

# ỨNG DỤNG QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ CÔNG NGHỆ TỐI ƯU TRONG CHẾ TẠO LỚP PHỦ AISI 316 TRÊN BỀ MẶT TRONG CÁC CHI TIẾT THÉP DẠNG ỐNG

APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENTS FOR DETERMINING OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN FABRICATING AISI 316 STEEL COATING ON THE INNER SURFACE OF CYLINDRICAL TUBES

PHÙNG TUẤN ANH<sup>1\*</sup>, THÁI VĂN HÀ<sup>2</sup>, ĐỖ THÀNH TRUNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng

<sup>2</sup>Nhà máy Z125, Tổng cục CNQP, Bộ Quốc phòng

\*Email liên hệ: [phungtuantuanhmta@gmail.com](mailto:phungtuantuanhmta@gmail.com)

## Tóm tắt

Bài báo này tiến hành nghiên cứu kết hợp thực nghiệm và sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để xác định các tham số phun phủ tối ưu khi chế tạo lớp phủ hồ quang điện thép không gỉ AISI 316 trên bề mặt trong các chi tiết thép không gỉ AISI 316 dạng xy lanh. Thông qua xây dựng ma trận thực nghiệm và tiến hành thực nghiệm theo ma trận quy hoạch nhóm tác giả đã xác định được bộ tham số công nghệ tối ưu với 4 tham số chủ yếu quyết định chất lượng lớp phủ: bao gồm điện áp hồ quang 30V; Áp lực khí nén 0,35MPa; Tốc độ quay chi tiết 50 vòng/phút; Tốc độ dịch chuyển súng phun 21cm/phút khi chế tạo lớp phủ trên bề mặt trong ống thép có đường kính 128mm. Các tham số này là cơ sở cho ứng dụng vào thực tế để sản xuất mới cũng như sửa chữa phục hồi các chi tiết dạng trụ tròn xoay với đường kính trong bất kỳ không nhỏ hơn 100mm, đáp ứng nhu cầu trong nước, giảm chi phí sản phẩm.

**Từ khóa:** Quy hoạch thực nghiệm, phun phủ hồ quang điện, ống dạng xy lanh, thép AISI 316, tham số công nghệ.

## Abstract

In this paper, a combination of experimental data and Design of Experiments (DoE) software to determine optimal technological parameters in fabricating electrical arc sprayed AISI 316 coating on the inner surface of cylindrical tubes was studied. Through building experimental matrix and conducting detailed experimental plan, the authors determined the optimal parameter set, including arc load voltage of 30 V, air pressure of 0.34MPa, the rotational speed of workpiece of 50 rpm, the traverse speed of spray

gun of 21cm/min when fabricating the coating on the inner surface of a cylindrical tube with a diameter of 128 mm. These parameters are the initial basis for practical applications to produce and repair cylindrical tubes with inner diameters less than 100 mm for meeting domestic demands and reducing product cost.

**Keywords:** Design of Experiments, electrical arc spray, cylindrical tubes, AISI 316 steel, technological parameters.

## 1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, công nghệ phun phủ kim loại ngày càng trở nên phổ biến trong sản xuất cơ khí [1-5]. Công nghệ này có thể tạo ra các lớp phủ trên các bề mặt chi tiết có chức năng khác nhau như chống ăn mòn, mài mòn, trang trí... Nhiều công trình nghiên cứu về phun phủ kim loại đã được công bố cả trong và ngoài nước, nhưng các nghiên cứu về chế tạo lớp phủ trên bề mặt bên trong các chi tiết vẫn còn khá hạn chế, chưa được công bố rộng rãi. Các nghiên cứu trong nước chủ yếu là chế tạo lớp phủ trên bề mặt ngoài. Một số công trình chế tạo lớp phủ bề mặt trong các chi tiết ống nhưng chưa xem xét tối ưu hóa các tham số [6-7]. Bài báo này sẽ tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi chế tạo lớp phủ thép không gỉ AISI 316 trên bề mặt trong các chi tiết thép không gỉ AISI 316 dạng xy lanh bằng phương pháp phun phủ hồ quang điện trên cơ sở các trang thiết bị phun phủ hồ quang điện TAFE Praxair 8830 MHU (Mỹ) hiện có tại Học viện Kỹ thuật Quân sự. Thông qua lý thuyết quy hoạch thực nghiệm và các số liệu thực nghiệm, các tác giả đã xác định các tham số công nghệ chế tạo lớp phủ tối ưu, có thể áp dụng cho sản xuất thực tiễn tại Việt Nam.

