

TỐI ƯU HÓA THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ HÀN ĐIỆN TIẾP XÚC CHO ĐỘ BỀN BẮM DÍNH LỚP ĐẮP CHI TIẾT TRỤC

OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF RESISTANCE WELDING FOR ADHERENCE STRENGTH OF SHAFT COATING

Nguyễn Minh Tân¹, Lê Văn Thoài¹, Hoàng Văn Châu², Đào Quang Kế³

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

²Hội Khoa học Kỹ thuật Hàn Việt Nam

³Học viện Nông nghiệp Việt Nam

TÓM TẮT

Độ bền bám dính lớp hàn đắp có quyết định rất lớn đến khả năng làm việc của chi tiết trục được phục hồi. Bài báo trình bày phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi kết hợp phân tích phương sai (ANOVA) để tối ưu hóa thông số công nghệ cho độ bền bám dính khi phục hồi chi tiết trục thép C45, có đường kính $\varnothing 100$ bằng phương pháp hàn điện tiếp xúc với dây thép phụ C70. Kết quả nghiên cứu đã xác định được bộ thông số công nghệ (cường độ dòng điện hàn: I_w , lực ép hàn: F , vận tốc hàn: V_w) để nhận được độ bền bám dính cao nhất. Độ bền bám dính cao nhất đạt được khoảng 90% so với độ bền của kim loại nền, trong khi đó lớp đắp vẫn thỏa mãn yêu cầu về độ cứng của trục thép C45 tôi, cải thiện (khoảng 50 đến 55 HRC). Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, phương pháp hàn phục hồi này có thể ứng dụng để hàn đắp phục hồi các chi tiết dạng trục với các kích thước và vật liệu khác nhau.

Từ khóa: Hàn điện tiếp xúc; Độ bền bám dính; Trục phục hồi; Phương pháp Taguchi.

ABSTRACT

Adherence strength of metal coating plays an important role in workability of recovery shaft. This paper presents a Taguchi method combined Analysis of Variance (ANOVA) to optimize technological parameters for the adherence strength when restoring C45 steel shaft with a diameter of 100mm by resistance welding using C70 filler wire. A set of welding parameters such as current I_w , force F , velocity V_w , is established to obtain the highest adherence strength. This value is about 90% of parent metal strength; while the metal coating is still maintains hardness as its C45 steel with hardening (50-55HRC). Obtained results show that the proposed resistance welding can apply to recondition the shafts with different dimensions and materials.

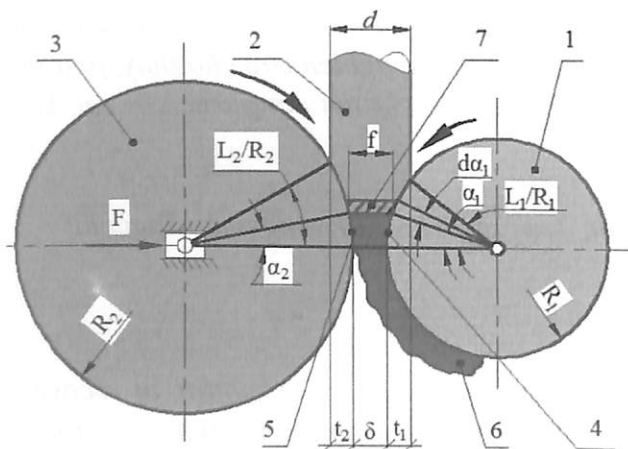
Keywords: Resistance welding; Adherence strength; Recovery shaft; Taguchi method.

1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ HÀN ĐIỆN TIẾP XÚC PHỤC HỒI CHI TIẾT TRỤC VẬT LIỆU DÂY THÉP

Công nghệ hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục dựa trên nguyên lý của hàn điện tiếp xúc đường gián đoạn có nguyên lý và mô hình sau:

+ Nguyên lý [6,7,8,11,12]:

