



TỐI ƯU HÓA CÁC THÔNG SỐ QUÁ TRÌNH PHUN PLASMA ĐỂ NÂNG CAO ĐỘ BĂM DÍNH CỦA LỚP PHỦ $Al_2O_3-40TiO_2$

Bùi Văn Khoản, Đoàn Thanh Hòa

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 15/03/2020

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 10/05/2020

Ngày bài báo được duyệt đăng: 02/06/2020

Tóm tắt:

Độ bám dính của lớp phủ phun nhiệt có vai trò quyết định đến tuổi thọ làm việc của chi tiết trong điều kiện chịu mài mòn. Ngoài các yếu tố liên quan đến tính chất vật liệu thì thông số quá trình phun ảnh hưởng rất lớn đến khả năng bám dính của lớp phủ với kim loại nền. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu tối ưu hóa các thông số phun Plasma bao gồm: Cường độ dòng điện (I), Tốc độ cấp bột (M), khoảng cách phun (L) đến độ bám dính của lớp phủ $Al_2O_3-TiO_2$ hệ (60-40)% trên nền thép tấm phẳng C45. Phương pháp Taguchi và kỹ thuật ANOVA (Analysis of variance) được sử dụng để tối ưu hóa và đánh giá ảnh hưởng của các thông số phun tới độ bền bám dính của lớp phủ với nền kim loại. Kết quả cho thấy, với bộ thông số: $I = 600A$, $M = 1,7 \text{ kg/h}$, $L = 110 \text{ mm}$ cho lớp phủ có độ bám dính lớn nhất với $58,2 \text{ MPa}$. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số nghiên cứu đến độ bám dính được với $I (73,6\%) > L (17,8\%) > M (8,3\%)$. Kết quả thí nghiệm kiểm chứng sau đó được so sánh với giá trị tối ưu và cho kết quả với sai số 2%. Như vậy, có thể khẳng định rằng kết quả tối ưu là đáng tin cậy. Ngoài ra, hàm hồi quy toán học thể hiện mối quan hệ giữa độ bền bám dính và các thông số phun đã được xây dựng cho phép dự đoán giá trị độ bám dính dựa trên thông số phun.

Từ khóa: Phun plasma, Tối ưu hóa, Độ bền bám dính, Thép C45, lớp phủ $Al_2O_3-TiO_2$.

1. Đặt vấn đề

Phun phủ nhiệt được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp với lịch sử hơn 100 năm. Công nghệ này có thể dùng để chế tạo mới hay phục hồi các chi tiết máy có yêu cầu đặc biệt về bề mặt, như tính chống mài mòn, chịu nhiệt và các thuộc tính đặc biệt khác [1-4]. Để tạo ra được lớp phủ có độ xốp thấp, độ bền bám dính cao phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: Xử lý bề mặt phun, vật liệu phun và đặc biệt là chế độ công nghệ phun. Trong số các phương pháp công nghệ phun phủ nhiệt thì phun phủ plasma có nhiều ưu điểm. Phương pháp công nghệ này sử dụng nhiệt của dòng plasma để nung nóng vật liệu. Plasma là chất khí ở trạng thái các nguyên tử và phân tử bị ion hoá, thực chất là hồ quang kéo dài. Phun phủ plasma có công suất nhiệt lớn, cho năng suất cao, vật liệu phun đa dạng, chất lượng lớp phủ tốt [5-8]. Những yếu tố góp phần tạo ra chất lượng lớp phủ liên quan đến thiết bị phun, vật liệu phun, chế độ công nghệ phun.... Trong các yếu tố đó thì chế độ công nghệ phun có vai trò rất quan trọng. Các vật liệu phun gồm oxit trên cơ sở