## 2. Thực nghiệm

Để đơn giản cho quá trình nghiên cứu chế tạo lớp phủ AISI 316, bài báo sẽ tiến hành giải quyết hai bài toán quy hoạch thực nghiệm: 1) trước tiên nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp và áp lực khí phun đến chất lượng lớp phủ trên các vật liệu phẳng và 2) trên cơ sở các tham số tối ưu trên mặt phẳng nghiên cứu tiếp ảnh hưởng của tốc độ quay chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun trên bề mặt trong chi tiết dạng xy lanh đến tổ chức và tính chất của lớp phủ AISI 316.

Vật liệu sử dụng để nghiên cứu gồm: vật liệu nền: 1) thép tấm AISI 316 có kích thước 30x30x3 mm (đài x rộng x dày) và 2) ống thép không gỉ AISI 316 dạng xy lanh có kích thước  $\Phi 128 \times 6 \times 230$  mm (đường kính trong x dày x dài). Vật liệu phủ dạng dây AISI 316 được cung cấp bởi hãng TAFA Praxair (Mỹ) có đường kính  $\Phi 1,6$  mm và thành phần hóa học như trong Bảng 1.

**Bảng 1. Thành phần hóa học và đặc tính của dây AISI 316**

C	P	S	Mn	Ni	Cr	Si	Mo	Fe
0,08	0,04	0,03	2,00	12,0	17,0	1,0	2,5	Còn lại

Ở đây, chi tiết nghiên cứu dạng xy lanh có đường kính trong không nhỏ hơn 100mm được lựa chọn dựa trên khuyến cáo của nhà sản xuất do hạn chế của thiết bị [8].

Công nghệ phun phủ hồ quang điện chế tạo lớp phủ chất lượng trên mặt trong chi tiết dạng xy lanh, bạc lót phụ thuộc vào rất nhiều tham số công nghệ như góc phun, khoảng cách phun, áp lực khí phun, điện áp hồ quang, tốc độ quay chi tiết, tốc độ dịch chuyển súng phun. Kết cấu của súng phun được chỉ ra trên Hình 1. Trong quá trình phun, phiôi quay tròn, súng phun chuyển động tịnh tiến bên trong và dọc theo đường sinh của chi tiết để tạo ra lớp phủ với chiều dày theo yêu cầu. Để đảm bảo khảo sát được đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng, cần tiến hành kiểm tra và xác định cố định một số tham số của quá trình. Với vật liệu phủ là thép không gỉ AISI 316, góc phun lựa chọn theo thiết kế của thiết bị là  $65^\circ$ . Áp lực cấp dây được lựa chọn theo hãng TAFA là 2 bar. Khoảng cách súng phun đến bề mặt chi tiết trong quá trình thử chùm tia hồ quang kết hợp đề xuất của nhà sản xuất được xác định là 100mm [8]. Như vậy, các thông số công nghệ chủ yếu còn lại cần khảo sát là áp lực khí phun, điện áp hồ quang, tốc độ quay chi tiết, tốc độ dịch chuyển súng phun.



**Hình 1. Kết cấu súng phun bề mặt trong các chi tiết dạng ống**

Độ cứng của lớp phủ được xác định trên máy đo độ cứng Durajet (Hãng Struers - Đan Mạch) theo thang đo Rocwell bề mặt HR30N, sau đó quy đổi trực tiếp trên máy ra độ cứng HRC. Độ sít chặt của mẫu được xác định thông qua đo tỷ trọng của lớp phủ bằng phương pháp cân trọng lượng, sử dụng cân kỹ thuật TE612 có độ chính xác đến  $10^{-4}$  gam (hãng Sartorius AG - CHLB Đức) và so sánh với tỷ trọng của vật liệu nền AISI 316. Tổ chức tế vi được soi chụp trên kính hiển vi quang học Axio Imager A2M (Hãng Carl Zeiss).

