

MÔ HÌNH ĐỘ XỐP LỚP PHỦ PLASMA TỪ BỘT HỢP KIM $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$

THE MODEL OF THE POROSITY OF PLASMA COATING FROM CERAMIC $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$

TS. Vũ Dương^{1,2}, PGS, TS. Hà Minh Hùng^{3,4}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Duy Tân

²Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Trường Đại học Duy Tân

³Viện Nghiên cứu Cơ khí

⁴Viện Phát triển Kỹ thuật, Công nghệ tiên tiến

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả thí nghiệm phun plasma trong môi trường không khí nhằm tạo lớp phủ từ vật liệu hợp kim hệ gồm $\text{Al}_2\text{O}_3 - 40\% \text{TiO}_2$ theo điều kiện quy hoạch trực giao kiểu N27. Bài báo đã ứng dụng phương pháp xử lý số liệu thống kê toán học thực nghiệm để xây dựng mô hình toán học biểu diễn quan hệ giữa các thông số công nghệ phun đến hàm đơn mục tiêu chất lượng lớp phủ là độ xốp kim tương học tại 27 chế độ phun khác nhau. Theo đó, có thể dự báo tính năng của vật liệu lớp phủ plasma trên sản phẩm cơ khí ở các điều kiện tải trọng khác nhau trong môi trường ăn mòn hóa học và chống chịu mài mòn cơ học.

Từ khóa: Phun plasma; Bột hợp kim gồm $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$; Quy hoạch thực nghiệm trực giao; Độ xốp kim tương học.

ABSTRACT

This paper presented the experimental result of the air plasma spraying to deposit the coating from the ceramic system $\text{Al}_2\text{O}_3 - 40\% \text{TiO}_2$ under the orthogonal plan N27. It is applied the mathematical statistics in experiment to create the mathematical model performing the correlation between the technological parameters of spraying on the single target function of the porosity as the quality of the coating based on 27 different versions. This result can be helpful for the assumption the performance of plasma coating on the mechanical elements in different loading conditions and aggressive mechanical environment to undergo the abrasion.

Keywords: Plasma spraying; Alloy ceramic powder $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$; Orthogonal experiment plan; Metallographic porosity.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bài báo [1], tác giả đã giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm thăm dò, khảo sát xác định độ xốp kim tương học của vật liệu lớp phủ plasma từ bột hợp kim hệ gồm Al_2O_3 – TiO_2 tiêu chuẩn trên bề mặt lớp thép nền các bon chế tạo máy (SS 400) ở quy mô phòng thí nghiệm. Kết quả phân tích các ảnh tổ chức tế vi và ảnh đồ 2D trên kính hiển vi quang học có tích hợp phần mềm Image Pro-Analyzer trên kính hiển vi quang học Axiovert 25 MAT cho thấy độ xốp trung bình của vật liệu lớp phủ gồm nhận được trong lô thí nghiệm này có xu hướng giảm hoặc tăng tùy theo chế độ phun plasma lựa chọn ở các mức độ khác nhau của ba thông số công nghệ chính (L_p ; I_p và G_p). Chế độ thí nghiệm với khoảng cách phun L_p , cường độ dòng plasma I_p và lưu lượng cấp bột phun G_p đã chọn trong phạm vi khuyến cáo của nhà cung cấp thiết bị phun plasma, đảm bảo điều kiện cho sự hình thành lớp phủ plasma có chất lượng khá tốt. Tuy nhiên, với số lượng thí nghiệm ở bước thăm dò công nghệ này, chưa đủ độ tin cậy cao để dự báo mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ phun phủ đến độ xốp trung bình của lớp phủ. Dưới đây, bài báo trình bày kết quả thực nghiệm và tính toán mô phỏng độ xốp trung bình của vật liệu lớp phủ plasma thực hiện theo quy hoạch thực nghiệm trực giao mở rộng với 27 chế độ phun khác nhau kiểu $N = 3^3 = 27$ (N27).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mẫu thí nghiệm có dạng hình đĩa trong đường kính $\varnothing 50$ mm, chiều dày 3 mm bằng thép các bon SS400 được sử dụng để phun tạo lớp phủ plasma từ bột hợp kim gồm tiêu chuẩn có thành phần $\text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{TiO}_2$. Sử dụng thiết bị phun plasma Model 3710 – 40 kW tại Phòng Thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử

lý bề mặt, Viện Nghiên cứu Cơ khí. Quá trình phun plasma được thực hiện trong môi trường không khí, phun trực tiếp lên bề mặt lớp thép nền (SS 400) mà không có lớp lót công nghệ trung gian (hình 1), sau đó được làm nguội tự nhiên ở chế độ thường hóa trong không khí. Điều kiện thí nghiệm theo quy hoạch kiểu ma trận trực giao N27. Phương pháp lấy mẫu khảo sát độ xốp lớp phủ plasma tại 27 nút quy hoạch thực nghiệm được tiến hành theo các bước quy định trong công trình [2]. Độ xốp lớp phủ được khảo sát bằng phương pháp kim tương học, sử dụng kính hiển vi quang học Axiovert 25 MAT (hình 2). Các số liệu thống kê toán học thực nghiệm được tổng hợp theo bảng ma trận thực nghiệm trực giao [3], [4] và xử lý kết quả dùng phần mềm tin học chuyên dụng trong nghiên cứu khoa học và đào tạo.



Hình 1. Thí nghiệm phun tạo lớp phủ plasma từ bột hợp kim $\text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{TiO}_2$



Hình 2. Kính hiển vi quang học Axiovert 25 MAT sử dụng cho thí nghiệm xác định độ xốp lớp phủ plasma.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

3.1. Kết quả thí nghiệm

Các thông số công nghệ phun tạo lớp phủ plasma từ bột phun thương mại $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ lựa chọn để khảo sát trong 27 thí nghiệm gồm: Khoảng cách phun: $L_p = 100 \div 200$ mm; Cường độ dòng plasma $I_p = 400 \div 600$ A; Lưu lượng cấp bột phun $G_p = 1,7 \div 2,1$ kg/h và tốc độ phun $v_p = 50$ mm/ph; Lưu lượng cấp khí sơ cấp Ar: 150 l/ph, khí thứ cấp N₂: 15 l/ph, khí vận chuyển Ar: 15 l/ph; nhiệt độ mẫu phun: $100 \div 150$ °C; làm nguội tự nhiên trong không khí. Kết quả thí nghiệm và tính toán mô hình toán học độ xốp trung bình của vật liệu lớp phủ plasma nhận được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm phun plasma tạo lớp phủ $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ trên bề mặt lớp thép nền SS400 và tính toán theo ma trận thực nghiệm quy hoạch trực giao N27

Số thí nghiệm	Mã số quy hoạch	Khoảng cách phun L_p , mm	Cường độ dòng plasma, I_p , A	Lưu lượng cấp bột phun, G_p , kg/ph	Độ xốp trung bình lớp phủ plasma, γ , %		
					Số liệu thực nghiệm, $\gamma_{t.n}$	Tính toán theo mô hình, $\gamma_{t.t}$	Độ lệch (S^2)
1	000	100	400	1,7	14,520	14,675	+ 1,07
2	010	100	500	1,7	13,538	12,88	- 4,86
3	020	100	600	1,7	11,355	11,125	- 2,02
4	100	150	400	1,7	10,985	11,159	+ 1,59
5	110	150	500	1,7	9,695	10,111	+ 4,29
6	120	150	600	1,7	7,765	8,8491	+ 13,96
7	200	200	400	1,7	8,125	8,2424	+ 1,44
8	210	200	500	1,7	7,773	7,6868	- 1,11
9	220	200	600	1,7	7,321	6,9176	- 5,51
10	001	100	400	1,9	11,524	11,807	+ 2,45
11	011	100	500	1,9	10,350	10,532	+ 1,75
12	021	100	600	1,9	9,153	9,0429	- 1,20
13	101	150	400	1,9	8,465	8,9166	+ 5,33
14	111	150	500	1,9	7,566	7,9851	+ 5,54
15	121	150	600	1,9	6,676	6,8399	+ 2,46
16	201	200	400	1,9	6,976	6,3712	- 8,67