Al_2O_3 có nhiều tính năng kỹ thuật tốt như độ cứng cao, chịu mài mòn, bền hóa chất và là lớp phủ được lựa chọn ứng dụng cho nhiều bề mặt chi tiết chịu mài mòn và nhiệt độ cao tới $500^\circ C$. Do đó việc tìm ra bộ thông số phun cho chất lượng lớp phủ được cải thiện tính chất là rất cần thiết. Vì vậy nghiên cứu tiến hành tối ưu hóa các thông số phun đến độ bền bám dính của lớp phủ kim loại $Al_2O_3-TiO_2$ hệ (60-40)% [9-11]. Thiết kế thực nghiệm theo mảng L9 của TAGUCHI kết hợp phân tích phương sai ANOVA để tìm ra bộ thông số tối ưu và đánh giá ảnh hưởng của từng thông số tới độ bền bám dính. Bên cạnh đó mối quan hệ toán học giữa các thông số tới độ bền bám dính được xác lập, từ đó chỉ ra mối quan hệ giữa các thông số cũng như là công thức cho người thiết kế lớp phủ tính toán. Quá trình tối ưu, phân tích ANOVA, phép tính toán xây dựng hàm số được thực hiện trên phần mềm MINITAB 18. Kết quả tối ưu đã đưa ra được bộ thông số phun tạo ra được lớp phủ có độ bền bám dính được cải thiện cùng với sai số của thực nghiệm kiểm chứng là rất nhỏ đã chứng tỏ hiệu quả của phương pháp

ngiên cứu cho bài toán phun phủ nhiệt bằng công nghệ phun plasma.

2. Quá trình thực nghiệm và phương pháp đánh giá

2.1. Vật liệu nền và lớp phủ

Các mẫu phun sử dụng trong thí nghiệm là các mẫu thép tấm với kích thước 50 x 50 x 6 mm được phun tạo nhám bề mặt cần phủ với giá trị từ 8÷10 μm . Quá trình phun tạo nhám được thực hiện trên máy phun cát TSA của Việt Nam và được đo bằng đầu đo nhám Mitutoyo 178-954-4E (Nhật Bản). Vật liệu chế tạo mẫu phun được lựa chọn là thép C45 với thành phần hóa học như Bảng 1 [12].

Bảng 1. Thành phần hóa học thép C45

Mác thép		C45	
Hàm lượng của các nguyên tố (%)	C	0.42-0.50	
	S	0.17 – 0.37	
	Mn	0.50 – 0.80	
	P	Không lớn hơn	0.04
	S		0.04
	Cr	0.25	
Ni	0.25		

Bột phun $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ là bột thương mại được sử dụng làm nguyên liệu phun được cung cấp bởi tập đoàn Eutectic (Mỹ), với cỡ hạt $-45 \pm 5 \mu\text{m}$.

2.2. Quá trình phun nhiệt plasma

Quá trình phun mẫu được thực hiện trên hệ thống phun plasma PRAXAIR Model 3710 với đầu súng phun SG100 để chế tạo lớp phủ gốm. Chiều dày lớp phủ được thực hiện là 450 μm với độ sai lệch từ 10 - 30 μm . Các thông số phun được xác định theo ba mức và được sắp xếp theo mảng trực giao L9 của Taguchi (Bảng 2). Một số thông số phun khác được xác định qua các giá trị được nhà sản xuất khuyến cáo (Bảng 3).

Bảng 2. Các thông số nghiên cứu và các mức sử dụng trong nghiên cứu

Thông số phun	Ký hiệu	Mức		
		1	2	3
Tốc độ cấp bột (kg/ giờ)	M	1.7	1.9	2.1
Khoảng cách phun (mm)	L	90	110	130
Dòng điện phun (A)	I	400	500	600

Bảng 3. Các thông số phun khác sử dụng trong nghiên cứu

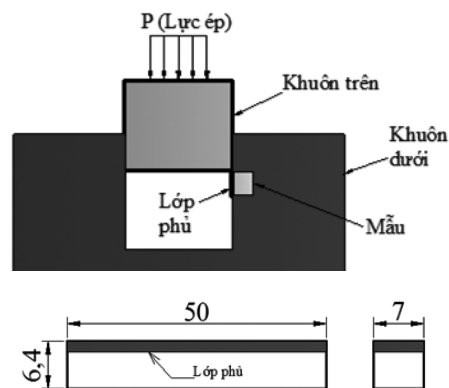
Thông số phun		Giá trị
Tốc độ dịch chuyển đầu phun (m/phút)		15
Điện áp phun (V)		60
Áp suất khí	Sơ cấp (l/phút)	50
Lưu lượng	Khí thứ cấp (l/phút)	2
Áp suất khí mang bột	(l/phút)	5.5