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Ảnh hưởng của điện áp và áp lực khí phun đến tính chất lớp phủ thép không gỉ AISI 316 trên nền thép không gỉ AISI 316 phẳng

Khi khảo sát các tham số chế tạo lớp phủ trên bề mặt phẳng, tham số khảo sát  $x_i$  ( $i = \{1; 2\}$ ) bao gồm:  $x_1$  - Điện áp hồ quang (V),  $x_2$  - Áp lực khí phun (MPa). Hàm mục tiêu  $y_k$  ( $k = \{1; 2\}$ ) được xác định bao gồm:  $y_1$  - Độ sít chặt (%),  $y_2$  - độ cứng (HV).

Để tìm cực trị của hàm hồi quy, trước hết phải dùng mô hình toán học có dạng đa thức bậc 2, xây dựng quy hoạch thực nghiệm trực giao bậc 2 đủ [9]. Với số biến bằng 2, tổng số thí nghiệm là 9, trong đó 4 thí nghiệm cơ bản, 1 thí nghiệm ở tâm và 4 thí nghiệm trong không gian mở rộng.

Tâm thí nghiệm xác định ở điện áp hồ quang (U): 30 V và áp lực khí phun (P): 0,34MPa.

Khoảng biến thiên trong thí nghiệm cơ bản là:  
 $\Delta V = 4 \text{ V}$ ;  $\Delta P = 0,7 \text{ MPa}$ .

Mức trên trong thí nghiệm cơ bản là:  $U = 34 \text{ V}$ ;  
 $P = 0,41 \text{ MPa}$ .

Mức dưới trong thí nghiệm cơ bản là:  $U = 26 \text{ V}$ ;  
 $P = 0,27 \text{ MPa}$ .

Khoảng biến thiên của các biến trong không gian mở rộng với điện áp hồ quang (U):  $\omega.\Delta V = 1 \times 4 = 4$  và với áp lực khí phun (P):  $\omega.\Delta P = 1 \times 0,7 = 0,7$ .

Trên cơ sở lý thuyết QHTN trực giao cấp 2 với số biến bằng 2, tổng số thí nghiệm cần thực hiện là 9.

Ma trận thực nghiệm được xây dựng như trong Bảng 2.

**Bảng 2. Ma trận thực nghiệm**

TT	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1.X<sub>2</sub></sub>	X <sub>1.X<sub>1</sub></sub>	X <sub>2.X<sub>2</sub></sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>
1	+	+	+	+	1/3	1/3		
2	+	-	+	-	1/3	1/3		
3	+	+	-	-	1/3	1/3		
4	+	-	-	+	1/3	1/3		
5	+	0	0	0	-2/3	-2/3		
6	+	+ $\omega$	0	0	1/3	-2/3		
7	+	- $\omega$	0	0	1/3	-2/3		
8	+	0	+ $\omega$	0	-2/3	1/3		
9	+	0	- $\omega$	0	-2/3	1/3		

Tiến hành thực nghiệm theo ma trận quy hoạch, xác định độ sít chặt và độ cứng của lớp phủ. Kết quả thực nghiệm được đưa ra ở Bảng 3.

**Bảng 3. Kết quả thực nghiệm**

TT	Điện áp hồ quang, V	Áp lực khí phun, MPa	Độ sít chặt, %	Độ cứng, HRC
1	26	0,27	84,4	32,1
2	34	0,27	87,0	33,5
3	26	0,41	86,7	34,1
4	34	0,41	85,0	32,5
5	26	0,34	86,2	35,0
6	34	0,34	88,0	34,7
7	30	0,27	88,5	35,1
8	30	0,41	88,9	35,6
9	30	0,34	90,5	36,3

Sử dụng phần mềm tính toán Modde 5.0 thu được:

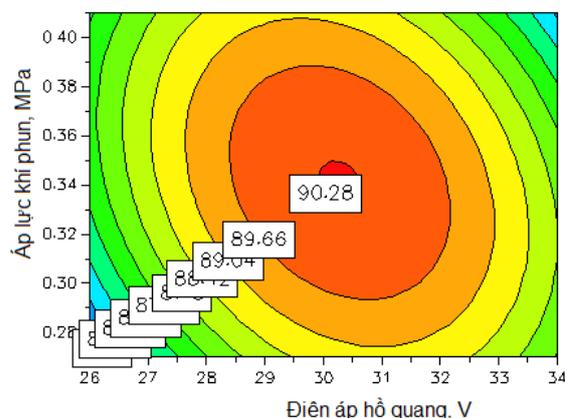
- Phương trình hồi quy độ sít chặt:

$$y_1 = 90,29 - 2,31x_1^2 - 1,11x_2^2 - 0,81x_1x_2 \quad (1)$$

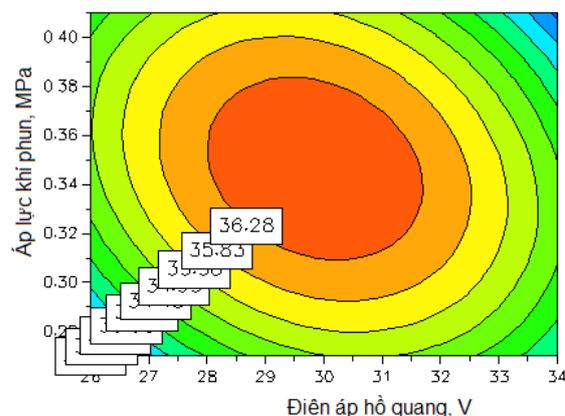
- Phương trình hồi quy độ cứng:

$$y_2 = 36,68 - 1,51x_1^2 - 1,14x_2^2 - 0,56x_1x_2 \quad (2)$$

Ảnh hưởng của điện áp hồ quang và áp lực khí phun đến độ sít chặt và độ cứng của lớp phủ được mô tả trên Hình 2. Các giá trị độ sít chặt và độ cứng lớn nhất xác định được là 90,3% và 36,7 HRC, tương ứng điện áp hồ quang và áp lực khí phun là (29,8-30,0) V và (0,34-0,35) MPa.



(a)



(b)

**Hình 2. Sự phụ thuộc của độ sít chặt (a) và độ cứng**

**(b) của lớp phủ thép không gỉ AISI 316 vào điện áp hồ quang và áp lực khí phun**

### 3.2. Ảnh hưởng của tốc độ quay chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun đến tính chất lớp phủ trên mặt trong chi tiết dạng ống

Tiến hành thực nghiệm chế tạo lớp phủ thép không gỉ AISI 316 trên bề mặt trong chi tiết thép không gỉ AISI 316 tròn xoay có kích thước  $\Phi 128 \times 6 \times 230 \text{ mm}$

(đường kính trong x chiều dày x chiều dài) trên cơ sở điện áp hồ quang 30 V và áp lực khí phun 0,35 MPa tối ưu vừa xác định được khi tiến hành chế tạo lớp phủ trên bề mặt thép không gỉ AISI 316 phẳng.

Xây dựng ma trận thực nghiệm với các thí nghiệm tương ứng như sau:

Tham số khảo sát  $x_i$  ( $i = \{3;4\}$ ) với:  $x_3$  - Tốc độ quay chi tiết (vòng/phút);  $x_4$  - Tốc độ dịch chuyển súng phun (cm/phút).

Hàm mục tiêu  $y_k$  ( $k = \{3; 4\}$ ) với:  $y_3$  - Độ sít chặt (%);  $y_4$  - độ cứng (HV).