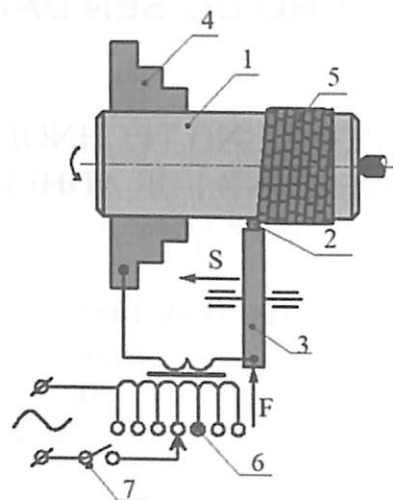
Chi tiết trục hàn phục hồi 1 được kẹp chặt và truyền động quay bởi mâm cặp 4 và mũi chống tâm. Điện cực lăn 3 được quay đồng tốc, tịnh tiến theo phương dọc trục hàn và tác dụng một lực ép phù hợp để ép chặt dây kim loại 2 vào bề mặt trục phục hồi tạo ra các đường xoắn ốc. Đồng thời một dòng xung điện có cường độ rất lớn được cấp từ máy biến áp hàn 7, thông qua cầu dao 6 chạy qua vị trí tiếp xúc giữa dây thép kim loại với trục phục hồi tạo lên lớp kim loại hàn đắp 5.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý quá trình hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục:

- 1 - Trục cần hàn đắp; 2 - Con lăn điện; 3 - Dây hàn phụ; 4 - Bề mặt tiếp xúc giữa kim loại đắp với trục hàn;
- 5 - Bề mặt tiếp xúc giữa kim loại đắp với con lăn điện;
- 6 - Kim loại hợp kim hàn đắp;
- 7 - Tiết diện cơ bản của lớp đắp hợp kim.

+ Mô hình [8,12]:



Hình 2. Sơ đồ hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép:
1 - Chi tiết máy; 2- Dây hàn; 3- Điện cực hàn kiểu con lăn; 4- Mâm cặp; 5- Lớp phủ kim loại.

Đặc điểm của phương pháp hàn điện tiếp xúc [4]:

- Không cần dùng thuốc hàn hay khí bảo vệ.
- Chất lượng mối hàn cao, mối hàn không có xỉ.
- Năng suất quá trình hàn cao, chi tiết hàn biến dạng ít.
- Dễ cơ khí hóa và tự động hóa quá trình hàn.

2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ THỰC NGHIỆM TAGUCHI VÀ PHÂN TÍCH PHƯƠNG SAI (ANOVA)

2.1. Phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi

Phương pháp này được phát triển bởi Genichi Taguchi, một kỹ sư người Nhật vào cuối những năm 40 của thế kỷ 20 [1,9,10]. Theo phương pháp Taguchi, sự kết hợp của các yếu tố ảnh hưởng tới hàm mục tiêu được thực hiện thông qua các mảng trực giao (OAs). Xét

3 yếu tố và mỗi yếu tố 3 mức sử dụng mảng trực giao $L_9(3^3)$.

Các kết quả thử nghiệm được phân tích trên phương pháp thống kê thông qua việc tính tỷ lệ tín hiệu so với nhiễu (Signal to Noise) ký hiệu là (S/N). Có 3 đặc trưng chất lượng ứng với hàm mục tiêu mà Taguchi đã nghiên cứu và đưa ra trong bảng 1

Bảng 1. Các đặc trưng chất lượng theo Taguchi:

| Dạng | Tên gọi | Biểu thức |
|------|-------------------------|--|
| 1 | Lớn hơn thì tốt hơn | $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2})$ (1) |
| 2 | Bình thường là tốt nhất | $S/N = -10 \log(\bar{y}^2 / D^2)$ (2) |
| 3 | Nhỏ hơn thì tốt hơn | $S/N = -10 \log(\frac{1}{n} \sum y_i^2)$ (3) |

Trong đó: S/N, y_p , \bar{y} , D, n lần lượt là: Tỷ lệ tín hiệu so với nhiễu, giá trị đo của thử nghiệm thứ i, giá trị trung bình của tất cả các lần đo, phương sai và tổng số thử nghiệm cần thực hiện.

2.2. Phân tích phương sai (ANOVA)

Do phương sai là độ phân tán tương đối của các quan sát so với số trung bình nên việc phân tích phương sai giúp so sánh các số trung bình dễ dàng.

