

TỐI ƯU HÓA CÁC THAM SỐ CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO LỚP PHỦ BABBITT THIẾC TRÊN MẶT TRONG CHI TIẾT ỐNG THÉP C45

APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENTS FOR DETERMINING OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN FABRICATING TIN BABBITT COATING ON THE INNER SURFACE OF C45 STEEL TUBULAR SHAPED PARTS

Lục Vân Thương¹, Phùng Tuấn Anh², Lê Minh Đức²

¹Phòng Thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt, Viện Nghiên cứu Cơ khí

²Học viện Kỹ thuật Quân sự, Bộ Quốc phòng

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 babbitt thiếc trên bề mặt trong các chi tiết dạng ống thép C45. Thông qua quy hoạch thực nghiệm và tiến hành thực nghiệm, các tham số công nghệ tối ưu với 4 tham số chủ yếu quyết định chất lượng lớp phủ đã được xác định, bao gồm điện áp hồ quang 22V, áp lực khí phun 0.45 MPa, tốc độ quay chi tiết 47 vòng/phút, tốc độ dịch chuyển súng phun 20 cm/phút. Các tham số này là cơ sở cho ứng dụng vào thực tế để sản xuất mới cũng như phục hồi lớp phủ babbitt thiếc trên bề mặt trong các chi tiết dạng ống.

Từ khóa: Phun phủ hồ quang điện; Tham số công nghệ; Quy hoạch thực nghiệm; Chi tiết dạng ống; Bề mặt trong; Babbitt thiếc.

ABSTRACT

In this paper, the optimal technological parameters for manufacturing the electrical arc sprayed tin babbitt coating on the inner surface of cylindrical tubes was determined. Through a combination of experimental data and Design of Experiments method (DoE), the authors determined the optimal parameter set, including arc load voltage of 22 V, air pressure of 0.45 MPa, the rotational speed of workpiece of 47 rpm, traverse speed of spray gun of 20 cm/min, for 130 mm inner diameter tubes. These parameters are the basis for practical applications to create and restore tin babbitt coating on the inner surface of tubular shaped parts.

Keywords: Electrical arc spray, technological parameters, Design of Experiments, cylindrical tubes, inner surface, tin babbitt coating.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ phun phủ kim loại nhằm tạo ra các lớp phủ trên các bề mặt chi tiết có chức năng khác nhau như chống ăn mòn, mài mòn, trang trí... đang ngày càng trở nên phổ biến trong sản xuất cơ khí [1-5]. Trên thế giới, nhiều công trình công bố về công nghệ này có thể được thực hiện trên cả bề mặt bên ngoài lẫn bề mặt bên trong của chi tiết. Tuy nhiên, các công trình công bố trong nước về lớp phủ trên bề mặt bên trong các chi tiết dạng ống rỗng khá hạn chế [6-8]. Bài báo này sẽ tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi chế tạo lớp phủ babbitt thiếc trên bề mặt trong các chi tiết thép C45 dạng ống bằng phương pháp phun phủ hồ quang điện, làm cơ sở cho các ứng dụng sản xuất thực tiễn tại Việt Nam.

2. THỰC NGHIỆM

Thực nghiệm được tiến hành trên thiết bị phun phủ hồ quang điện TAFA Praxair 8810 MHU tại Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Vật liệu nền là tấm thép tấm C45 có kích thước 30x30x3 mm (dài x rộng x dày) và ống thép C45 dạng ống có kích thước $\Phi 130 \times 10 \times 350$ mm (đường kính trong x chiều dày x chiều dài). Vật liệu phủ dạng dây Babbitt thiếc được cung cấp bởi hãng TAFA Praxair (Mỹ) có đường kính $\Phi 2,0$ mm và thành phần hóa học như trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học và đặc tính của dây babbitt thiếc

Sn, %	Cu, %	Sb, %	Tổng tạp chất khác, %
89,0	7,0	3,0	1,0

Chất lượng lớp phủ hồ quang điện 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. Góc phun lựa chọn theo thiết kế của thiết bị là 65° . 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 với dây babbitt thiếc kết hợp đề xuất của nhà sản xuất được xác định là 75 mm [9]. Chi tiết nghiên cứu dạng xy lanh có đường kính trong không nhỏ hơn 100 mm được lựa chọn dựa trên khuyến cáo của nhà sản xuất do hạn chế của thiết bị. 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.