Tốc độ quay của chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun liên quan đến tốc độ lướt trên bề mặt chi tiết phun của súng phun. Sự chuyển động tương đối của dòng hồ quang và vùng được phun (nền) được thể hiện thông qua tốc độ lướt ( $v_{lướt}$ ) của súng phun trên bề mặt chi tiết phun. Nói chung, tốc độ lướt đối với hầu hết các ứng dụng phun phủ nhiệt là (0,2-0,4) m/s, tương ứng (12.000-30.000) mm/phút. Khi đó, tốc độ dịch chuyển súng phun (T) khi chi tiết quay được 1 vòng thường nằm trong khoảng (3÷5) mm, do vậy chọn T trung bình là 4 mm/vòng [1,8]. Như vậy, với đường kính trong của xy lanh là 128 mm, vận tốc quay của chi tiết ( $\Omega$ ) được xác định như sau:

$$\Omega = \frac{v_{lướt}}{\pi.D} = \frac{12000}{3.14.128} \div \frac{24000}{3.14.128} \approx (30 \div 60)$$

(vòng/phút).

Tốc độ dịch chuyển súng phun ( $v_{sp}$ ) được xác định:

$$v_{sp} = \frac{v_{lướt}}{\pi.D} \times T = \frac{12000}{3.14.128} \times 4 \div \frac{24000}{3.14.128} \times 4 \approx (120 \div 240)$$

(mm/phút) = (12÷24) cm/phút.

Để xây dựng ma trận thực nghiệm, tâm thí nghiệm được xác định ở tốc độ quay chi tiết ( $\Omega$ ) là 45 vòng/phút; tốc độ dịch chuyển súng phun ( $v_{sp}$ ) là 18 cm/phút.

Khoảng biến thiên trong thí nghiệm cơ bản là:  $\Delta\Omega = 15$  vòng/phút;  $\Delta v_{sp} = 6$  cm/phút.

Mức trên trong thí nghiệm cơ bản là:  $\Omega = 60$  vòng/phút;  $v_{sp} = 24$  cm/phút.

Mức dưới trong thí nghiệm cơ bản là:  $\Omega = 30$  vòng/phút;  $v_{sp} = 12$  cm/phút.

Số biến số trong thí nghiệm là 2, khoảng biến thiên của các biến trong không gian mở rộng với  $\omega = 1$  được xác định với tốc độ quay chi tiết ( $\Omega$ ):  $\omega.\Delta\Omega = 1 \times 15 = 15$  và với áp lực khí phun (P):  $\omega.\Delta P = 1 \times 6 = 6$ .

Tiến hành thực nghiệm theo ma trận quy hoạch, xác định độ sít chặt và độ cứng của lớp phủ. Kết quả thực nghiệm được đưa ra ở Bảng 4.

**Bảng 4. Kết quả thực nghiệm trên ống thép không gỉ AISI 316 tròn xoay**

TT	Mẫu thí nghiệm	Tốc độ quay chi tiết, vòng/phút	Tốc độ dịch chuyển súng phun, cm/phút	Độ sít chặt, %	Độ cứng, HV
1	N1	30	12	83,4	31,8
2	N2	60	12	86,9	33,2
3	N3	30	24	85,5	32,9
4	N4	60	24	87,6	35,4
5	N5	30	18	84,4	32,6
6	N6	60	18	87,4	34,7
7	N7	45	12	86,3	33,5
8	N8	45	24	88,5	35,6
9	N9	45	18	88,9	36,0

Sử dụng phần mềm tính toán Modde 5.0 xác định được:

Phương trình hồi quy độ sít chặt:

$$y_3 = 88,26 + 1,24x_3 + 0,73x_4 - 1,53x_3^2 \quad (3)$$

Phương trình hồi quy độ cứng:

$$y_4 = 35,5 + 0,87x_3 + 0,80x_4 - 1,20x_3^2 \quad (4)$$

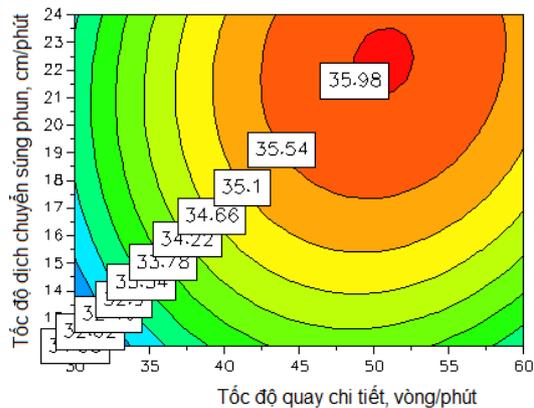
Quan hệ hàm mục tiêu theo điện áp hồ quang và áp lực khí phun như trên Hình 3. Các giá trị độ sít chặt và độ cứng lớn nhất của lớp phủ thép không gỉ AISI 316 xác định được là 89,07% và 36,2 HRC, tương ứng với điện áp hồ quang và áp lực khí phun là 50 vòng/phút và 21 cm/phút.

