ đồ nguyên lý và thiết bị thể hiện trong hình 1.



**Hình 1.** Hệ thống DLMD: (a) Sơ đồ nguyên lý; (b) Hình ảnh thiết bị.

### 2.2. Vật liệu thí nghiệm

Vật liệu nền là thép SS304 dạng tấm, có kích thước 200x200x5 mm<sup>3</sup>. Trước khi thí nghiệm, tấm nền được đánh bóng và làm sạch bằng cồn, axeton để tẩy dầu mỡ trên bề mặt. Để cải thiện tính chảy lỏng của lớp bột tạo hình lên lớp bề mặt của vật liệu nền, tấm nền được sấy khô ở nhiệt độ 80 °C trong 10 phút.

Vật liệu tạo hình được sử dụng là bột thép không gỉ 316L dạng bột, có kích thước hạt 15~50 µm, thành phần hóa học như bảng 1 thể hiện.

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của bột kim loại 316L Wt(%).

Thành phần	C	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe	O
Hàm lượng	0,02	1,06	0,005	0,003	17	12	2,04	Cân bằng	0,02

### 2.3. Thiết kế thực nghiệm

Ảnh hưởng đến các chỉ tiêu về kích thước đường đơn trong công nghệ DLMD có các thông số như sau: Công suất laser; Lưu lượng cấp bột; Tốc độ đầu phun; Đường kính hội tụ chùm tia laser; Khoảng cách từ đầu phun tới tấm nền; nhiệt độ tấm nền,... Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả chỉ xét ảnh hưởng của 3 thông số công nghệ là Công suất laser; Lưu lượng cấp bột; Tốc độ đầu phun. Lý do là các thông số khác bị ràng buộc bởi điều kiện tạo hình và thường cố định, rất khó thay đổi trong quá trình tạo hình, do đó, thường không được xem xét và coi như một thông số mặc định:

Đường kính hội tụ chùm tia laser: đây là thông số rất khó thay đổi, phụ thuộc vào thấu kính hội tụ trong đầu phun, mỗi đầu phun chỉ sử dụng một thấu kính hội tụ, do đó, đường kính hội tụ chùm tia laser không đổi trong suốt quá trình tạo hình.

Khoảng cách từ đầu phun tới tấm nền: trong quá trình tạo hình, yêu cầu bắt buộc là vùng hội tụ của chùm tia laser và vùng hội tụ của dòng bột phải trùng nhau và nằm trên tấm nền (hoặc lớp tạo hình phía trước), do đó, trước khi tạo hình phải xác định được thông số này, và giá trị của nó sẽ không được thay đổi trong suốt quá trình tạo hình.

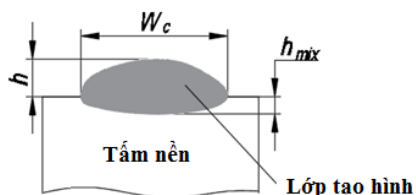
Nhiệt độ tấm nền: Trong quá trình tạo hình, vùng nóng chảy sẽ truyền nhiệt xuống tấm nền và làm nhiệt độ tấm nền tăng lên. Trong một số nghiên cứu trước đây đã chỉ ra nhiệt độ tấm nền không ảnh hưởng đến độ chính xác về hình dáng, kích thước lớp tạo hình, do đó, trong nghiên cứu này không xét đến ảnh hưởng của nhiệt độ tấm nền.

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi L<sub>9</sub> để nghiên cứu ảnh hưởng của 3 thông số công nghệ ứng với 3 mức biến đổi.

**Bảng 2.** Các yếu tố điều khiển và các mức.

Thông số	Các mức		
	Mức 1	Mức 2	Mức 3
Tốc độ quét đầu phun V (mm/s)	8,0	9,0	10,0
Công suất Laser P (W)	230,0	250,0	270,0
Lưu lượng cấp bột M <sub>p</sub> (g/phút)	8,0	10,0	12,0

Hàm mục tiêu của thiết kế thí nghiệm là các đặc trưng của đường đơn đơn vật liệu 316L được tạo hình bằng công nghệ DLMD: chiều rộng đường đơn  $W_c$ , chiều cao đường đơn  $h$ , chiều sâu đường đơn  $h_{mix}$ . Hình 2 thể hiện các đặc trưng của mặt cắt ngang đường đơn đơn.