Nghiên cứu bao gồm hai bài toán cơ bản: 1) phun trên bề mặt phẳng xác định các tham số điện áp và áp lực khí phun tối ưu và 2) phun trên mặt trong chi tiết ống xác định các tham số tốc độ quay chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun tối ưu trên cơ sở các tham số tối ưu khi phun trên bề mặt phẳng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phun phủ trên bề mặt phẳng chi tiết thép C45 xác định điện áp, áp lực khí phun tối ưu

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). Xây dựng quy hoạch thực nghiệm trực giao bậc 2 đủ với 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 [10].

Tâm thí nghiệm có thể xác định ở Điện áp hồ quang (U): 22 V; Áp lực khí phun (P): 0,41 MPa.

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: $U = 26 \text{ V}$; $P = 0,48 \text{ MPa}$.

Mức dưới trong thí nghiệm cơ bản là: $U = 18 \text{ V}$; $P = 0,34 \text{ MPa}$.

Giá trị mở rộng theo lý thuyết QHTN $\omega = 1$. Như vậy, giá trị của các biến được xây

dựng như sau:

- Điện áp hồ quang (U): $U \text{ (V)} = \{18; 22; 26\}$. Áp lực khí phun (P): $P \text{ (MPa)} = \{0,34; 0,41; 0,48\}$.

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 khi phun trên bề mặt C45 phẳng

TT	Mẫu thí nghiệm	Điện áp hồ quang, V	Áp lực khí phun, MPa	Độ sít chặt, %	Độ cứng, HV
1	N1	18	0,34	80,68	23,7
2	N2	26	0,34	84,23	27,8
3	N3	18	0,48	85,03	29,9
4	N4	26	0,48	85,71	30,7
5	N5	18	0,41	84,81	29,2
6	N6	26	0,41	86,02	31,1
7	N7	22	0,34	85,10	29,1
8	N8	22	0,48	87,98	33,5
9	N9	22	0,41	87,83	33,1

Sử dụng phần mềm tính toán Modde 5.0 thu được:

Phương trình hồi quy độ sít chặt:

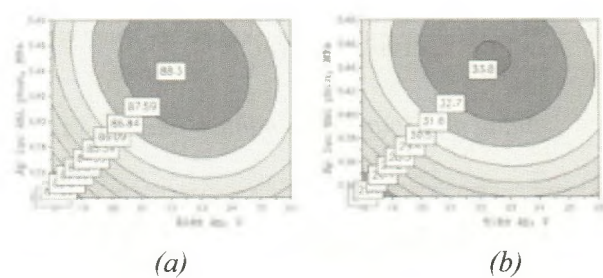
$$y_1 = 87.9 + 0.79x_1 + 1.27x_2 - 0.53x_1x_2 - 1.91x_1^2 - 1.1x_2^2 \tag{1}$$

Phương trình hồi quy độ cứng:

$$y_2 = 32.2 + 0.97x_1 + 1.96x_2 - 0.62x_1x_2 - 2.36x_1^2 - 1.5x_2^2 \tag{2}$$

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 1. Các giá trị độ sít

chặt và độ cứng lớn nhất xác định được là 88,3 % và 33,8 HV, tương ứng điện áp hồ quang và áp lực khí phun là (22,0-22,4) V và (0,44-0,45) MPa.



Hình 1. Sự phụ thuộc của độ sít chặt (a) và độ cứng (b) của lớp phủ babbitt thiếc trên bề mặt phẳng chi tiết thép C45 vào điện áp hồ quang và áp lực khí phun.