Tiến hành kiểm nghiệm bằng thực nghiệm chế tạo lớp phủ không gỉ AISI 316 trên mặt trong ống thép

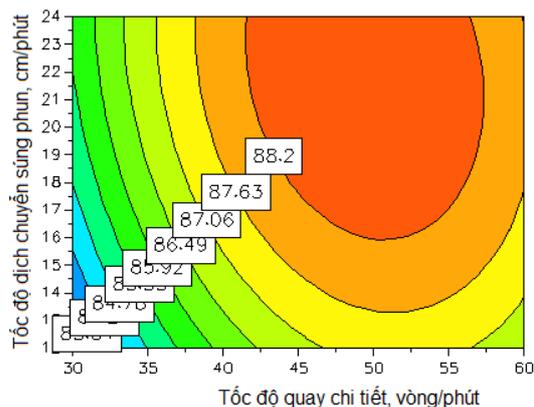
**Bảng 5. So sánh giá trị độ sít chặt và độ cứng lý thuyết với thực nghiệm**

TT	Điện áp hồ quang, V	Áp lực khí nén, MPa	Tốc độ quay chi tiết, vòng/phút	Tốc độ dịch chuyển súng phun, cm/phút	Độ sít chặt, %			Độ cứng, HRC		
					Lý thuyết	Thực nghiệm	Sai số (%)	Lý thuyết	Thực nghiệm	Sai số (%)
1	30	0,34	40	18	87,56	87,3	0,31	35,0	33,6	4,17
2	30	0,34	45	21	88,54	87,0	1,77	35,8	34,5	3,78
3	30	0,34	50	18	88,51	89,1	0,67	35,7	36,3	1,68

không gỉ AISI 316 theo kết quả tính toán tối ưu như trong Bảng 5 cho thấy, các giá trị so sánh giá trị độ sít chặt và độ cứng xác định được khi thực nghiệm với giá trị thu được khi tính toán theo phương trình hồi quy đều không vượt quá 5% cho phép ( $\alpha = 5\%$ ) [9].



(a)

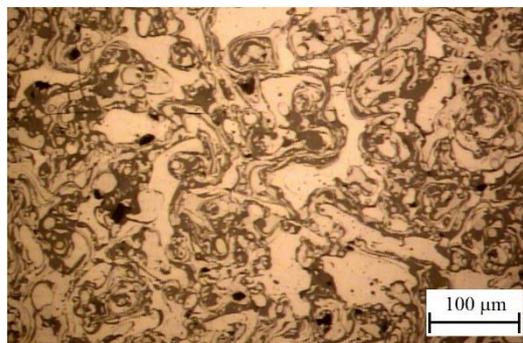


(b)

**Hình 3. Sự phụ thuộc của độ sít chặt (a) và độ cứng (b) của lớp phủ thép không gỉ AISI 316 vào tốc độ quay chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun**

Kiểm nghiệm tốc độ ăn mòn của lớp phủ 316 được xác định thông qua việc xác định cường độ dòng ăn mòn bằng phương pháp điện hóa theo tiêu chuẩn ASTM G102 [10] trên máy đo dòng ăn mòn Autolan (Hà Lan) cho thấy, với chế độ phun tối ưu, tốc độ ăn mòn của lớp phủ trong dung dịch 3,5% NaCl khoảng từ (0,012-0,015) mm/năm. Thử nghiệm xác định độ bám dính của lớp phủ AISI 316 theo tiêu chuẩn ASTM C633 trên mẫu có độ sít chặt cao nhất cho giá trị của độ bám dính xác định được nằm khoảng từ (28,7-29,4) MPa. Giá trị này cũng tương đối phù hợp với các tài liệu và công trình đã được công bố [8,11,13]. Tổ chức tế vi của lớp phủ của mẫu có độ sít chặt cao nhất được cho trong Hình 4. Có thể thấy, lớp phủ (Hình 3a) có tổ chức khá đồng đều với

các lỗ xốp nhỏ và thấy rõ sự liên kết chặt chẽ giữa lớp phủ với nền kim loại (Hình 4b).