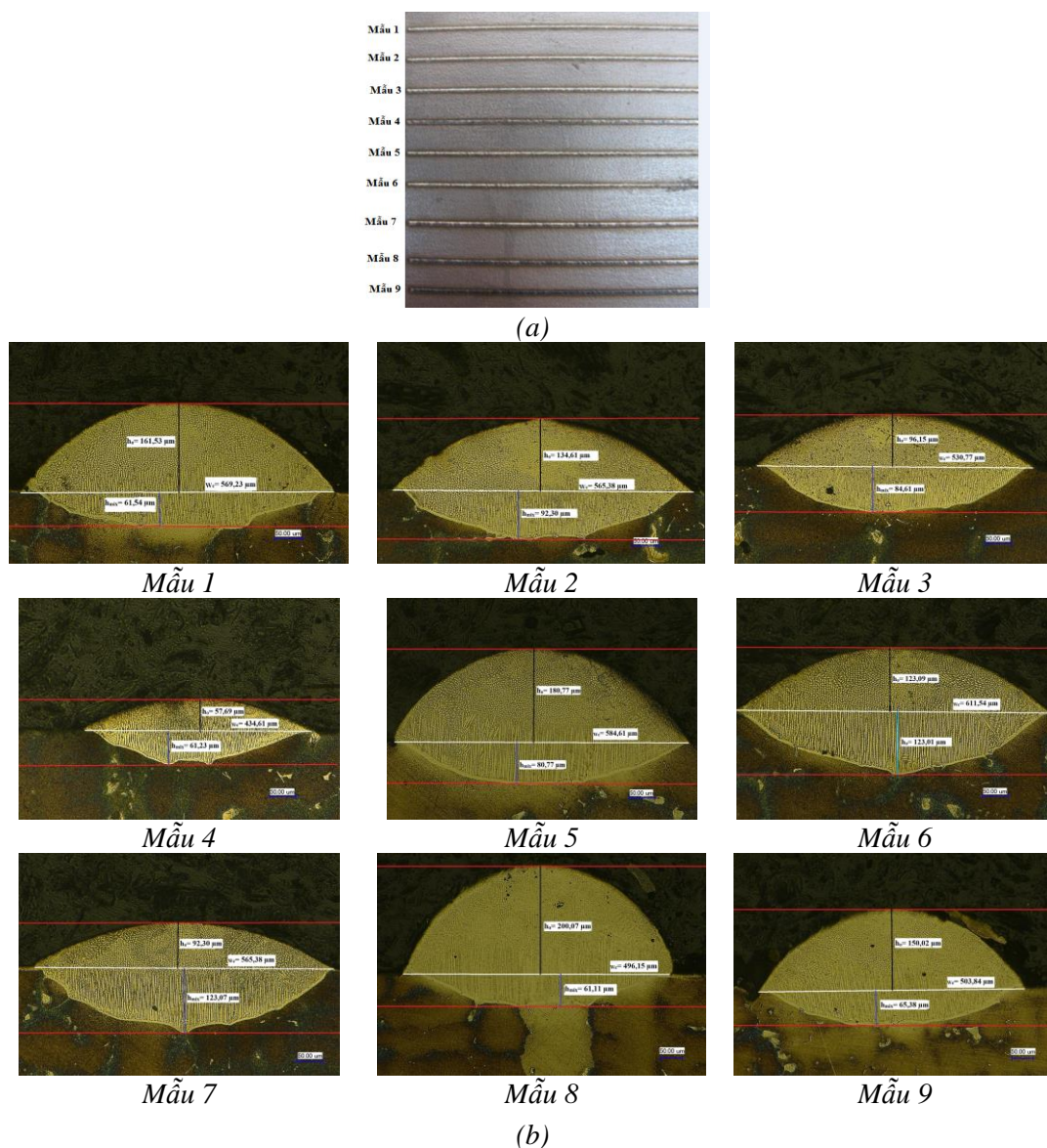
**Hình 2.** Mô hình mặt cắt ngang đường đơn.

Các đường đơn được tạo hình có chiều dài 100 mm, sau đó, được cắt bằng máy cắt dây. Các mẫu mặt cắt ngang được đánh bóng, sau đó được quan sát và đo các thông số trên máy đo quang học.