3.2. Phun phủ trên mặt trong chi tiết ống thép C45 xác định tốc độ quay chi tiết, tốc độ dịch chuyển súng phun tối ưu

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 được xác định thông qua 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 (12000-30000) 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 [1,9]. Như vậy, với đường kính trong của ống thép C45 là 130 mm, vận tốc quay của chi tiết được xác định:

$$\Omega = \frac{v_{lướt}}{\pi.D} = (\frac{12000}{3.14.130} \div \frac{24000}{3.14.130}) \approx (30 \div 60) \text{ (vòng/phút)}.$$

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

$$v_{sp} = \frac{v_{lướt}}{\pi.D} \times T = (\frac{12000}{3.14.130} \times 4 \div \frac{24000}{3.14.130} \times 4) \approx (120 \div 240) \text{ mm/phút}.$$

Hay $v_{sp} = (12+24) \text{ cm/phút}.$

Để xây dựng ma trận thực nghiệm, tâm thí nghiệm được xác định ở tốc độ quay chi tiết (Ω) 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; $\Delta v_{sp} = 6 \text{ cm/phút}.$

Mức trên trong thí nghiệm cơ bản là: $\Omega = 60$ vòng/phút; $v_{sp} = 24 \text{ cm/phút}.$ Mức dưới trong thí nghiệm cơ bản là: $\Omega = 30$ vòng/phút; $v_{sp} = 12 \text{ cm/phút}.$

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 (Ω): $\omega.\Delta\Omega = 1 \times 15 = 15$ và với áp lực khí phun (P): $\omega.\Delta P = 1 \times 6 = 6.$

Trên cơ sở lý thuyết QHTN trực giao cấp 2 với số biến bằng 2, tổng số thí nghiệm cần thực hiện là 9, giá trị của các biến được xây dựng như sau:

Tốc độ quay chi tiết, $\Omega = \{30; 45; 60\}.$
Tốc độ dịch chuyển súng phun, $v_{sp} = \{12; 18; 24\}.$

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 chế tạo lớp phủ babbitt thiếc trên mặt trong chi tiết ống thép C45

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	82	25.3
2	N2	60	12	83.32	26.1
3	N3	30	24	84.4	28.5

4	N4	60	24	86.53	31.1
5	N5	30	18	85.25	28.2
6	N6	60	18	86.21	29.8
7	N7	45	12	84.81	29.1
8	N8	45	24	87.19	32.3
9	N9	45	18	88.47	32.9

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

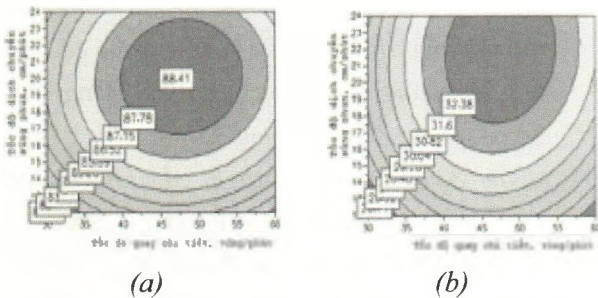
Phương trình hồi quy độ sít chặt:

$y_3 = 88.1 + 0.64x_3 + 1.15x_4 - 1.65x_3^2 - 1.45x_4^2$ (3)

Phương trình hồi quy độ cứng:

$y_4 = 32.5 + 0.72x_3 + 1.65x_4 - 2.45x_3^2 - 1.18x_4^2$ (4)

Quan hệ hàm mục tiêu theo điện áp hồ quang và áp lực khí phun như trên hình 2. Các giá trị độ sít chặt và độ cứng lớn nhất xác định được là 88,42 % và 33,0 HV, tương ứng tốc độ quay chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun là 47 vòng/phút và 20 cm/phút.



Hình 2. Sự phụ thuộc của độ sít chặt (a) và độ cứng (b) của lớp phủ babbitt thiếc trên bề mặt trong ống thép C45 vào tốc độ quay chi tiết và tốc độ dịch chuyển súng phun.

Thử nghiệm xác định độ bám dính của lớp phủ được thực hiện theo ASTM C633 trên 03 mẫu thí nghiệm được chế tạo theo chế độ phun phủ tối ưu cho kết quả giá trị độ bám dính của lớp phủ nằm trong khoảng (15,4-17,5)

MPa, phù hợp với các công trình đã được công bố [9].

Tiến hành thử nghiệm xác định khả năng chống mài mòn trên 03 mẫu nhỏ được phun phủ lớp babbitt với chế độ phun cho độ sít chặt lần lượt là 87,55 %, 87,20 % và 85,19 %. Các mẫu được ký hiệu là M1, M2, M3.

