

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ CỨNG VÀ TỔ CHỨC TẾ VI TRỤC HÀN ĐẮP PHỤC HỒI BẰNG CÔNG NGHỆ HÀN ĐIỆN TIẾP XÚC

RESEARCH ON THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE HARDNESS AND MICRO-ORGANIZATION OF THE WELDED SHAFT RECOVERY BY CONTACT WELDING TECHNOLOGY

Nguyễn Minh Tân\*, Nguyễn Văn Nhất, Trương Văn Hoàng  
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

## TÓM TẮT

*Chi tiết trục sau thời gian dài làm việc thường bị mòn, rỗ bề mặt,.... Khi đó, phục hồi với chi phí thấp và bảo vệ tài nguyên môi trường là vấn đề cần được quan tâm. Với công nghệ hàn đắp phục hồi chi tiết trục bị mài mòn bằng công nghệ hàn điện tiếp xúc không những mang lại hình dạng và kích thước như ban đầu mà còn có thể tạo ra lớp đắp bề mặt với độ cứng cao và khả năng chống mài mòn tốt. Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ như: cường độ dòng điện hàn  $I_p$ , lực ép điện cực  $F$  và bước tiến hàn  $S$  đến độ cứng và tổ chức tế vi lớp hàn đắp phục hồi chi tiết trục bị hao mòn kích thước bằng công nghệ hàn lăn tiếp xúc. Công nghệ hàn này có khả năng tạo ra liên kết tốt ngay cả khi hàn những vật liệu khác nhau hoặc vật liệu có tính hàn khó. Do đó có thể tạo ra bề mặt hàn đắp phục hồi từ vật liệu có độ cứng cao, tính chịu mài mòn tốt như dây thép lò xo, mà bản thân chi tiết trục vẫn giữ được độ bền, đảm bảo sự ổn định cho chi tiết máy sau phục hồi.*

**Từ khóa:** Hàn điện tiếp xúc; Hàn đắp; Trục thép; Dây thép C70; Độ cứng; Bề mặt.

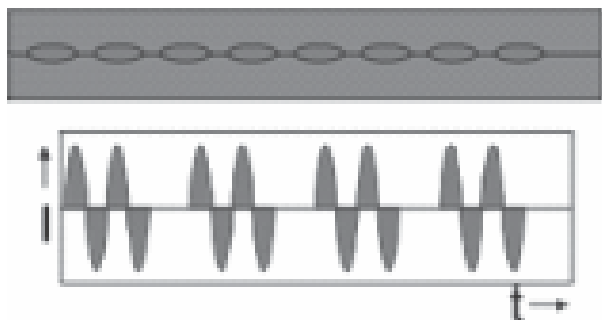
## ABSTRACT

*After a long time of operation, the shaft part is often worn, the surface is pitted, etc. At that time, restoring them at a low cost while protecting environmental resources is a matter of concern. With the technology of welding to restore worn shaft parts using resistance welding technology, not only can the original shape and dimensions be regained, but it is also possible to create a surface layer with high hardness and excellent wear resistance. This article studies the influence of technological parameters such as: welding current  $I_p$ , electrode pressure  $F$  and welding step  $S$  on the hardness and microstructure of the welding layer to restore the worn shaft part by resistance rolling welding technology. This welding technology can produce strong bonds even when joining dissimilar materials or materials with poor weldability. Therefore, it is possible to create a restoration welding surface from a material with high hardness and good abrasion resistance such as spring steel wire, while the shaft part itself still retains its durability, ensuring stability for the machine part after restoration.*

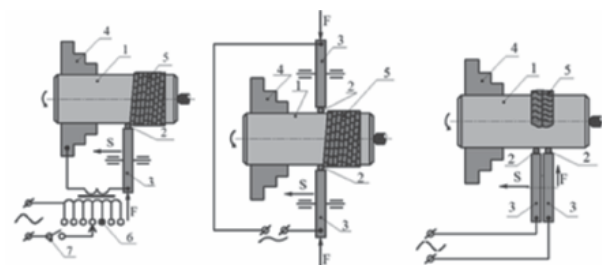
**Keywords:** Resistance Welding; Hardfacing; Steel shaft; C70 steel wire; Hardness; Surface. 