+ Các bước trong phân tích phương sai gồm:

- Bước 1: Phân mức các yếu tố, vẽ đồ thị thể hiện tác động trung bình của các yếu tố bằng việc tính trung bình các tỷ số S/N ứng với từng mức của mỗi yếu tố.

$$m_{ji} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 ((S/N)_j)_i \quad (4)$$

Với m_{ji} là trung bình của các tỉ số nhiễu ứng với từng mức i (i=1,2,3); j là các tham số ảnh hưởng (j=A,B,C).

Tính tổng bình phương phương sai:

$$S_j = 3(m_{j1}-m)^2 + 3(m_{j2}-m)^2 + 3(m_{j3}-m)^2 \quad (5)$$

Với m là trung bình của các tỉ số S/N.

$$m = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 (S/N)_i \quad (6)$$

Vẽ đồ thị thể hiện tác động trung bình của các yếu tố và dự đoán điều kiện tối ưu theo công thức:

$$Y_{opt} = T + \sum_{j=1}^n (j_i - T) \quad (7)$$

j: Các yếu tố ảnh hưởng; i: Mức tối ưu dự đoán.

- Bước 2: Tính tổng các kết quả thí nghiệm.

$$T = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (8)$$

Y_i là kết quả đo ở điều kiện thử thứ i;

Bước 3: Tính hệ số điều chỉnh yếu tố.

$$CF = \frac{T^2}{n} \quad (9)$$

- Bước 4: Tính tổng bình phương các yếu tố.

$$S_j = \sum_{i=1}^{n_{ji}} \frac{j_i^2}{n_{ji}} - CF \quad (10)$$

Với n_{ji} là số thử nghiệm của yếu tố j ở mức i.

j_i là tổng các kết quả của yếu tố j ở mức i .

- Bước 5: Tính bậc tự do của thực nghiệm và bậc tự do các yếu tố:

$$f_T = n-1; f_j = l-1 \tag{11}$$

Với l là số mức của yếu tố j , n là số thí nghiệm.

- Bước 6: Tính phương sai các yếu tố:

$$V_j = S_j / f_j \tag{12}$$

- Bước 7: Tính tổng bình phương làm cơ sở để so sánh sự biến thiên xung quanh giá trị trung bình

$$S_T = \sum_{j=1}^n S_j \tag{13}$$

- Bước 8: Tính phần trăm phân bố ảnh hưởng của các yếu tố tới hàm mục tiêu:

$$P_j = S_j / S_T \tag{14}$$

- Bước 9: Tổng hợp các kết quả trong bảng.

3. THỰC NGHIỆM

3.1. Thiết bị hàn thực nghiệm

Để tiến hành thực nghiệm tác giả kết hợp thiết bị hàn điện tiếp xúc đường ARO 72500 [5] sản xuất theo tiêu chuẩn NF A 82-020 của Pháp, kết hợp với đồ gá chế tạo chế tạo có hình ảnh như Hình 3.



Hình 3. Thiết bị hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu dây thép

3.2. Vật liệu

a) Vật liệu thực nghiệm

Các chi tiết trục sử dụng trong các kết cấu máy như ô tô, các máy công cụ, máy nông nghiệp... thường được chế tạo từ thép C45. Do đó, tác giả đã lựa chọn nghiên cứu hàn đắp phục hồi trên trục thép C45 theo TCVN 1766 - 75 [2] có $\varnothing = 100\text{mm}$ và bị hao mòn 1mm về mỗi phía (tức mẫu thực có $\varnothing = 99\text{mm}$) có thành phần hóa học như bảng 1 và độ bền kéo như bảng 2.

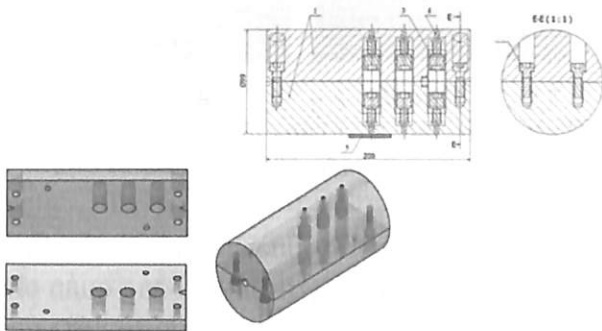
Bảng 2: Thành phần hóa học của mẫu trục thực nghiệm (%)

| C (%) | Si (%) | Mn (%) | Cr (%) | Ni (%) | S (%) | P (%) |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 0,471 | 0,263 | 0,657 | 0,471 | 0,26 | 0,027 | 0,008 |