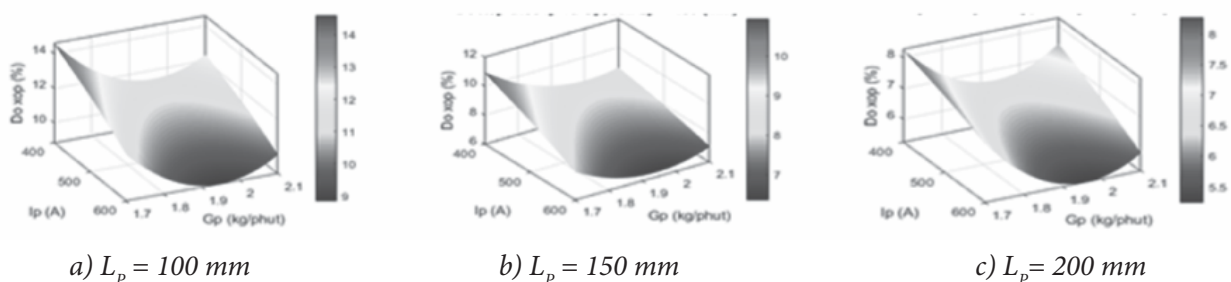


17	211	200	500	1,9	6,026	5,7832	- 4,03
18	221	200	600	1,9	5,060	4,9816	- 1,54
19	002	100	400	2,1	12,485	11,894	- 4,74
20	012	100	500	2,1	11,058	10,884	- 1,57
21	022	100	600	2,1	9,950	9,6613	- 2,90
22	102	150	400	2,1	8,774	9,3748	+ 6,85
23	112	150	500	2,1	7,850	8,5599	+ 9,04
24	122	150	600	2,1	6,976	7,5315	+ 7,97
25	202	200	400	2,1	7,250	7,2008	- 0,68
26	212	200	500	2,1	6,676	6,5804	- 1,43
27	222	200	600	2,1	5,955	5,7464	- 3,50

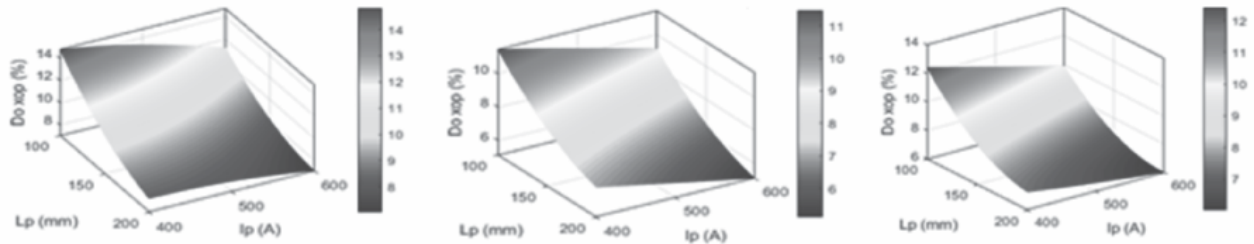
Việc tính toán các hệ số ẩn bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất trong mô hình toán học tổng quát bậc cao biểu diễn hàm mục tiêu cần tìm trong miền khảo sát đã chọn đối với 27 chế độ thí nghiệm phun plasma khác nhau có thể thực hiện theo thuật toán ma trận thí nghiệm dạng trực giao đã cho trong các công trình [2] và [3] khi xét ảnh hưởng đồng thời của ba thông số công nghệ chính của quá trình phun plasma đã nêu. Tuy nhiên, hiện nay một số phần mềm tin học xử lý các số liệu thống kê toán học thực nghiệm đối với đa số các nghiên cứu cơ bản như Statistica, Matlab,... cũng cho phép đưa ra các đồ thị 2D và 3D cùng với mô hình số tương ứng khi xét ảnh hưởng cặp đôi đồng thời của hai trong ba thông số công nghệ lựa chọn đến hàm mục tiêu đầu ra là khá tin cậy, nhờ đó đã xây dựng được hàm hồi quy độ xốp trung bình của vật liệu lớp phủ từ bột hợp kim gồm Al_2O_3 + 40% TiO_2 ở trạng thái sau khi phun và làm nguội tự nhiên trong môi trường không khí sau đây:

$$y(L_p; I_p; G_p) = 186,7 - 0,2864.L_p - 0,06359.I_p - 149,6.G_p + 0,000352.L_p.I_p + 0,09678.L_p.G_p + 0,0282.I_p.G_p - 0,0001491.L_p.I_p.G_p + 0,00006893.L_p^2 - 0,00001068.I_p^2 + 33,76.G_p^2 \quad (1)$$

Trên hình 3 là kết quả tính toán xây dựng đồ thị 3D biểu diễn sự phụ thuộc của độ xốp trung bình lớp phủ plasma Al_2O_3 + 40% TiO_2 vào cặp đôi các thông số công nghệ phun I_p, G_p ; còn hình 4 – cặp đôi L_p, I_p và hình 5 – cặp đôi L_p, G_p .