## 1. TỔNG QUAN VỀ HÀN ĐÁP PHỤC HỒI CHI TIẾT DẠNG TRỤC BẰNG PHƯƠNG PHÁP HÀN ĐIỆN TIẾP XÚC

Công nghệ hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục được dựa trên nguyên lý của phương pháp hàn điện tiếp xúc đường gián đoạn (Hình 1), kết hợp với một hệ thống đồ gá quay như sơ đồ ở (Hình 2). Hàn đường gián đoạn là các chi tiết hàn vẫn được dịch chuyển liên tục nhưng dòng điện hàn chạy qua theo chu kỳ ngắn ( $1/10 \div 1/1000$  giây). Phương pháp này hiện được dùng nhiều hơn so với hàn đường liên tục và hàn bước.



Hình 1. Nguyên lý của hàn đường gián đoạn [1, 2]



Hình 2. Sơ đồ hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép [3]:

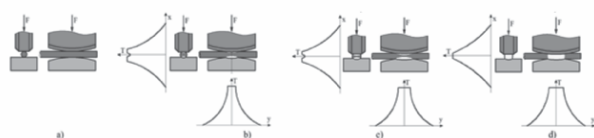
1 - Chi tiết máy; 2 - Dây hàn; 3 - Điện cực hàn kiểu con lăn; 4 - Mâm cặp; 5 - Lớp phủ kim loại.

Sự hình thành lớp đắp kim loại khi hàn lăn tiếp xúc được thực hiện bằng cách tiếp xúc nhiều lần của chu kỳ cơ nhiệt, dẫn đến hình thành những vùng liên kết riêng biệt. Chu kỳ cơ nhiệt bao gồm việc ép sát dây hàn vào chi tiết,

nung nóng dây hàn và lớp bề mặt gắn kết của chi tiết bằng một xung điện ngắn có cường độ cao ( $6 \div 8$  kA). Những vùng liên kết riêng lẻ của lớp kim loại đắp lần lượt che phủ theo chiều dài của đường hàn, khi hàn theo đường xoắn ốc thì các đường hàn liên kề cũng gối chờm lên nhau đảm bảo sự che phủ liên tục lên bề mặt phục hồi.

Dây hàn được ép chặt vào trục bởi con lăn điện cực. Trước khi tác dụng xung điện thì dây hàn chưa có sự tác động của nhiệt độ, được ép bởi con lăn điện cực bằng lực mà không bị biến dạng. Chỉ có phần nhấp nhô tế vi chỗ tiếp xúc giữa dây hàn với bề mặt trục bị biến dạng. Tại những phần này diễn ra sự liên kết nguyên tử của kim loại hàn và xuất hiện tác động vật lý do lực liên kết nguyên tử Van-der Waals gây ra. Và kết quả của sự chuyển vị trên bề mặt của kim loại biến dạng dẻo dẫn đến hoạt hóa bề mặt tiếp xúc.

Độ rộng của khu vực hình thành liên kết giữa dây hàn với bề mặt trục trước khi tác động xung điện, sẽ phụ thuộc vào độ cứng của dây kim loại, lực tác dụng của con lăn điện, đường kính trục hàn và dây hàn phụ, cũng như tình trạng bề mặt hàn. Khi có tác dụng của xung điện, sẽ bắt đầu giải phóng năng lượng trong khu vực hàn. Vùng hoạt động của “con lăn điện - chi tiết trục” có thể chia làm 4 nguồn nhiệt nổi tiếp: 1) Chuyển tiếp “con lăn điện - dây hàn”; 2) Dây hàn trong vùng hàn; 3) Chuyển tiếp “dây hàn - chi tiết trục”; 4) Kim loại tiếp xúc của trục cơ bản. Trước khi dây hàn nóng chảy thì nguồn nhiệt thứ 3 được xem là nguồn nhiệt mạnh nhất. Phần điện trở tiếp xúc chủ yếu của vùng “dây hàn - chi tiết trục” [4, 5]. Hình 3 cho thấy trình tự nung nóng dây hàn và kim loại trục cơ bản cũng như sự thay đổi phù hợp của nhiệt độ tại khu vực hàn sau thời gian tác động xung điện [6].