## 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Kết quả thí nghiệm

Sau khi tạo hình xong, các mẫu đường đơn như thể hiện trong hình 3(a), mặt cắt ngang đường đơn được thể hiện trong hình 3(b). Kết quả đo các đặc trưng của đường đơn thể hiện trong bảng 3.



Hình 3. Kết quả thực nghiệm: a) Các đường đơn; b) Mặt cắt ngang của một mẫu.

Bảng 3. Kết quả thực nghiệm.

TT	Tốc độ chạy đầu phun (mm/s)	Công suất laser (W)	Lưu lượng cấp bột (g/phút)	Các thông số mặt cắt ngang		
				W (mm)	H (mm)	h (mm)
1	8	230	8	0,434	0,058	0,061
2	8	250	10	0,565	0,135	0,092
3	8	270	12	0,584	0,181	0,081
4	9	230	10	0,504	0,150	0,065
5	9	250	12	0,496	0,200	0,061
6	9	270	8	0,565	0,092	0,123
7	10	230	12	0,569	0,162	0,061
8	10	250	8	0,531	0,096	0,084
9	10	270	10	0,611	0,123	0,123

### 3.2. Thảo luận kết quả và bình luận

#### 3.2.1. Xác định tỷ số nhiễu

Theo phương pháp Taguchi, lựa chọn theo tiêu chí định mức tốt nhất thì tỷ số nhiễu được xác định theo công thức:

$$(S/N)_i = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^u y_i - \bar{y}_i \right)^2 ; i = 1 \dots 9 \quad (1)$$

**Bảng 4.** Kết quả tính tỷ số nhiễu.

TT	Ảnh hưởng của P, M <sub>p</sub> , V đến W <sub>c</sub>		Ảnh hưởng của P, M <sub>p</sub> , V đến h		Ảnh hưởng của P, M <sub>p</sub> , V đến h <sub>mix</sub>	
	$(y_i - \bar{y}_i)^2$	S/N	$(y_i - \bar{y}_i)^2$	S/N	$(y_i - \bar{y}_i)^2$	S/N
1	0,0112125	29,045	0,0056601	32,014	0,0004999	42,553
2	0,0006306	41,545	0,0000028	65,105	0,0000743	50,831
3	0,0019458	36,651	0,0022912	35,942	0,0000085	60,268
4	0,0012880	38,443	0,0002981	44,798	0,0003348	44,294
5	0,0019262	36,695	0,0045114	32,999	0,0005094	42,472
6	0,0006306	41,545	0,0016511	37,365	0,0015517	37,634
7	0,0008475	40,261	0,0008161	40,425	0,0004901	42,639
8	0,0000790	50,565	0,0013567	38,218	0,0000009	70,162
9	0,0050568	32,504	0,0000967	49,688	0,0015469	37,648

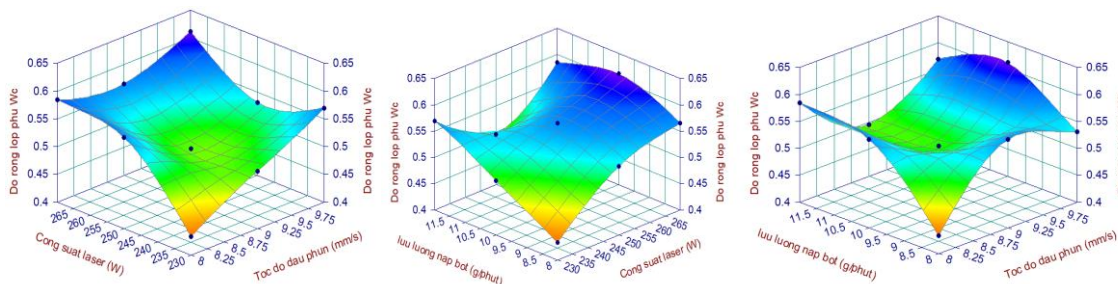
#### 3.2.2. Ảnh hưởng của P, M<sub>p</sub>, V đến W<sub>c</sub>

Xét ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới chiều rộng đường đơn: Dựa trên kết quả tính tỷ số nhiễu ta lập bảng phân tích, tính giá trị trung bình tỷ số nhiễu cho mỗi yếu tố ở các mức khác nhau.