2.3. Phương pháp kiểm tra

Các phép đo xác định độ bền bám dính lớp phủ bằng phương pháp bám trượt được thực hiện theo tiêu chuẩn JIS-H-8666-1980 [13,14] với sơ đồ nguyên lý như Hình 2. Trong phương pháp này, lớp phủ (có diện tích tiết diện bề mặt - S) được làm bong tách bởi lực ép (P) tác động lên phần chiều dày lớp phủ theo phương vuông góc (Hình 2). Ứng suất bám dính (σ_{bd}) được tính bằng công thức:

$$\sigma_{bd} = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Để đảm bảo được kết quả đo đạt độ chính xác thì mẫu phải được chế tạo chính xác, đảm bảo độ vuông góc và được kẹp chặt. Lực ép không tác dụng lên phần vật liệu nền. Trên cơ sở đó, tiến hành chế tạo mẫu và khuôn để kiểm tra mức độ bám dính của lớp phủ theo nguyên lý trong Hình 2. Máy kéo nén MTS 809 được sử dụng để tạo lực ép P trong quá trình thực nghiệm.



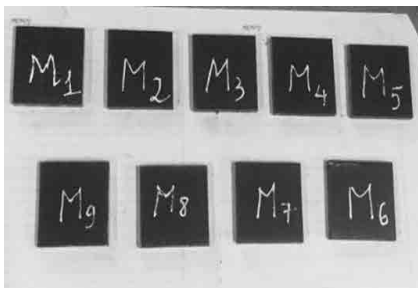
Hình 1. Nguyên lý và mẫu kiểm tra độ bền bám dính

3. Kết quả và thảo luận

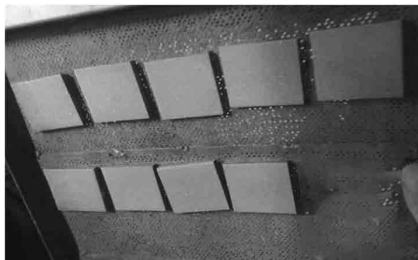
3.1. Kết quả thực nghiệm

Quá trình thực nghiệm dựa trên thông số thực nghiệm và số thí nghiệm theo Taguchi L9 [11]. Các

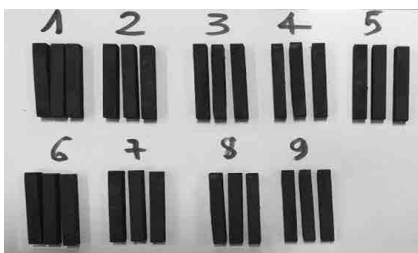
mẫu được chuẩn bị và được phun theo đúng trình tự của thiết kế thực nghiệm cho kết quả như Hình 3 (a), (b). Mẫu lớp phủ sau khi phun được mài phẳng để đạt chiều dày đồng đều là 0.4mm và được cắt nhỏ với kích thước và số lượng cho mỗi mẫu phun là 3 mẫu kiểm tra độ bền bám dính (hình 3). Dưới tác dụng của lực nén, các mẫu lớp phủ bị tách ra như hình 4 (a), (b), (c). Từ đó, dựa trên công thức (1) tính toán các giá trị ứng suất bám dính cho các mẫu thử. Giá trị độ bền bám dính của mỗi mẫu là trung bình của ba mẫu thử được kiểm tra và trình bày trong bảng 5.