Hình 3. Quá trình biến dạng dẻo của dây hàn phụ và trường nhiệt độ khu vực hàn:

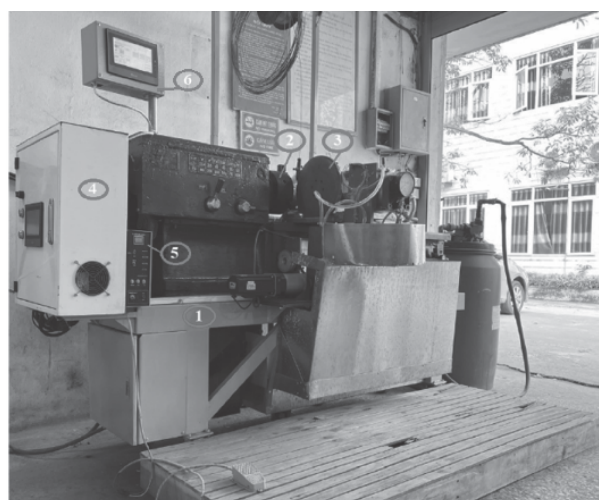
a, b, c, d - Các giai đoạn của quá trình nung nóng và biến dạng dẻo của dây hàn phụ

## 2. THIẾT BỊ, VẬT LIỆU THỰC NGHIỆM

### 2.1. Thiết bị thực nghiệm

Hiện nay, trên thế giới chưa có loại thiết bị nào dành riêng cho hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục với vật liệu phụ dây thép, bột hay băng kim loại chuyên dụng. Vì vậy, để thực hiện được công nghệ hàn phục hồi chi tiết trục với vật liệu phụ dây thép cần phải cải tiến, chuyển đổi chức năng từ thiết bị hàn điện tiếp xúc đường kết hợp với đồ gá công nghệ (Hình 4). Đồng thời, thiết bị thực nghiệm phải đảm bảo công suất đủ lớn và điều chỉnh được chính xác các thông số công nghệ cần khảo sát trong quá trình thực nghiệm.

Đồ gá hàn được chế tạo gồm các bộ phận chính: 1) Khung đồ gá; 2) Cơ cấu kẹp và quay mẫu trục hàn; 3) Con lăn điện cực; 4) Tủ cài đặt và điều khiển chuyển động; 5) Tủ cài đặt và điều khiển thông số chế độ hàn; 6) Màn hình cài đặt và hiển thị.



Hình 4. Thiết bị hàn đắp phục hồi

### 2.2. Vật liệu thực nghiệm

Vật liệu chế tạo trục và cổ trục thường là các loại thép kết cấu C40, C45 hoặc thép hợp kim 40Cr được tôi cải thiện và tôi bằng dòng điện tần số cao tại các bề mặt cổ trục và các bề mặt làm việc chịu mài mòn [7]. Vật liệu C45 khá phổ biến trong việc chế tạo chi tiết máy nên được lựa chọn là vật liệu trục hàn đắp phục hồi.

Với mục tiêu nghiên cứu là tạo ra lớp hàn đắp bề mặt các cổ trục có độ bền mòn tốt, với độ bền liên kết cao giữa lớp đắp với lớp nền trục cơ bản bằng hàn lăn tiếp xúc, mà vẫn giữ được độ dẻo dai của bản thân chi tiết trục. Từ mục tiêu hướng tới cũng như dựa trên các tài liệu tham khảo, nghiên cứu này lựa chọn vật liệu có độ bền mòn tốt như dây thép đàn hồi C70 làm vật liệu dây hàn phụ.