(a)



(b)

**Hình 4. Tổ chức tế vi lớp phủ (a) và mặt phân cách lớp phủ-nền (b) của mẫu sít chặt nhất, x100**

#### 4. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm kết hợp với phương pháp Quy hoạch thực nghiệm, các tác giả đã xác định được bộ tham số công nghệ tối ưu khi chế tạo lớp phủ vật liệu thép không gỉ AISI 316 trên bề mặt trong các chi tiết thép không gỉ AISI 316 tròn xoay. Với chi tiết ống thép có đường kính trong 128 mm, các tham số công nghệ phun tối ưu xác định được bao gồm điện áp hồ quang 30 V, áp lực khí nén 0,35 MPa, tốc độ quay chi tiết 50 vòng/phút, tốc độ dịch chuyển súng phun 21 cm/phút. Với các chi tiết có đường kính trong khác nhau không nhỏ hơn 100 mm, các tham số công nghệ phun tối ưu là điện áp hồ quang, áp lực khí phun không thay đổi, còn các tham số tốc độ quay chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun sẽ thay đổi phù hợp với đường kính trong của chi tiết.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Joseph R. Davis. *Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM International, 338 p, 2004.
- [2] Wang Ruijun, Xu Lin. *The Properties of the*

- High Productive High Velocity Arc Sprayed Coatings and its Applications*. Thermal Spray 2004: Advances in Technology and Application: Proceedings of the International Thermal Spray Conference.
- [3] Ashgriz, Nasser (Ed.). Handbook of Atomization and Sprays. Theory and Applications.//1st Edition, XVI, 935 p, 2011.
- [4] Stephan Siegmann, Christoph Abert - 100 years of thermal spray. About the inventor Max Ulrich Schoop, Surface & Coatings Technology 220, pp. 3-13, 2013.
- [5] Robert B. Heimann. Recently patented word on thermally sprayed coatings for protection against wear and corrosion of engineered structures.//Recent patents on materials science, Vol.1, pp. 41-55, 2008.
- [6] Phùng Tuấn Anh, Nguyễn Đình Chiến, Lê Viết Bình. *Chế tạo lớp phủ chống ăn mòn và mài mòn trên mặt trong các chi tiết dạng ống trụ tròn bằng công nghệ phun phủ hồ quang điện*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 47, tr.18-23, 2016.
- [7] Phùng Tuấn Anh. *Nghiên cứu chế tạo lớp phủ hồ quang điện AISI 316 chống ăn mòn trên mặt trong các chi tiết thép dạng ống xi lanh*. Hội nghị KH&CN toàn quốc về Cơ khí - Động lực, ngày 13/10/2016 tại trường ĐH Bách Khoa Hà Nội; ISBN 978-604-95-0041-1, tr. 429-433, 2016.
- [8] Model 839 I.D. and Straight ahead Sprayer. Operator's Manual. TAFE Praxair (Mỹ).
- [9] Nguyễn Minh Tuyền. Quy hoạch thực nghiệm. NXB KHKT, 2005.
- [10] ASTM G102-89. Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements, 2010.
- [11] B. Sun and H. Fukunuma, Saitama. *Study on stainless steel 316L coatings sprayed by high pressure HVOF*. Thermal Spray 2011: Proceedings of the International Thermal Spray Conference (DVS-ASM), pp. 49-54, 2011.
- [12] ASTM C633. Standard test method for adhesion or cohesion strength of thermal spray coatings.
- [13] Fred M. Reinhart and James F. Jenkins. *Corrosion of materials in surface seawater after 12 and 18 months of exposure*. Technical Note N-1213, Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California, 1972.

Ngày nhận bài:	07/3/2020
Ngày nhận bản sửa:	25/3/2020
Ngày duyệt đăng:	30/3/2020