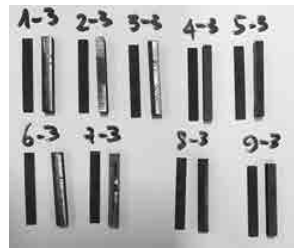
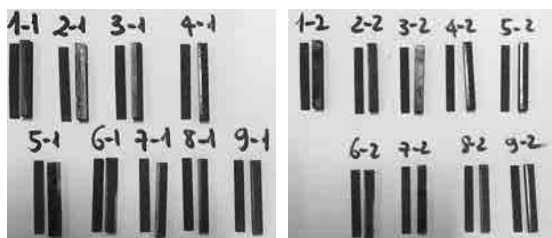
Hình 2. Hình ảnh mẫu trước khi phun



Hình 3. Hình ảnh mẫu sau khi phun



Hình 4. Ảnh mẫu kiểm tra bám dính



Hình 5. Ảnh mẫu trước - sau khi phun và mẫu kiểm tra bám dính

Bảng 4. Thông số thực nghiệm theo mảng L9 và kết quả đo độ bám dính trung bình của các mẫu thí nghiệm

Thí nghiệm	Thông số			Độ bám dính (MPa)
	I	M	L	
1	400	1.7	90	43.3
2	400	1.9	110	47.1
3	400	2.1	130	41.6
4	500	1.7	110	58.2
5	500	1.9	130	54.2
6	500	2.1	90	48.1
7	600	1.7	130	57.4
8	600	1.9	90	52.5
9	600	2.1	110	56.8

Kết quả từ Bảng 5 cho thấy, mức thông số phun $I_3M_1L_2$ tương ứng với $I = 600$ A, $M = 1.7$ kg/h, $L = 110$ mm cho lớp phủ có độ bám dính lớn nhất là 58.2 MPa. Sự thay đổi các thông số phun làm ảnh hưởng rõ rệt đến các giá trị đo. Chứng tỏ cường độ dòng điện, tốc độ cấp bột và khoảng cách phun là các thông số có ảnh hưởng lớn đến độ bám dính lớp phủ và việc lựa chọn chúng để nghiên cứu là phù hợp. Trên cơ sở kết quả nhận được tiến hành phân tích tối ưu và đánh giá ảnh hưởng của các thông số phun đến độ bền bám dính của lớp phủ.

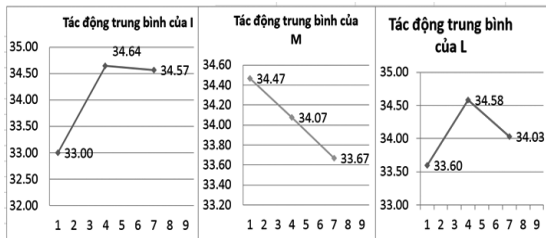
3.2. Phân tích tỉ số S/N

Độ bám dính lớp phủ được nâng cao giúp lớp phủ cải thiện độ bền trong quá trình làm việc, đặc biệt với các lớp phủ chịu mài mòn, va đập,... Do đó, tỷ lệ S/N theo Taguchi với đặc tính lớn hơn thì tốt hơn được sử dụng để tính toán dựa trên mỗi kết quả thí nghiệm bằng phần mềm Minitab và được trình bày trong Bảng 5. Mức tác động trung bình của mỗi yếu tố trên các mức giá trị khác nhau cũng được tính toán dựa trên giá trị S/N và được minh họa trên biểu đồ phân mức (Hình 4). Thông số tối ưu là các mức của các thông số phun có giá trị S/N trung bình của

các mức tác động là cao nhất. Các đường biểu diễn trong biểu đồ Hình 4 thể hiện sự thay đổi tác động của các yếu tố ảnh hưởng đến độ bền bám dính của lớp phủ và chỉ ra rằng mức thông số phun tối ưu được dự đoán là $I_3M_1L_2$ ($I = 600 \text{ A}$, $M = 1.7 \text{ kg/h}$, $L = 110 \text{ mm}$). Kết quả tối ưu dự đoán cho thấy sự cải thiện độ bền bám dính.

Bảng 5. Giá trị S/N tương ứng với mỗi thí nghiệm

Thí nghiệm	Thông số			Độ bám dính	$S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2})$
	A	B	C		
1	400	1.7	90	43.3	32.7298
2	400	1.9	110	47.1	33.4604
3	400	2.1	130	41.6	32.3819
4	500	1.7	110	58.2	35.2985
5	500	1.9	130	54.2	34.6800
6	500	2.1	90	48.1	33.6429
7	600	1.7	130	57.4	35.1782
8	600	1.9	90	52.5	34.4032
9	600	2.1	110	56.8	35.0870



Hình 6. Phân mức tác động của các thông số I, M, L dựa trên tỷ số S/N tới độ bám dính lớp phủ.