Bảng 3. Độ bền kéo của vật liệu thực nghiệm

| Chỉ tiêu thử nghiệm | Đơn vị | Kết quả | | | Trung bình |
|---------------------|-------------------|---------|-------|-------|------------|
| | | Mẫu 1 | Mẫu 2 | Mẫu 3 | |
| Giới hạn bền | N/mm ² | 495 | 485 | 484 | 488 |

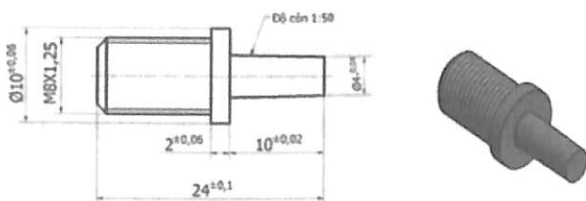
+ Với mục đích kiểm tra, đánh giá và khẳng định cho độ bền bám dính cao, phương pháp hàn này, tác giả tiến hành đo độ bền bám dính lớp đắp với nền bằng việc tách các chốt hình trụ ra khỏi bề mặt đắp. Giá trị độ bền bám dính bằng giá trị lực chia cho diện tích bề mặt chốt được tách ra. Mẫu thực nghiệm được chế tạo như Hình 4.



Hình 4. Mẫu thực nghiệm

+ Các chốt kéo kiểm tra độ bền bám dính được thiết kế có tiết diện đầu chốt là $\varnothing 4$, tương đương với diện tích tiếp xúc của một mối hàn. Vật liệu chốt được lấy ra từ vật liệu thực nghiệm.

Thân chốt được chế tạo có độ côn tiêu chuẩn 1/50 để loại bỏ hiện tượng ma sát khi kiểm tra kéo đứt. Ở phần đuôi của chốt có thiết kế một ren ngoài để ăn khớp với thanh kéo khi kéo đứt chốt ra khỏi mối hàn như Hình 5.



Hình 5. Chốt kiểm tra bền bám dính liên kết hàn

b) Vật liệu dây hàn phụ

Tác giả lựa chọn vật liệu dây thép đàn

hồi C70 theo tiêu chuẩn TCVN 1767:76 [3] có đường kính 1,8mm làm vật liệu dây hàn cho quá trình thực nghiệm công nghệ hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục có thành phần hóa học cho trong Bảng 4.

Bảng 4. Thành phần hóa học của dây hàn phụ (%)

| C (%) | Si (%) | Mn (%) | Cr (%) | Ni (%) | S (%) | P (%) |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 0,471 | 0,263 | 0,657 | 0,471 | 0,26 | 0,027 | 0,008 |

3.4. Thông số công nghệ thí nghiệm

Giá trị các thông số thực nghiệm được trình bày trong Bảng 5 và Bảng 6, được xác định dựa trên các công trình nghiên cứu tương tự [6,7,8,10], các thí nghiệm thăm dò.

Bảng 5. Thông số công nghệ cố định

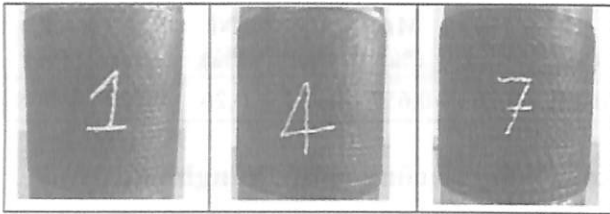
| Đường kính điện cực | D = 220mm |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Thời gian xung điện | $t_i = 0.04s$ |
| Thời gian dừng xung điện | $t_d = 0.08s$ |
| Bước tiến theo vòng xoắn vít: | $S_t = 2,5 \text{ mm/vòng}$ |
| Khoảng cách nước làm mát: | $L_n = 1 \text{ lít/phút}$ |
| Lưu lượng nước làm mát: | $Q_n = 1 \text{ lít/phút}$ |