## 3. QUÁ TRÌNH HÀN MẪU THỰC NGHIỆM

Nghiên cứu này lựa chọn quy trình hàn phục hồi chi tiết trục thép C45 với vật liệu phụ là dây thép C70 với các chế độ hàn chọn như trong Bảng 1.



*Bảng 1. Bảng thông số chế độ hàn thực nghiệm*

| Thông số công nghệ          | Ký hiệu | Đơn vị   | Mức 1 | Mức 2 | Mức 3 |
|-----------------------------|---------|----------|-------|-------|-------|
| Đường kính trục hàn         | $D_t$   | mm       | 99    | 99    | 99    |
| Đường kính dây hàn          | $d_d$   | mm       | 1,8   | 1,8   | 1,8   |
| Dòng điện hàn               | $I_h$   | kA       | 6,0   | 7,0   | 8,0   |
| Đường kính điện cực         | D       | mm       | 300   | 300   | 300   |
| Lực ép điện cực             | F       | kN       | 1,7   | 2,0   | 2,3   |
| Thời gian xung điện         | $t_i$   | s (giây) | 0,04  | 0,04  | 0,04  |
| Thời gian dừng xung điện    | $t_n$   | s (giây) | 0,08  | 0,08  | 0,08  |
| Vận tốc hàn                 | $V_h$   | cm/s     | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Bước tiến theo vòng xoắn ốc | $S_t$   | mm/vòng  | 2,0   | 2,5   | 3,0   |
| Lưu lượng nước làm mát      | $Q_n$   | Lít/phút | 1,5   | 1,5   | 1,5   |

Các thông số biến động bao gồm Cường độ dòng điện hàn  $I_h$ , lực ép điện cực F, bước tiến hàn  $S_t$  được bố trí gồm 9 thí nghiệm theo ma trận trực giao Taguchi như trong Bảng 2.

*Bảng 2. Thông số hàn các mẫu thực nghiệm bố trí theo ma trận thực nghiệm Taguchi*

| Số thí nghiệm | Mẫu số | $I_h$ (kA) | F (kN) | $S_t$ (mm/vòng) |
|---------------|--------|------------|--------|-----------------|
| 1             | M1     | 6,0        | 1,7    | 2,0             |
| 2             | M2     | 6,0        | 2,0    | 2,5             |
| 3             | M3     | 6,0        | 2,3    | 3,0             |
| 4             | M4     | 7,0        | 1,7    | 2,5             |
| 5             | M5     | 7,0        | 2,0    | 3,0             |
| 6             | M6     | 7,0        | 2,3    | 2,0             |
| 7             | M7     | 8,0        | 1,7    | 3,0             |
| 8             | M8     | 8,0        | 2,0    | 2,0             |
| 9             | M9     | 8,0        | 2,3    | 2,5             |

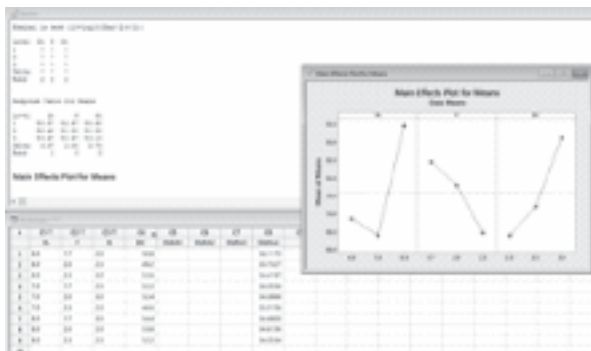
#### 4. KẾT QUẢ KIỂM THỰC NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