Hình 3. Ảnh hưởng đồng thời cặp đôi các thông số phun I_p, G_p đến độ xốp trung bình lớp phủ plasma hợp kim gồm Al_2O_3 + 40% TiO_2 khi L_p thay đổi ($v_p = 50 \text{ mm/s}$)

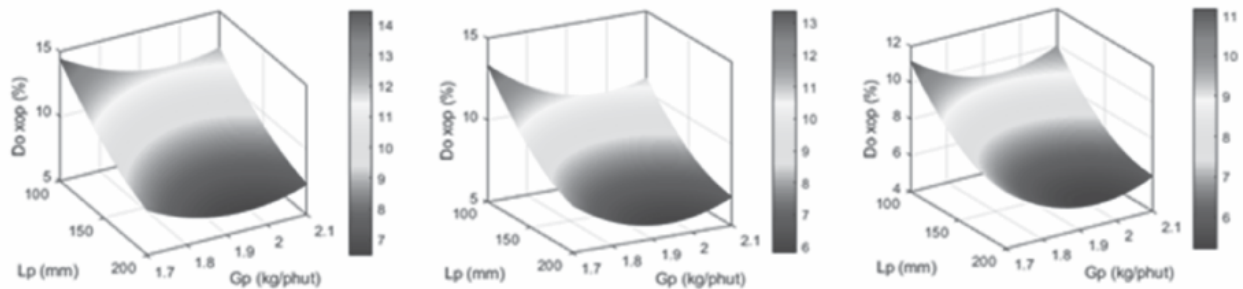


a) $G_p = 1,7 \text{ kg/h}$

b) $G_p = 1,9 \text{ kg/h}$

c) $G_p = 2,1 \text{ kg/h}$

Hình 4. Ảnh hưởng đồng thời cặp đôi các thông số phun L_p, I_p đến độ xốp trung bình lớp phủ plasma hợp kim gồm $\text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{TiO}_2$ khi G_p thay đổi ($v_p = 50 \text{ mm/s}$)



a) $I_p = 400 \text{ A}$

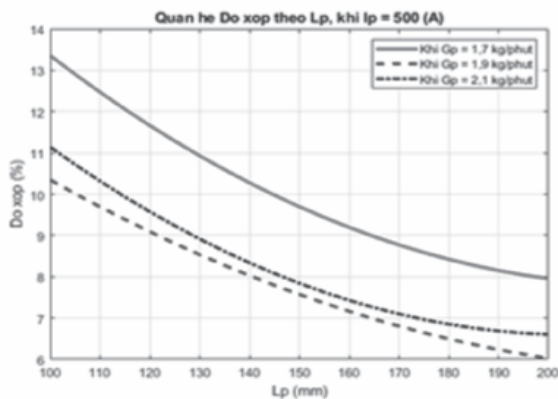
b) $I_p = 500 \text{ A}$

c) $I_p = 600 \text{ A}$

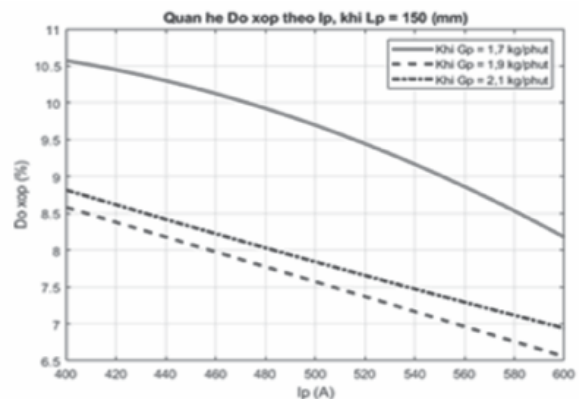
Hình 5. Ảnh hưởng đồng thời cặp đôi các thông số phun L_p, G_p đến độ xốp trung bình lớp phủ plasma hợp kim gồm $\text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{TiO}_2$ khi I_p thay đổi ($v_p = 50 \text{ mm/s}$)