Bảng 6. Thông số công nghệ biến đổi

| TT | Thông số công nghệ | Mức1 | Mức2 | Mức3 |
|----|----------------------|------|------|------|
| 1 | $I_h \text{ (A)}$ | 6,5 | 7,5 | 8,8 |
| 2 | F (kN) | 1,7 | 2,0 | 2,3 |
| 3 | $V_h \text{ (cm/s)}$ | 1,5 | 1,75 | 2,0 |
| 4 | Lớp hàn (n) | 2 | 2 | 2 |

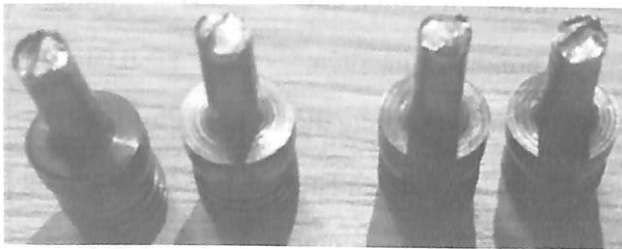
4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Nhằm đảm bảo cho độ chính xác của số liệu thực nghiệm tác giả tiến hành tách 3 chốt nón trên một mẫu hàn thực nghiệm, kết quả độ bền bám dính của mẫu thực nghiệm là giá trị trung bình của 3 lần tách chốt.



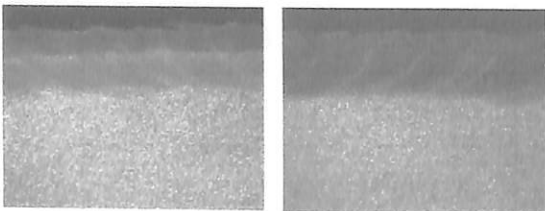
Hình 6. Bề mặt mẫu hàn thực nghiệm

Hình 6, thể hiện hình dạng bề mặt mỗi hàn mẫu thực nghiệm với chế độ hàn được chọn cho thấy bề mặt đắp vẩy hàn xếp đều, ổn định, có độ kết dính tốt, khu vực hàn phục hồi đảm bảo được độ che phủ yêu cầu.



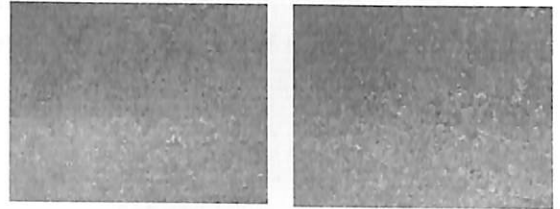
Hình 7. Bề mặt chốt đã tách khỏi lớp hàn

Các hình ảnh chụp bề mặt chốt nón sau khi được tách khỏi lớp hàn không phải là hiện tượng bong tách lớp mà là bị xé đứt nó cho thấy độ bám dính cao của phương pháp hàn nghiên cứu (Hình 7).



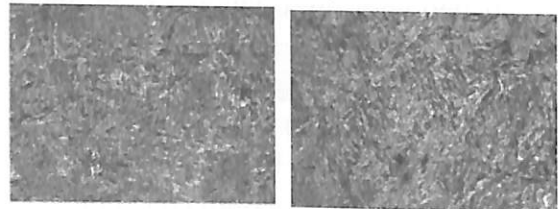
Mẫu M4 Mẫu M6
Hình 8. Tổ chức thô đại mối hàn 16x

Hình 8, quan sát được kết quả ảnh chụp tổ chức thô đại mối hàn cho thấy sự liên kết khá ổn định giữa kim loại hai lớp hàn, giữa kim loại hàn với kim loại nền, giữa các lớp hàn sau mỗi xung điện hàn.



Mẫu M4 Mẫu M7
Hình 9. Tổ chức tế vi vùng tiếp giáp lớp hàn nền 100x

Kim loại vùng hàn và kim loại nền được phân biệt khá rõ ràng (Hình 9). Tổng quan cho thấy, vùng mối hàn có màu tối hơn so với vùng kim loại cơ bản. Điều này được giải thích bởi lớp hàn có tỷ lệ cacbon cao hơn nền, nhiệt tác động nhiều, ứng suất dư tồn tại lớn nên bị ăn mòn cao hơn khi sử dụng hóa chất tẩm thực và có màu tối hơn.