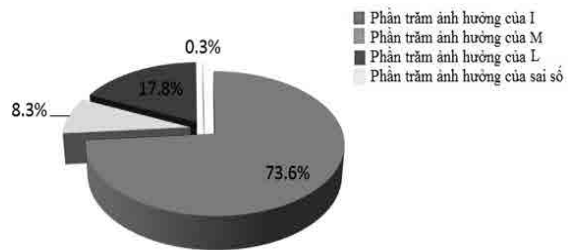
3.3. Phân tích ANOVA

Để xác định mức độ ảnh hưởng của các thông số (I, M, L) tới độ bám dính lớp phủ, phân tích phương sai dựa trên kết quả thí nghiệm và giá trị S/N trong Bảng 5 dựa trên phần mềm Minitab thu được kết quả thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả phân tích ANOVA dựa trên tỷ số S/N

Yếu tố	Bậc tự do f	Tổng bình phương độ lệch - SS	Trung bình bình phương - MS	Giá trị thống kê Fisher - F	Giá trị xác suất P
I	2	228.31	114.15	294.38	0.003
M	2	25.89	12.95	33.39	0.029
L	2	55.22	27.61	71.19	0.014
Error	2	0.78	0.39	--	--
Total	8	310.19	--	--	--

Kết quả cho thấy, giá trị của sai số nhỏ chứng minh rằng các thông số phun đã nghiên cứu đều là các thông số phun chính ảnh hưởng đến độ bám dính lớp phủ và chúng đều có ý nghĩa thống kê với độ tin cậy cao bởi giá trị $P < 0.05$. Phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố dựa trên giá trị tổng bình phương độ lệch ở Bảng 6 cho thấy: dòng điện phun là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến độ bám dính lớp phủ với 73.6%, khoảng cách phun là 17.8%, Tốc độ cấp bột 8.3% và được minh họa qua biểu đồ Hình 7.



Hình 7. Phần trăm ảnh hưởng của các thông số I, M, L đến độ bền bám dính lớp phủ.

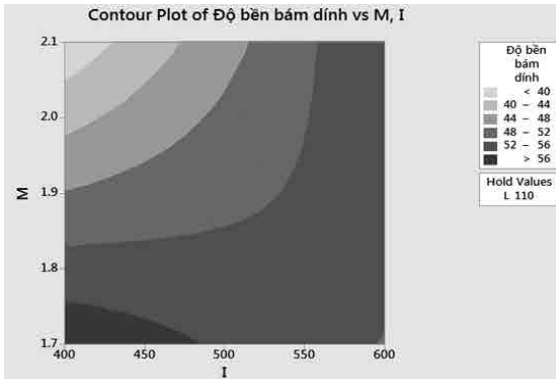
3.4. Đánh giá quan hệ giữa độ bền bám dính với các thông số phun

Để phân tích xu hướng ảnh hưởng của các thông số I, M, L tới độ bám dính lớp phủ (σ_{bd}), hàm hồi quy biểu diễn quan hệ toán học giữa σ_{bd} với các thông số phun I, M, L dưới dạng tuyến tính được xây dựng. Công cụ hỗ trợ xây dựng hàm hồi quy dạng tuyến tính trên phần mềm Minitab với thuật toán Gau-Newton được sử dụng giúp cho quá trình tính toán nhanh chóng và chính xác. Kết quả thu được là hàm toán học (1):

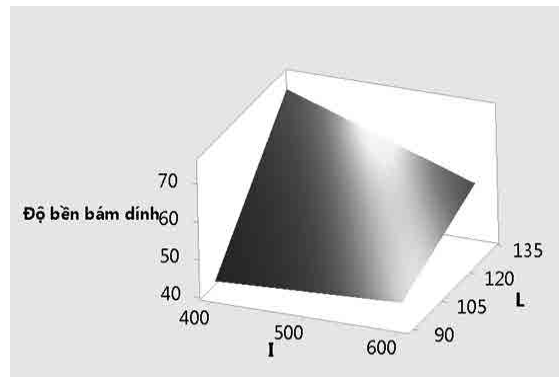
$$\sigma_{bd} = -73 - 0.330 \cdot I - 25.6 \cdot M + 4.22 \cdot L + 0.328 \cdot I \cdot M - 0.00240 \cdot I \cdot L - 1.461 \cdot M \cdot L \tag{1}$$