Kết quả phân tích nội suy trong miền thay đổi của ba thông số công nghệ phun plasma ở các mức điều chỉnh trung bình theo quy hoạch thực nghiệm N27 tương ứng với các điều kiện như sau:

$I_p = 500 \text{ A}$ (hình 6, a); $L_p = 150 \text{ mm}$ (hình 6, b); $G = 1,9 \text{ kg/h}$ (hình 7, a); $L = 150 \text{ mm}$ (hình 7, b); $G_p = 1,9 \text{ kg/h}$ (hình 8, a) và $I_p = 500 \text{ A}$ (hình 8, b).

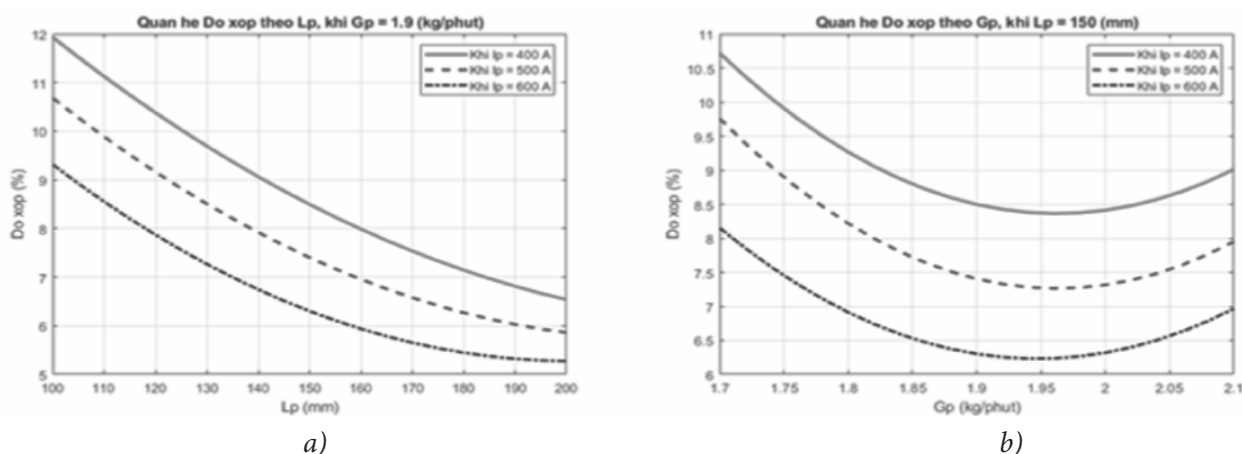


a)

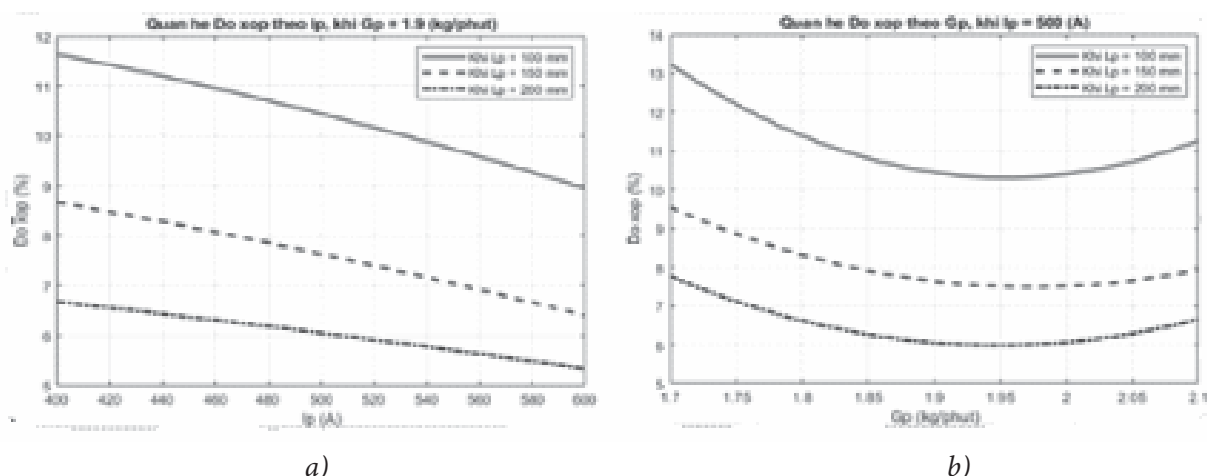


b)