Mẫu M5 Mẫu M6
Hình 10. Tổ chức tế vi vùng lớp hàn đắp 100x

Tổ chức vật liệu ban đầu gồm hai thành phần pha là ferit sáng và peclit tối, còn tổ chức sau khi hàn lại là tổ chức mactenxit hình kim (màu tối) và austenit dư (màu sáng) (Hình 10).

+ Kết quả kiểm tra độ bền bám dính:

Với chỉ tiêu chất lượng lớn hơn thì tốt hơn cho 9 thí nghiệm tương ứng được ghi trong Bảng 7.

Bảng 7. Kết quả đo độ bền bám dính mỗi hàn và tỷ lệ S/N của các thử nghiệm:

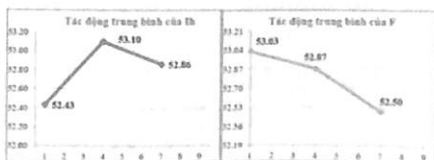
| Mẫu | I_h (kA) | F (kN) | V_h (cm/s) | σ_b (N/mm ²) | S/N |
|-----|------------|--------|--------------|---------------------------------|---------|
| 1 | 6,5 | 1,7 | 1,5 | 409 | 52,2345 |
| 2 | 6,5 | 2,0 | 1,75 | 431 | 52,6895 |
| 3 | 6,5 | 2,3 | 2 | 404 | 52,1267 |
| 4 | 7,5 | 1,7 | 1,75 | 413 | 52,3190 |
| 5 | 7,5 | 2,0 | 2 | 440 | 52,8691 |
| 6 | 7,5 | 2,3 | 1,5 | 439 | 52,8493 |
| 7 | 8,5 | 1,7 | 2 | 408 | 52,2132 |
| 8 | 8,5 | 2,0 | 1,5 | 419 | 52,4443 |
| 9 | 8,5 | 2,3 | 1,75 | 424 | 52,5473 |

Từ bảng kết quả trên tính được phân mức cho từng yếu tố I_h , F, V_h và trung bình của tất cả các nhóm (theo các công thức mục 2.2) kết quả như ở Bảng 8.

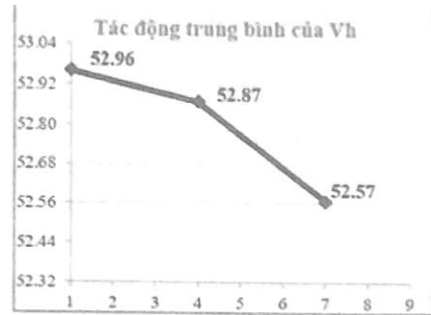
Bảng 8. Phân mức thông số công nghệ hàn theo phân tích phương sai ANOVA:

| Thông số | Mức 1 | Mức 2 | Mức 3 |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| Dòng hàn I_h (kA) | 52,43 | 53,10 | 52,86 |
| Lực ép điện cực (kN) | 53,03 | 52,87 | 52,50 |
| Tốc độ hàn V_h (cm/s) | 52,96 | 52,87 | 52,57 |
| Trung bình các nhóm | 52,48 | | |

Căn cứ vào bảng phân mức của các yếu tố tới độ bền bám dính của mỗi hàn vẽ được các biểu đồ phân mức các yếu tố như Hình 11 và biểu đồ phần trăm ảnh hưởng của I_h , V_h , N tới độ bền kéo mỗi hàn như Hình 12.



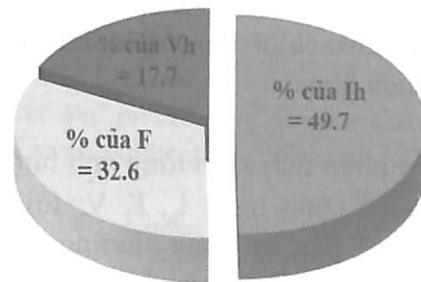
a) b)



c)

Hình 11. Biểu đồ phân mức các yếu tố cho độ bền bám dính mỗi hàn:

- a) Phân mức I_h ; b) Phân mức F;
- c) Phân mức V_h .



Hình 12. Biểu đồ phần trăm ảnh hưởng của I_h , V_h , N tới độ bền kéo mỗi hàn

Căn cứ kết quả Bảng 8, xác định phân bố ảnh hưởng của thông số công nghệ hàn tới độ bền bám dính mỗi hàn được tổng hợp trong Bảng 9.