Độ cứng của lớp hàn đắp được đánh giá thông qua độ cứng macro dựa trên độ cứng trung bình của 5 điểm đo với kết quả được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Độ cứng macro bề mặt lớp hàn đắp

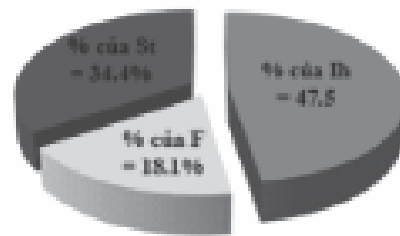
| STT | Tên Mẫu | I <sub>h</sub> (kA) | F (kN) | St (mm/vòng) | Vị trí đo |    |    |    |    | Trung bình |
|-----|---------|---------------------|--------|--------------|-----------|----|----|----|----|------------|
|     |         |                     |        |              | 1         | 2  | 3  | 4  | 5  |            |
| 1   | Mẫu 01  | 6,0                 | 1,7    | 2,0          | 49        | 51 | 52 | 52 | 50 | 50,8       |
| 2   | Mẫu 02  | 6,0                 | 2,0    | 2,5          | 48        | 47 | 52 | 50 | 49 | 49,2       |
| 3   | Mẫu 03  | 6,0                 | 2,3    | 3,0          | 53        | 54 | 50 | 52 | 54 | 52,6       |
| 4   | Mẫu 04  | 7,0                 | 1,7    | 2,5          | 54        | 51 | 50 | 54 | 50 | 51,8       |
| 5   | Mẫu 05  | 7,0                 | 2,0    | 3,0          | 53        | 52 | 49 | 54 | 54 | 52,4       |
| 6   | Mẫu 06  | 7,0                 | 2,3    | 2,0          | 45        | 46 | 45 | 51 | 46 | 46,6       |
| 7   | Mẫu 07  | 8,0                 | 1,7    | 3,0          | 55        | 52 | 55 | 56 | 54 | 54,4       |
| 8   | Mẫu 08  | 8,0                 | 2,0    | 2,0          | 55        | 53 | 55 | 54 | 52 | 53,8       |
| 9   | Mẫu 09  | 8,0                 | 2,3    | 2,5          | 52        | 54 | 52 | 49 | 54 | 52,2       |

Đánh giá sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ: cường độ dòng điện I<sub>h</sub>, lực ép điện cực F, bước tiến hàn S<sub>t</sub>, bài báo sử dụng quy hoạch thực nghiệm Taguchi trên phần mềm Minitab để xác định các mức ảnh hưởng của thông số công nghệ I<sub>h</sub>, F, S<sub>t</sub> đến chỉ tiêu cơ tính đầu ra là độ cứng lớp hàn đắp. Với chỉ tiêu độ cứng cao hơn thì tốt hơn, ta xác định được các mức của bộ thông số công nghệ I<sub>h</sub>, F, S<sub>t</sub> với các mức là 3-1-3 như Hình 5.



Hình 5. Biểu đồ phân mức của I<sub>h</sub>, F, S<sub>t</sub> đến độ cứng lớp hàn đắp phục hồi

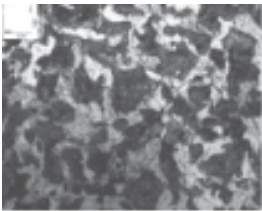
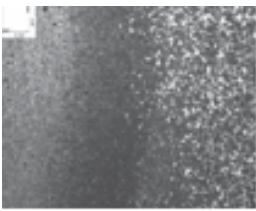
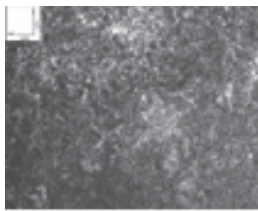
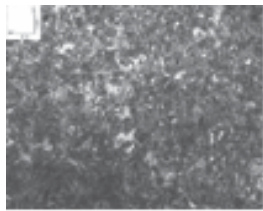
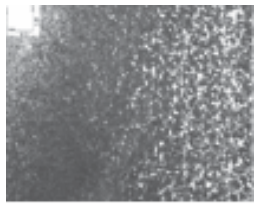
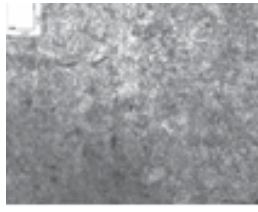
Dựa trên phân tích phương sai ANOVA xác định được phần trăm ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ cứng lớp hàn đắp phục hồi tương ứng là: I<sub>h</sub> = 47,5%; F = 18,1%; S<sub>t</sub> = 34,4% được thể hiện trên đồ thị Hình 6. Trong đó ảnh hưởng lớn nhất là cường độ dòng điện hàn I<sub>h</sub>, tiếp đến là bước tiến hàn S<sub>t</sub>, nhỏ nhất là lực ép điện cực F.