Hình 6. Sự phụ thuộc của độ xốp trung bình lớp phủ plasma $\text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{TiO}_2$ vào khoảng cách phun L_p khi $I_p = 500 \text{ A}$ (a) và cường độ dòng plasma I_p khi $L = 150 \text{ mm}$ (b); $v_p = 50 \text{ mm/s}$



Hình 7. Sự phụ thuộc của độ xốp trung bình lớp phủ plasma $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ vào khoảng cách phun L_p khi $G_p = 1,9$ kg/h (a) và lưu lượng cấp bột phun G_p khi $L_p = 150$ mm (b); $v_p = 50$ mm/s



Hình 8. Sự phụ thuộc của độ xốp trung bình lớp phủ plasma $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ vào cường độ dòng plasma I_p khi $G_p = 1,9$ kg/h (a) và lưu lượng cấp bột phun G_p khi $I_p = 500$ A (b); $v_p = 50$ mm/s

3.2. Bàn luận

Phân tích các số liệu thực nghiệm trong bảng 1 cho thấy:

1) Mảng quy hoạch trực giao thứ nhất N9(1) gồm:

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm đầu tiên nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 100$ mm, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,7$ kg/h có độ xốp trung bình (γ t.n), xác định

bằng phương pháp phân tích ảnh kỹ thuật số trên kính hiển vi quang học, giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của cường độ dòng plasma trong khoảng $I_p = 400 \div 600$ A từ 14,52 % xuống 13,538 % và 11,358 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = +1,07\%$, $-4,86\%$ và $-2,02\%$, tương ứng với các mẫu số 1, 2 và 3;

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm tiếp theo nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun tăng lên mức trung bình trong miền quy

hoạch $L_p = 150$ mm, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,7$ kg/h có độ xấp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của thông số cường độ dòng plasma trong khoảng $I_p = 400 \div 600$ A từ 10,985 % xuống 9,695 % và 7,765 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = +1,59$ %, $+4,29$ % và $+13,96$ %, tương ứng với các mẫu số 4, 5 và 6;

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm tiếp theo nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 150$ mm, cường độ dòng plasma $I_p = 400 \div 600$ A, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,7$ kg/h có độ xấp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của thông số I_p từ 10,985 % xuống 9,695 % và 7,765 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = +1,59$ %, $+4,29$ % và $+13,96$ %, tương ứng với các mẫu số 7, 8 và 9.

2) Mảng quy hoạch trực giao thứ hai N9(2):

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 100$ mm, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,9$ kg/h có độ xấp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của cường độ dòng plasma trong khoảng $I_p = 400 \div 600$ A từ 11,524 % xuống 10,35 % và 9,153 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = +2,45$ %, $+1,75$ % và $-1,2$ %, tương ứng với các mẫu số 10, 11 và 12;

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm tiếp theo nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 150$ mm, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,7$ kg/h có độ xấp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của thông số cường độ dòng plasma trong khoảng $I_p = 400 \div 600$ A từ 8,465 % xuống 7,566 % và 6,676 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính

toán là $S^2 = +5,33$ %, $+5,54$ % và $+2,46$ %, tương ứng với các mẫu số 13, 14 và 15;

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm tiếp theo nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 150$ mm, cường độ dòng plasma $I_p = 400 \div 600$ A, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,7$ kg/h có độ xấp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của thông số I_p từ 6,976 % xuống 6,026 % và 5,06 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = -8,67$ %, $-4,03$ % và $-1,54$ %, tương ứng với các mẫu số 16, 17 và 18.