Bảng 9. Phân tích ảnh hưởng các yếu tố số theo phân tích phương sai ANOVA

| Thông số | Bậc tự do | Tổng bình phương | Tỷ lệ % |
|------------------------|-----------|------------------|------------|
| Dòng hàn I_h (kA) | 2 | 1668,2 | 49,7 |
| Lực ép điện cực (kA) | 2 | 1093,6 | 32,6 |
| Tốc độ hàn V_h (m/h) | 2 | 594,9 | 17,7 |
| Tổng | | 3356.67 | 100 |

Dựa trên đồ thị phân mức các yếu tố cho thấy, với yêu cầu về đặc trưng chất lượng lớn hơn thì tốt hơn, mức tối ưu của các yếu tố để đạt độ bền bám dính cao nhất là (I_{h2}, F_1, V_{h1}), tức: $I_{h2} = 7,5$ (kA), $F = 1.7$ (kN), $V_{h2} = 1.5$ (cm/s). Giá trị độ bền bám dính dự đoán khi sự kết hợp các yếu tố ở mức I_{h2}, F_1, V_{h1} được tính theo công thức (8).

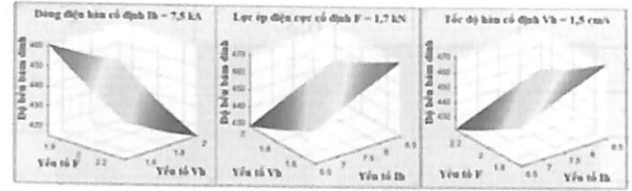
$$Y_{opt} = T + (I_{h2} - T) + (F_1 - T) + (V_{h1} - T) = 471,22 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Căn cứ vào biểu đồ phân bố ảnh hưởng Hình 12 cho thấy, I_h có ảnh hưởng nhiều nhất là 49,7%; tiếp đến là F 32,6%, thấp nhất là V_h 17,7%. Từ ảnh hưởng này chỉ ra nếu ưu tiên chỉ tiêu độ bền bám dính hơn các chỉ tiêu khác thì nên ưu tiên điều chỉnh dòng điện khi hàn và tốc độ hàn nhiều hơn.

Để phân tích xu hướng ảnh hưởng của các thông số công nghệ I_h, F, V_h tới độ bền bám dính mỗi hàn, áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu [4] để xây dựng hàm hồi quy biểu diễn quan hệ toán học giữa σ_b với I_h, F, V_h dưới dạng hàn lũy thừa. Kết quả như biểu thức (15).

$$\sigma_b = 375,316 I_h^{0,183495} F^{-0,196231} V_h^{-0,14984} \quad (15)$$

Từ kết quả độ bền bám dính cao nhất: I_{h2}, F_1, V_{h1} , kết hợp với phương trình hồi quy (15) xây dựng các đồ thị biểu thị ảnh hưởng của từng thông số công nghệ tới độ bền bám dính mỗi hàn như dưới đây:



a) b) c) Hình 13. Đồ thị phụ thuộc của độ bền bám dính vào từng thông số hàn ở mức tối ưu dạng lũy thừa 3D.

Căn cứ vào đồ thị biểu thị sự phụ thuộc của độ bền bám dính vào các thông số công nghệ hàn nhận thấy:

Cường độ dòng điện hàn ở mức tối ưu $I_h = 7,5$ kA thì độ bền bám dính lớp hàn đắp sẽ tăng lên khi giảm tốc độ hàn và giảm lực ép con lăn điện cực (Hình 13.a).

Lực ép con lăn điện cực ở mức tối ưu $F = 1,7$ kN thì độ bền bám dính lớp hàn đắp sẽ tăng lên nếu tăng cường độ dòng điện và giảm tốc độ hàn (Hình 13.b).

Tốc độ hàn ở mức tối ưu $V_h = 1,5$ cm/s thì độ bền bám dính lớp hàn đắp sẽ tăng lên nếu tăng cường độ dòng điện và giảm lực ép từ phía con lăn điện cực (Hình 13.c).