Các mẫu tiến hành thí nghiệm mài mòn được thực hiện trong điều kiện không bôi trơn tại nhiệt độ phòng. Tất cả 03 mẫu được thử nghiệm cùng một chế độ theo tiêu chuẩn ASTM G133 [11] với các thông số thử được cho trong bảng 5. Kết quả xác định hệ số ma sát của các mẫu được cho trong bảng 6.

Bảng 5. Chế độ thử nghiệm mài mòn trong điều kiện không bôi trơn

Lực pháp tuyến	25N
Tần số	5Hz
Thời gian thử	500 giây

Bảng 6. Hệ số ma sát khô của lớp phủ babbitt thiếc

Mẫu	Độ sít chặt, %	Hệ số ma sát khô
M1	87,55	0,221
M2	87,20	0,308
M3	85,19	0,491

Từ bảng 6 cho thấy, rõ ràng khi độ sít chặt giảm xuống, hệ số ma sát sẽ tăng theo trong điều kiện thử độ mài không có bôi trơn. Điều này hoàn toàn phù hợp với quy luật. Hệ số ma sát tối ưu trong điều kiện không bôi trơn khoảng (0,221-0,308), giá trị trung bình 0,2625, phù hợp với các công trình đã công bố [12,13].

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở kết hợp Quy hoạch thực nghiệm và nghiên cứu thực nghiệm, các tác giả đã xác định được bộ tham số công nghệ tối ưu khi chế tạo lớp phủ babbitt thiếc trên bề mặt trong ống thép có đường kính trong 130 mm với các tham số công nghệ phun phủ tối ưu gồm: điện áp hồ quang (22,0-22,4) V, áp lực khí nén và (0,44-0,45) MPa, tốc độ quay chi tiết 47 vòng/phút, tốc độ dịch chuyển súng phun 20 cm/phút. Khi đó, lớp phủ có độ sít chặt cao nhất 87,55 %, độ cứng đạt 31,9 HV, hệ số ma sát trung bình của lớp phủ trong trường hợp không bôi trơn là 0,2625. Các tham số công nghệ này là cơ sở để tham khảo khi chế tạo và phục hồi lớp phủ trên mặt trong các ống thép bất kỳ có đường kính trong không dưới 100 mm./.❖

Ngày nhận bài: **05/02/2023**

Ngày phản biện: **26/02/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Stephan Siegmann, Christoph Abert - 100 years of thermal spray. *About the inventor Max Ulrich Schoop*, Surface & Coatings Technology 220 (2013) 3-13.
- [2]. Joseph R. Davis. *Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM International, 2004, 338 p.
- [3]. 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.

- [4]. Robert B. Heimann. *Recently patented word on thermally sprayed coatings for protection against wear and corrosion of engineered structures*. Recent patents on materials science, 2008, 1, pp. 41-55.
- [5]. Ashgriz, Nasser (Ed.). *Handbook of Atomization and Sprays*. Theory and Applications. 1st Edition, 2011, XVI, 935 p.
- [6]. Phùng Tuấn Anh, Nguyễn Đình Chiến, Lê Việt 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 KHCN Hàng hải, 47, tháng 8/2016, trang 18-23.
- [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*; Kỷ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí - Động lực, ngày 13/10/2016, trang 429-433.
- [8]. Phùng Tuấn Anh, Thái Văn Hà, Đỗ Thành Trung; *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*, Tạp chí KHCN Hàng Hải, Số 63, tháng 8/2020, trang 35-40.
- [9]. *Model 839 I.D. and Straight Ahead Sprayer. Operator's Manual*. TAFA Praxair (USA).
- [10]. Nguyễn Minh Tuyên; *Quy hoạch thực nghiệm*, NXB. Khoa học Kỹ thuật, 2005.
- [11]. *ASTM - G133 Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-On-Flat Sliding Wear*.
- [12]. Ray E. Bolz. *CRC Handbook of Tables for Applied Engineering Science*. CRC Press Inc, 1973.
- [13]. Richard C. Dorf. *CRC Handbook of Engineering Tables*. CRC Press, 2003.