3) Mảng quy hoạch trực giao thứ ba N9(3):

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm số 19, 20 và 21 nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 100$ mm, lưu lượng cấp bột $G_p = 2,1$ kg/h có độ xấp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của cường độ dòng plasma trong khoảng $I_p = 400 \div 600$ A từ 12,485 % xuống 11,058 % và 9,95 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = -4,74$ %, $-1,57$ % và $-2,9$ %, tương ứng với các mẫu số 19, 20 và 21;

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm tiếp theo nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 150$ mm, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,7$ kg/h có độ xấp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của thông số cường độ dòng plasma trong khoảng $I_p = 400 \div 600$ A từ 8,774 % xuống 7,85 % và 6,976 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = +6,85$ %, $+9,04$ % và $+7,97$ %, tương ứng với các mẫu số 22, 23 và 24;

- Nhóm 03 mẫu thí nghiệm tiếp theo nhận được khi phun ở chế độ khoảng cách phun $L_p = 150$ mm, cường độ dòng plasma I_p 

= 400 ÷ 600 A, lưu lượng cấp bột $G_p = 1,7$ kg/h có độ xốp trung bình γ t.n giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của thông số I_p từ 7,25 % xuống 6,676 % và 5,955 % với sai lệch bình phương trung bình so với mô hình tính toán là $S^2 = -0,68$ %, $-1,43$ % và $-3,5$ %, tương ứng với các mẫu số 25, 26 và 27.

4) Sai số tương ứng giữa các giá trị thực nghiệm và tính toán theo mô hình toán học (1) tại 27 nút quy hoạch thực nghiệm nằm trong khoảng từ $S^2 = -5,51$ % đến $S^2 = +13,96$ % đối với mảng quy hoạch trực giao N9(1), $S^2 = 8,67$ % đến $S^2 = +5,54$ % đối với mảng quy hoạch trực giao N9(2), $S^2 = -4,74$ % đến $S^2 = +9,04$ % đối với mảng quy hoạch trực giao N9(3). Như vậy, mô hình toán học thực nghiệm ở biểu thức (1) biểu diễn được quy luật ảnh hưởng của ba thông số công nghệ phun plasma trong miền quy hoạch thực nghiệm trực giao N27 đã chọn với độ tin cậy cho phép.

5) Phân tích các đồ thị 3D trên các hình 1 ÷ 3 cho thấy: sự ảnh hưởng đồng thời của hai thông số phun I_p và G_p khi thay đổi khoảng cách phun đến độ xốp trung bình (γ t.n) của lớp phủ plasma $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ có quy luật giảm tỷ lệ thuận theo chiều tăng của I_p trong khoảng $I_p = 400 \div 600$ A và $L_p = 100 \div 150$ mm, còn khi $L_p = 150 \div 200$ mm thì γ t.n có xu hướng tăng (hình 3, a, b, c). Khi xét ảnh hưởng đồng thời của hai thông số phun L_p và I_p , thì γ t.n có quy luật giảm tỷ lệ thuận theo chiều tăng của $L_p = 100 \div 200$ mm và $G_p = 1,7 \div 2,1$ kg/h (hình 4, a, b, c). Trong các trường hợp xét ảnh hưởng đồng thời của hai thông số phun I_p và G_p thì γ t.n có quy luật giảm tỷ lệ thuận theo chiều tăng của $I_p = 400 \div 600$ A và trong khoảng cách phun $L_p = 100 \div 150$ mm, còn khi $L_p = 150 \div 200$ mm thì γ t.n lại có xu hướng tăng (hình 5, a, b, c), gần giống như quy luật ảnh hưởng đồng thời cặp đôi hai thông số phun I_p và G_p đã cho trên hình 3, a, b, c.