5. KẾT LUẬN

- Độ bền bám dính lớp kim loại hàn đắp đạt ở mức cao khoảng 81÷96% so với độ bền kéo của kim loại nền, trong khi độ cứng của lớp bề mặt hàn đắp vẫn đảm bảo điều kiện làm việc của chi tiết trực yêu cầu (độ cứng trung bình đạt 53 HRC).

- Áp dụng phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi, kết hợp với phân tích phương sai (ANOVA) đã đưa ra quan hệ giữa độ bền bám dính mối hàn vào ba thông số đầu vào I_h , F , V_h của công nghệ hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép C70. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu thực nghiệm một số kết luận sau được rút ra:

+ Mức các thông số công nghệ hợp lý nhằm đảm bảo chỉ tiêu về độ bền kéo mối hàn lớn nhất là:

$$I_{h2} = 7,5(\text{kA}), F_1 = 1,7(\text{kN}), V_{h1} = 1,5(\text{cm/s}).$$

+ Mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ bền bám dính mối hàn với các mức khác nhau, trong đó: Ảnh hưởng lớn nhất là cường độ dòng điện hàn 4,7%, tiếp đến là lực ép điện cực 32,6%, thấp nhất là tốc độ hàn 17,7%.

+ Khi cần chỉ tiêu độ bền bám dính, mối hàn hơn các chỉ tiêu khác thì nên ưu tiên điều chỉnh dòng điện hàn và lực ép điện cực.

+ Độ bền bám dính mối hàn cao nhất khi sử dụng năng lượng nhiệt hợp lý (I_{h2}, V_{h1}) kết hợp với một lực ép tối thiểu, đảm bảo cho quá trình tiếp xúc vật lý.

+ Khi tăng năng lượng nhiệt, tức tăng cường độ dòng hàn và giảm tốc độ hàn (I_{h3}, V_{h1}) kết hợp với tăng lực ép điện cực sẽ gây dư thừa năng lượng kim loại hàn bị biến dạng nhiệt quá mức, gây bắn tóe, chảy tràn kim loại làm xấu quá trình hàn và làm giảm độ bền bám dính. ❖

Ngày nhận bài: 12/10/2018

Ngày phản biện: 18/10/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Trọng Hùng, Phùng Xuân Sơn (2016); *Giáo trình thiết kế thực nghiệm trong chế tạo máy*, NXB. Xây Dựng.
- [2]. TCVN 1766-75; *Thép các bon kết cấu chất lượng tốt*, Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [3]. TCVN 1767 – 75; *Thép đàn hồi - Mác thép và yêu cầu kỹ thuật*, Tiêu chuẩn Quốc gia Việt Nam.
- [4]. IWE (2015), *International Welding Engineer*, Copyright by GSI SLV Duisburg.
- [5]. ARO (2003), *User's Manua Mos Machines Sing-Phase seam whel*, ARO 1, avenue de Tours – 72500 Chateau-Du-Loir – France.
- [6]. M.Z. Nafikov (2009), *A method for the determination of the plastic deformation resistance of filler wires in electric resistance surfacing*, Welding International, Vol. 23, No. 11, 861–864.
- [7]. M.Z. Nafikov (2015), *Formalized description of the process of formation of the welded joint in resistance welding of wires*, Welding International, Vol. 29, No. 6, 466–470, DOI: 10.1080/09507116.2014.941670.
- [8]. M.Z. Nafikov (2016), *Reconditioning of shafts by electric resistance welding of two steel wires*, Welding International, Vol. 30, No. 3, 236–243, ISSN: 0950-7116.
- [9]. Ranit K.Roy, (2001), *Design of Experiments using the Taguchi Approach - 16 step to Product and process Improvement*, Awiley - interscience publication , John willey & sons, inc.
- [10]. Taguchi.G, Chowdhury.S, Wu.Y (2005), *Taguchi's Quality Engineering Hanbook*, John Wiley & Sons, Inc.
- [11]. V.A. Du brovskii, V.V. Bulychev and A.I. Ponomarev (2003), *Preventing splashing in electrical resistance surfacing with a wire of 40Cr13 steel*, Welding International, vol. 17, No 11, 895-898.
- [12]. Y.u. V Klimenko (1981), *Electrical resistance surfacing of metals with melting of the boundary layer*. Svar Proiz. 1981; (8): 20–21. ☞