**Bảng 5.** Bảng phân tích đánh giá kết quả.

Mức biến đổi	S/N trung bình theo các mức		
	V	P	M <sub>p</sub>
1	35,747	35,916	40,385
2	38,894	42,935	37,497
3	41,110	36,900	37,869
Delta	5,362	7,018	2,887
% ảnh hưởng	35,12	45,97	18,91

Dựa vào kết quả thí nghiệm, xác định được mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều rộng đường đơn W<sub>c</sub> được xếp theo thứ tự giảm dần: Công suất laser, chiếm: 45,97% > Tốc độ chạy đầu phun, chiếm: 35,12% > Lưu lượng cấp bột, chiếm: 18,91%.



**Hình 4.** Ảnh hưởng của P, V, M<sub>p</sub> đến chiều rộng đường đơn W<sub>c</sub>.

Hình 4 mô tả ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều rộng đường đơn. Trên hình 4 có thể quan sát thấy rất rõ vùng giá trị cao nhất  $W_c = 0,61$  mm đạt giá trị cao nhất ứng với công suất laser là 270 W, tốc độ đầu phun 10 mm/s và lưu lượng cấp bột là 10 g/phút. Điểm thấp nhất tương ứng với  $W_c = 0,43$  mm với giá trị công suất laser là 230 W và tốc độ đầu phun 8 mm/s và lưu lượng cấp bột 8 g/phút.

**3.2.3. Ảnh hưởng của P,  $M_p$ , V đến chiều cao đường đơn h**

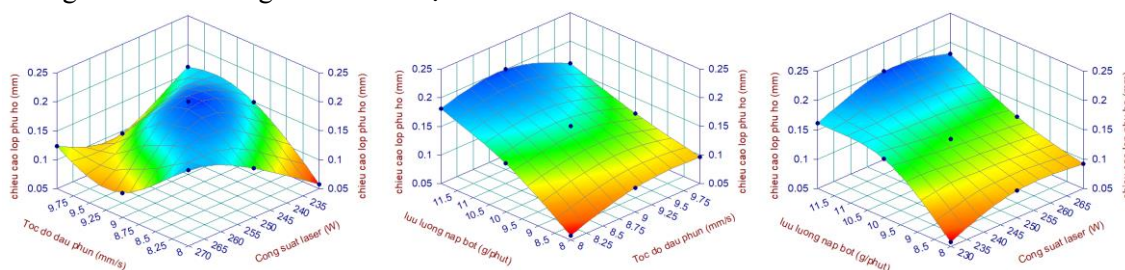
Xét ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới chiều cao đường đơn h: Lập bảng phân tích, đánh giá kết quả dựa trên tỷ số nhiễu S/N cho mỗi thí nghiệm, tính giá trị trung bình tỷ số nhiễu cho mỗi yếu tố ở các mức khác nhau.

**Bảng 6. Bảng phân tích đánh giá kết quả.**

Mức biến đổi	S/N trung bình theo các mức		
	V	P	$M_p$
1	44,354	39,079	35,866
2	38,387	45,441	53,197
3	42,777	40,998	36,455
Delta	5,966	6,362	17,332
% ảnh hưởng	20,11	21,45	58,44

Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều cao đường đơn h được đánh giá như sau: Lưu lượng cấp bột ảnh hưởng lớn nhất với giá trị 58,44%; trong khi đó, tốc độ quét đầu phun và công suất laser có giá trị xấp xỉ bằng nhau, lần lượt chiếm: 20,11 và 21,45%.

Xây dựng đồ thị đánh giá ảnh hưởng riêng rẽ của các thông số công nghệ đến chiều cao đường đơn h như trong hình 5 thể hiện.



**Hình 5. Ảnh hưởng của P, V,  $M_p$  đến chiều cao đường đơn h.**

Từ đồ thị của hình 5, chiều cao đường đơn đạt giá trị cao nhất  $h_0 = 0,2$  mm ứng với công suất laser là 250 W, tốc độ đầu phun 9 mm/s và lưu lượng cấp bột 12 g/phút. Giá trị thấp nhất của đường đơn  $h_0 = 0,05$  (mm) tương ứng với công suất laser là 230 W, tốc độ đầu phun 8 mm/s và lưu lượng 8 g/phút.