Với $R^2 = 0,93$, $R^2_{adj} = 0,9$, hàm toán học nhận được với chỉ số R^2 và R^2_{adj} cho độ tin cậy cao khi chúng đều có giá trị tiệm cận 1. Điều này chứng tỏ mô hình toán cho độ tin cậy cao và phù hợp với bài toán thực nghiệm.

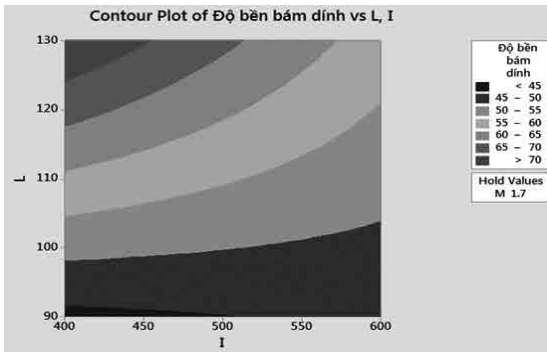
Bộ thông số phun tối ưu cho độ bền bám dính lớn nhất được xác định là $I_3M_1L_2$, kết hợp với phương trình hồi quy (2) cho phép tiến hành xác định được ảnh hưởng của từng thông số phun tới độ bám dính lớp phủ qua đồ thị các Hình 6 và 7.



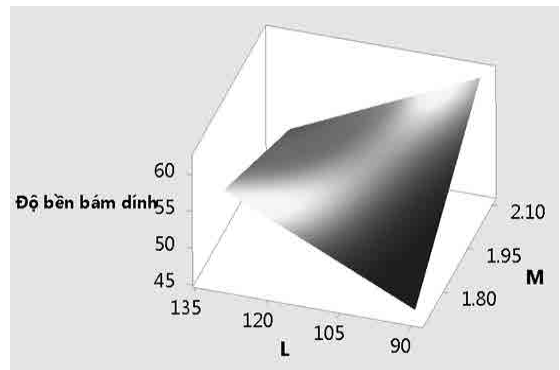
a. Ảnh hưởng của I



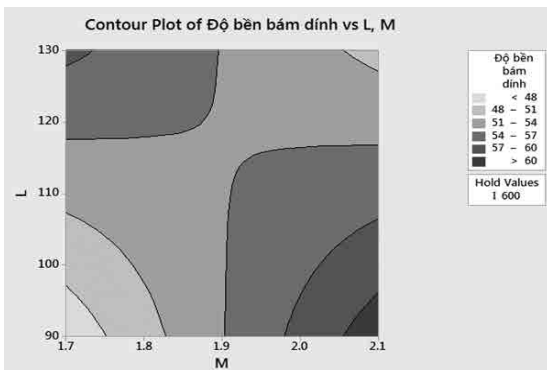
b. Ảnh hưởng của I và L



b. Ảnh hưởng của M

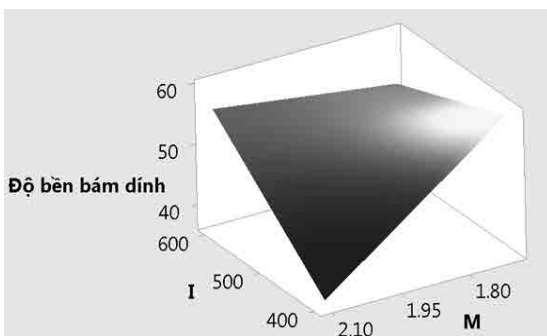


c. Ảnh hưởng của M và L



c. Ảnh hưởng của L

Hình 6. Đồ thị sự phụ thuộc của độ bám dính vào từng thông số phun ở mức tối ưu dạng tuyến tính 2D



a. Ảnh hưởng của I và M

Hình 7. Đồ thị sự phụ thuộc của độ bám dính vào từng thông số phun ở mức tối ưu dạng tuyến tính 3D