Hình 6. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của I<sub>h</sub>, F, S<sub>t</sub> đến độ cứng lớp hàn đắp phục hồi

Thông qua kết quả độ cứng lớp hàn đắp phục hồi cho thấy các mẫu hàn với dòng ở mức cao tương ứng cho độ cứng tương đối cao. 

Bước tiến hàn lớn hơn tương ứng cho độ cứng cũng lớn hơn. Để làm rõ kết quả này thì tổ chức tế vi vùng kim loại cơ bản, vùng tiếp giáp kim loại cơ bản với kim loại lớp hàn, tế vi lớp hàn của các mẫu M7, M8, M9 (các mẫu có cường độ dòng điện hàn lớn và bước tiến hàn thay đổi) được thể hiện ở Hình 7.

| Mẫu | Tổ chức tế vi vùng kim loại cơ bản                                                  | Tổ chức tế vi vùng tiếp giáp kim loại cơ bản với lớp hàn đắp                        | Tổ chức tế vi vùng hàn lớp thứ nhất                                                  | Tổ chức tế vi vùng hàn lớp thứ nhất                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| M7  |    |    |    |    |
| M8  |   |   |   |   |
| M9  |  |  |  |  |

Hình 7. Ảnh tổ chức tế vi các mẫu M7, M8, M9

Thông qua tổ chức tế vi các vùng kim loại cơ bản, vùng tiếp giáp kim loại cơ bản với kim loại lớp hàn, tế vi lớp hàn cho thấy: 1) Vùng tiếp giáp giữa kim loại cơ bản (nền trục thép C45) với lớp hàn đắp (dây thép C70) có sự liên kết tốt ở tất cả các mẫu hàn M7, M8, M9; 2) Vùng kim loại cơ bản hầu như không có sự khác biệt về tổ chức, chủ yếu gồm hai pha kim loại cơ bản đó là ferit (màu sáng), peclit (màu tối) và tạp chất; 3) Vùng kim loại hàn cả hai lớp hàn xuất hiện tổ chức mactenxit hình kim (màu tối) và austenite (màu sáng). Nguyên nhân do tác động nhiệt trong quá trình hàn đã làm các pha ferit và peclit chuyển biến thành

các pha austenite. Ngay sau đó, mỗi hàn được làm nguội nhanh bởi dòng nước làm mát nên xảy ra hiện tượng tôi thép. Khi đó, tốc độ nguội vượt tốc độ tôi tới hạn làm cho phần lớn các pha austenite không kịp chuyển biến thành hỗn hợp ferit-xementit, mà chỉ có chuyển biến thù hình (chuyển kiểu mạng tinh thể) từ tổ chức austenite (tâm mặt) chuyển thành mactenxit (chính phương tâm khối). Quá trình chuyển biến và làm nguội không liên tục và hoàn toàn, nên trong tổ chức mỗi hàn còn tồn tại tổ chức austenite dư (màu sáng); 4) Tổ chức lớp hàn thứ nhất có mật độ hình kim ít hơn và hạt nhỏ mịn hơn. Lớp hàn thứ 2 có mật độ hình kim