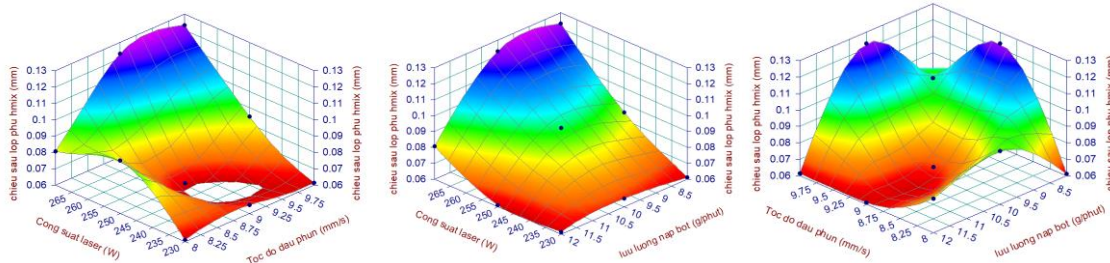
**3.2.4. Ảnh hưởng của P,  $M_p$ , V đến chiều sâu  $h_{mix}$**

Dựa trên số liệu tỷ số nhiễu, xét ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới chiều sâu đường đơn  $h_{mix}$ , giá trị trung bình tỷ số nhiễu cho mỗi yếu tố ở các mức khác nhau.

**Bảng 7. Bảng phân tích đánh giá kết quả.**

Mức biến đổi	S/N trung bình theo các mức		
	V	P	$M_p$
1	51,217	43,162	50,117
2	41,467	54,489	44,258
3	50,150	45,183	48,460
Delta	9,751	11,326	5,859
% ảnh hưởng	36,20	42,05	21,75

Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều rộng đường đơn  $h_{mix}$  được xếp theo thứ tự lần lượt như sau: Công suất laser, chiếm 42,05%; tốc độ chạy đầu phun, chiếm 36,20% và lưu lượng cấp bột, chiếm 21,75%; Xây dựng đồ thị đánh giá ảnh hưởng riêng rẽ của các thông số công nghệ đến chiều sâu đường đơn  $h_{mix}$ :



Hình 6. Ảnh hưởng của  $P$ ,  $V$ ,  $M_p$  đến chiều sâu đường đơn  $h$ .

Từ đồ thị ảnh hưởng của các thông số công nghệ, ta nhận thấy giá trị  $h_{mix}$  đạt giá trị cao nhất tương ứng với lưu lượng cấp bột 10 và 8 g/phút và tốc độ đầu phun tương ứng 10 và 9 mm/s. Giá trị thấp nhất của độ sâu đường đơn với  $h_{mix} = 0,0611$  mm tại điểm có lưu lượng cấp bột là 12 g/phút, tốc độ đầu phun 9 mm/s và công suất laser là 250 W.

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã đánh giá được ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến các thông số hình học mặt cắt đường đơn khi tạo hình vật liệu thép không gỉ 316L bằng công nghệ DLMD. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều rộng đường đơn  $W_c$  được xếp theo thứ tự giảm dần: Công suất laser (45,97%) > Tốc độ chạy đầu phun (35,12%) > Lưu lượng cấp bột (18,91%).

Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều cao đường đơn  $h$  chủ yếu là lưu lượng cấp bột (58,44%); trong khi đó tốc độ quét đầu phun và công suất laser có giá trị xấp xỉ bằng nhau, lần lượt chiếm: 20,11 và 21,45%.

Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều sâu lớp tạo hình  $h_{mix}$  lần lượt như sau: Công suất laser ảnh hưởng lớn nhất (42,05%); sau đó đến tốc độ chạy đầu phun (36,20%) và cuối cùng là lưu lượng cấp bột (21,75%)