Trên đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số phun tới độ bền bám dính của lớp phủ khi thông số cố định được giữ ở mức độ tối ưu cho thấy: độ bền bám dính có xu hướng tăng khi I tăng. Ngược lại khi lưu lượng phun giảm thì làm cho độ bền bám dính giảm (Hình 6a, Hình 7a). Điều này có thể giải thích là do, khi dòng hàn tăng, các hạt phun có trạng thái nhiệt độ nóng chảy khi phun tốt hơn, quá trình bay và va đập tạo lớp phủ mặc dù nhiệt độ giảm nhưng sự tạo thành lớp phủ tốt hơn. Khi I cao, M thấp thì hiệu quả nung chảy hạt tốt hơn, nên độ bền bám dính cũng có xu hướng tăng; Ở Hình 6 (b) và Hình 7 (b) cho thấy khi M cố định, L và I có xu hướng cùng tăng để đạt độ bền bám dính cao. Điều này có thể giải thích là do khi tăng khoảng cách phun, hiệu suất nhiệt giảm khi khoảng cách giảm dần do vậy I cần tăng để duy trì hiệu suất va đập tăng độ bền bám dính; trường hợp khi I ở mức cao nhất, nếu M lớn thì khoảng cách phun phải nhỏ bởi nếu L tăng thì hiệu suất nhiệt giảm. Ngược lại khi

lưu lượng phun nhỏ thì khoảng cách phun tăng thì độ bền bám dính tăng, bởi nhiệt tăng do mật độ hạt giảm nhưng khoảng cách tăng làm hiệu suất nhiệt tại thời điểm va chạm cho độ bám dính tốt nhất như mô tả trong Hình 6 (c) và Hình 7 (c).

3.5. Thí nghiệm kiểm chứng

Để xác minh các thông số quá trình phun được tối ưu hóa, thí nghiệm kiểm chứng với mức tối ưu $I_3M_1L_2$ được thực hiện. Kết quả đo trên mẫu kiểm chứng và giá trị dự đoán tối ưu được trình bày trong Bảng 7 cho thấy độ bám dính trên mẫu kiểm chứng lớn hơn các giá trị từ thí nghiệm ban đầu và nhỏ hơn giá trị tối ưu dự đoán với độ sai lệch là 2 %. Sai số giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm là vấn đề được dự báo trước. Tuy nhiên, mức sai lệch với giá trị nhỏ đã chứng tỏ kết quả của bài toán tối ưu là tin cậy.

Bảng 7. So sánh kết quả của thí nghiệm kiểm chứng với kết quả tối ưu

Thông số	Mức	Giá trị
Tốt nhất từ thí nghiệm	I2M1L2	58.2 MPa
Tối ưu	I3M1L2	60.5 MPa
Kiểm chứng	I3M1L2	61.7 MPa
Sai lệch giữa giá trị kiểm chứng - Tối ưu (%)	--	2%