nhiều hơn, có hạt thô hơn so với lớp hàn thứ nhất. Các mẫu hàn có bước tiến khác nhau cho thấy tổ chức tế vi cũng có sự khác biệt. Mẫu M7 có bước tiến lớn nhất cho thấy tổ chức tế vi có mật độ mactenxit nhiều nhất, hạt thô nhất. M9 có bước tiến thấp nhất cho thấy tổ chức tế vi có mật độ mactenxit ít hơn, hạt nhỏ mịn hơn. Điều này có thể giải thích bởi lớp hàn thứ nhất được ram bởi quá trình hàn lớp thứ hai. Các mẫu có bước tiến nhỏ có sự chồng lấp của các đường hàn kế tiếp nhiều hơn nên cũng xảy ra quá trình ram lại. Do đó, lớp hàn thứ nhất và mẫu hàn có bước tiến hàn nhỏ sẽ có mật độ mactenxit ít hơn và hạt nhỏ mịn hơn.

## 5. KẾT LUẬN

- Các mức ảnh hưởng của bộ thông số công nghệ  $I_h$ ,  $F$ ,  $S_t$  đến chỉ tiêu đầu ra là độ cứng lớp hàn đắp tương ứng là 3-1-3.

- Các mẫu hàn có dòng hàn ở mức cao tương ứng cho độ cứng lớp hàn cao hơn.

- Phần trăm ảnh hưởng của các thông số công nghệ  $I_h$ ,  $F$ ,  $S_t$  đến chỉ tiêu đầu ra là độ cứng lớp hàn đắp phục hồi, cao nhất là: cường độ dòng điện hàn  $I_h = 47,5\%$ ; tiếp đến là bước tiến hàn  $S_t = 34,4\%$ , và thấp nhất là lực ép điện cực  $F = 18,1\%$ .

- Tổ chức tế vi mẫu hàn có mật độ mactenxit cao hơn, tổ chức hạt thô hơn với các mẫu hàn có dòng hàn cao, bước tiến lớn; Mẫu hàn có mật độ mactenxit thấp hơn, tổ chức hạt mịn hơn với các mẫu hàn có dòng hàn nhỏ, bước tiến thấp; Lớp hàn thứ nhất có mật độ

mactenxit thấp hơn, tổ chức hạt mịn hơn so với lớp hàn thứ hai. Nguyên nhân là do có sự ram lại của lớp hàn tiếp theo và đường hàn xoắn ốc liền kề.

## Lời cảm ơn:

Bài báo này đã nhận được sự hỗ trợ về tài chính của đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ mã số B2023-SKH-02. ♦

Ngày nhận bài: **18/3/2025**

Ngày phản biện: **08/4/2025**

## Tài liệu tham khảo:

- [1]. Amada (2013), “*Fundamentals of Small Parts Resistance Welding*”. Amada Miyachi America, Inc.
- [2]. IWE (2015), “*International Welding Engineer*”. Copyright by GSI SLV Duisburg.
- [3]. Nafikov M. Z. (2010), “*Process validation and development of technical means to restore tractor parts with electric contact surfacing*”. Abstract of Doct. diss. Saransk, 36 page.
- [4]. King W. Y. (1967), “*Diffusion welding of commercially pure titanium*”/ King W. Y., Owzarsky W. A..The Welding Journal, Vol. 46, No. 7, pp. 289-298.
- [5]. King W. Y. (1969), “*Diffusion welding of the nickel-base superalloys*”/ King W. Y., Owzarsky W. A.. The Welding Journal, Vol. 47, No. 10, pp. 444-450.
- [6]. Klimenko Y. V. (1978), “*Electric resistance surfacing*”. Moscow: Metallurgiya Publ, 128 pages.
- [7]. Nguyễn Trọng Hiệp (2006), “*Chi tiết máy*”, tập 2. NXB. Giáo dục.