Do vậy, để tăng chiều rộng và chiều sâu của đường đơn tạo hình thì ta tăng công suất laser; còn khi nào muốn tăng chiều cao đường đơn thì ta tăng lưu lượng cấp bột.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của đề tài mã số KC4.0-15/19-25 thuộc Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp Quốc gia giai đoạn đến năm 2025 “Hỗ trợ nghiên cứu, phát triển và ứng dụng công nghệ của của công nghiệp 4.0”, Mã số: KC-4.0/19-25.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dong- Gyu Ahn, “Directed Energy Deposition (DED) Process: State of the Art”, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology 8:703–742, ISSN 2198-0810, (2021).
- [2]. Corbin, D.J et al., “Effect of directed energy deposition processing parameters on laser deposited Inconel 718”: External morphology. J. Laser Appl. 29, 22001, (2017).
- [3]. Wang, Z et al., “Effect of processing parameters on microstructure and tensile properties of austenitic stainless steel 304L made by directed energy deposition additive manufacturing” Acta Mater. 110, 226–235, (2016).
- [4]. Boisselier, D. and Sankaré, S. “Influence of Powder Characteristics in Laser Direct Metal Deposition of SS316L for Metallic Parts Manufacturing” Phys. Procedia 39, 455–463, (2012).
- [5]. Daniel René Tasé Velázquez1 et al.; “Prediction of geometrical characteristics and process parameter optimization of laser deposition AISI 316 steel using fuzzy inference”, The International

- Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, (2021).
- [6]. Mohammad Ansaria et al.; "Laser directed energy deposition of water-atomized iron powder: Process optimization and microstructure of single-tracks"; Optics and Laser Technology 112, 485–493; Elsevier, (2019).
- [7]. Pei-Yi Lin et al., "Process optimization for directed energy deposition of SS316L components", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2020).
- [8]. Alberta Aversa et al., "Directed Energy Deposition of AISI 316L Stainless Steel Powder: Effect of Process Parameters", Metals 11, 932, (2021).
- [9]. L. Aitzol, I. Tabernero, U. Eneko, S. Martínez and L. Luis, "Current Designs of Coaxial Nozzles for Laser Cladding," Recent Patents on Mechanical Engineering, vol. 4, pp. 29-36, (2011).
- [10]. J. Garrett Marshall, M. Scott Thompson and N. Shamsaei, "Data indicating temperature response of Ti-6Al-4V thin-walled structure during its additive manufacture via LaserEngineered NetShaping," Data in Brief, vol. 7, pp. 697-703, (2016).
- [11]. J. O. Milewski, G. K. Lewis, D. J. Thoma, G. I. Keel, R. B. Nemeck and R. A. Reinert, "Directed light fabrication of a solid metal hemisphere using 5-axis powder deposition," Journal of Materials Processing Technology, vol. 75, no. 3, pp. 165-172, (1998).
- [12]. Y. Li, S. L. Ding and C. Wen, "Additive manufacturing technology for porous metal implant applications and triple minimal surface structures: A review," Bioactive Materials, vol. 4, pp. 56-70, (2006).
- [13]. X. L. Wang, D. W. Deng and M. Qi, "Influences of deposition strategies and oblique angle on properties of AISI316L stainless steel oblique thin-walled part by direct laser fabrication," Optics & Laser Technology, vol. 80, pp. 138-144, (2016).
- [14]. Peng Guo et al., "Study on microstructure, mechanical properties and machinability of efficiently additive manufactured AISI 316L stainless steel by high-power direct laser deposition", Journal of Materials Processing Technology, 240, 12–22, (2017).
- [15]. Israt Zarin Era and Zhichao Liu, "Effect of process parameters on tensile properties of SS 316 prepared by directional energy deposition", ScienceDirect Procedia CIRP, 103, 115–121, (2021).

### **ABSTRACT**

#### **Influence of process parameters on single track quality of 316L stainless steel by direct laser metal deposition (DLMD)**

*Direct Laser Metal Deposition (DLMD) is a modern shaping technology with great potential for application in key industries. There are many factors that affect the quality of the formed layer, among which the process parameters have a significant impact. This paper investigated the influence of process parameters, including laser power ( $P$ ), powder feed rate ( $Mp$ ), and scanning speed ( $V$ ), on the geometric characteristics of the single track, such as height ( $h$ ), width ( $W_c$ ), and depth ( $h_{mix}$ ), when using the DLMD technology on 316L material. The results showed that the laser power has the greatest impact on the width of the single track (45.97%) and the depth of the single track (42.05%). Meanwhile, the powder feed rate has the greatest influence on the height of the single track (58.44%).*

**Keywords:** Direct laser metal deposition technology; DLMD; Laser; 316L.