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, phương pháp Taguchi - Kỹ thuật ANOVA được sử dụng để tối ưu hóa và nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số phun bao gồm dòng phun (I), khoảng cách phun (L) và tốc độ cấp bột (M) đến độ bám dính của lớp phủ $Al_2O_3-TiO_2$ trên nền thép C45 bằng phương pháp phun PLASMA. Quá trình tối ưu bởi phương pháp Taguchi đã đề xuất chế độ phun tối ưu ($I = 600$ A, $M = 1.7$ kg/h, $L = 110$ mm) cho lớp phủ có độ bám dính lớn nhất dự đoán là 66,9 MPa. Kết quả phân tích ANOVA cho thấy thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến độ bám dính là: dòng phun (73.6%) > khoảng cách phun (17.8%) > tốc độ cấp bột (8.3%). Thí nghiệm kiểm chứng với độ bám dính thu được là 61.7 MPa lớn hơn các giá trị độ bám dính của các mẫu thực nghiệm (Bảng 4) và có độ sai lệch 2 % so với kết quả dự đoán. Điều đó khẳng định thông số tối ưu cho lớp phủ có chất lượng tốt với độ bám dính được nâng cao. Sự kết hợp giữa phương pháp Taguchi - ANOVA là một công cụ hiệu quả cho các ứng dụng tối ưu hóa các bài toán có nhiều yếu tố ảnh hưởng.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Văn Thông, *Công nghệ phun phủ bảo vệ và phục hồi*, NXB KH&KT, 2006.
- [2]. Hoàng Tùng, *Công nghệ phun phủ và ứng dụng*, NXB KH&KT, 2006.
- [3]. Vũ Minh Thành và cộng sự, *Lớp phủ vô cơ*, NXB KHTN&CN, 2017.
- [4]. P222-32, Alumina oxide 60%, Titanium dioxide 40%, Metallisation, 2.9.12.5.ISSUE: 1/95-12.
- [5]. Yao Sun-Hui, Su Yan-Liang and Kao Wen-xian, *Thermal shock performance of Al_2O_3/TiO_2 air plasma spray coatings*, Taiwan, 2011.
- [6]. Snehlatakumari Roll, *Effect of TiO_2 addition in Al_2O_3 : Phase evolution, densification, microstructure and mechanical properties*, No-109CR0676. 2013.
- [7]. V. Fervel, B. Normand and C. Coddet: *Wear* Vol. 230, p.70, 1999.
- [8]. G. Bolelli, V. Cannillo, L. Lusvardi, T. Manfredini. Wear behaviour of thermally sprayed ceramic oxide coatings. *Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente*, University a di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905, 41100 Modena, MO, Italy. 2006.
- [9]. A. Rico, J. Rodriguez, E. Otero, P. Zeng, W.M. Rainforth, Wear behaviour of nanostructured alumina-titania coatings deposited by atmospheric plasma spray. *Wear*, Vol. 267, Issues 5-8, 1191-1197, 2009.
- [10]. V.V. Narulkar, S. Prakash, K. Chandra, Effects of temperature on tribological properties of $Al_2O_3-TiO_2$ coating. *Defence Science Journal*, Vol. 58, No.4, 582-587, 2008.
- [11]. Taguchi G, Konishi S, Taguchi Methods, orthogonal arrays and linear graphs, tools for quality

American supplier institute, *American Supplier Institute*, pp. 8 - 35, 1987.

[12]. Tiêu chuẩn thép cacbon kết cấu chất lượng tốt, TCVN 1766 - 75, 2009.

[13]. http://www.mecpl.com/pdf-files/HIPOJET_2700_ONE.pdf

[14]. Test methods for build - up thermal spraying - JIS-H-8666,1980.

OPTIMIZING PLASMA SPRAY PROCESS PARAMETERS TO IMPROVE ADHESION OF Al_2O_3 -40TiO₂ COATINGS

Abstract:

The adhesion of thermal spray coating has a decisive role in the longevity of the parts work in conditions of abrasion. In addition to the factors related to the material properties, the spraying process parameters greatly affect the ability of the coating adhesion to the base metal. This paper presents the results of research on optimizing Plasma spray parameters including current (I), Powder feeding speed (M), spray distance (L) to adhesion of Al_2O_3 -TiO₂ coating (60-40)% on flat steel plate C45. Taguchi method and analysis of variance technique are used to optimize and evaluate the effect of spray parameters on the adhesion strength of the coating to the metal substrate. The results showed that, with parameters: $I = 600A$, $M = 1.7 \text{ kg.h}^{-1}$, $L = 110 \text{ mm}$ for the coating with the largest adhesion with 58.2 Mpa. The order of influence of the study parameters to the adhesion to $I (73.6 \%) > L (17.8 \%) > M (8.3 \%)$. The result of the verification experiment was then compared with the optimal value and gave an error of 2 %. In addition, a mathematical regression function showing the relationship between adhesion strength and spray parameters has been formulated to allow predictions of adhesion values based on spray parameters.

Keywords: Plasma spray, Optimization, Adhesion strength, C45 steel, Al_2O_3 -TiO₂ coating layer.