6) Phân tích các đồ thị 2D trên các hình 6 ÷ 8 cho thấy: độ xốp trung bình của lớp phủ plasma $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ (γ t.n) khi phun ở các chế độ $I_p = 500$ A, $L_p = 100 \div 200$ mm (hình 6, a), cũng như khi $L_p = 150$ mm, $G_p = 1,7 \div 2,1$ kg/h (hình 6, b), đều có sự thay đổi theo quy luật phi tuyến tính, nhưng bán kính cong của các đồ thị không lớn. Các mẫu phun ở điều kiện $G_p = 1,9$ kg/h, $L_p = 100 \div 150$ mm (hình 7, a) có đặc tính thay đổi theo quy luật phi tuyến tính giống như trường hợp cho trên hình 4, a. Khi phun ở khoảng cách $L_p = 150$ mm và $I_p = 400 \div 600$ A thì γ t.n có xu hướng giảm trong khoảng $G_p = 1,7 \div 1,9$ kg/h, rồi sau đó tăng nhẹ trong khoảng $G_p = 1,9 \div 2,1$ kg/h (hình 7, b). Sự phụ thuộc của độ xốp trung bình lớp phủ plasma khi phun ở điều kiện $G_p = 1,9$ kg/h, $I_p = 400 \div 600$ A (hình 8, a) có quy luật thay đổi giống như các mẫu đã xét trên hình 6, b ở trên. Khi phun với $I_p = 500$ A, $G_p = 1,7 \div 2,1$ kg/h (hình 8, b) thì γ t.n có đặc điểm thay đổi giống như các trường hợp đã xét ở hình 7, b.

4. KẾT LUẬN

1) Nếu tốc độ di chuyển của đầu súng phun plasma cho ở mức $v_p = 50$ mm/s, còn ba thông số công nghệ chính trong miền quy hoạch thực nghiệm $L_p = 100 \div 200$ mm, $I_p = 400 \div 600$ A và $G_p = 1,7 \div 2,1$ kg/h, cùng các điều kiện biên khác đã cho thì độ xốp trung bình của lớp phủ plasma $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ trên bề mặt lớp thép nền SS 400 đa số có giá trị thay đổi trong khoảng γ t.n = 14,52 ÷ 5,955 %, với sai số lớn nhất so với tính toán theo mô hình toán học (1) từ $S^2 = +9,04$ % đến $S^2 = -8,67$ % (ngoại trừ một mẫu thí nghiệm số 6 là có sai số lớn nhất $S^2 = +13,96$ %), tương ứng tại 27 chế độ phun khác nhau. Sai số nhỏ nhất của số liệu thống kê toán học thực nghiệm so với các giá trị tính toán mô phỏng là $S^2 = +1,07$ % và $S^2 = -1,11$ %.

2) Mô hình toán học thực nghiệm nhận được khi tính toán bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất có tính khả dụng tốt, từ đó có thể điều khiển được ba thông số công nghệ phun đầu vào (L_p , I_p và G_p) sao cho hàm mục tiêu đầu ra trong bộ các tiêu chí đánh giá chất lượng vật liệu lớp phủ plasma $Al_2O_3 + 40\% TiO_2$ trên bề mặt lớp thép nền SS 400 là độ xốp trung bình của nó ở trạng thái ngay sau khi phun phủ (γ t.n) đảm bảo có giá trị phù hợp với yêu cầu kỹ thuật cần thiết chế tạo sản phẩm cơ khí làm việc ở các điều kiện tải trọng chịu mài mòn cơ học và ăn mòn hóa học cao. ❖

Ngày nhận bài: 03/3/2022

Ngày phản biện: 16/3/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Vũ Dương, Hà Minh Hùng, Bùi Văn Khoản; *Thực nghiệm khảo sát độ xốp lớp phủ plasma vật liệu gốm $Al_2O_3 - TiO_2$ bằng phương pháp kim tương học*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 1+2/2022, trang 37-45.
- [2]. Ха Минь Хунг (1991), “Разработка и внедрение промышленной технологии получения взрывом антифрикционных композиционных материалов для подшипников скольжения”, Московский ордена октябрьской революции и ордена трудового красного знамени Институт Стали и Сплавов, дисс. кандидата техн. наук, Москва, 269 стр.
- [3]. Ха Минь Хунг, Атабеков Е. У. (1992): “Модели комплексного влияния режимов получения прокатки и термообработки полученной взрывом композиции сталь+бронза на прочность соединения”, Известия Вузов, Изд. “Чёрная металлургия”, МИСиС, Москва, Россия, No.4, ст. 32-34.
- [4]. Ха Минь Хунг, Орлов М. И. (1993) “Разработка математической модели процесса сварки взрывом антифрикционных листов сталь+бронзы, сталь+алюминиевые сплавы”, Известия Вузов, Изд. “Чёрная металлургия”, МИСиС, Москва, Россия, No. 5, pp. 37-42.