

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN CHIỀU SÂU NGẤU MỐI HÀN KHI HÀN ĐIỆN TIẾP XÚC ĐIỂM

## STUDY THE IMPACT OF TECHNOLOGY PARAMETERS TO THE WELD PENETRATION DEPTH WHEN RESISTANCE SPOT WELDING

Nguyễn Thành Huân, Đỗ Anh Tuấn, Nguyễn Văn Trúc

*Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp*

Đến Tòa soạn ngày 19/04/2021, chấp nhận đăng ngày 17/05/2021

**Tóm tắt:** Công nghệ hàn điện tiếp xúc điểm có nhiều ưu điểm như hàn được kim loại có tính chất khác nhau, không cần dùng kim loại bù, dễ cơ khí hóa - tự động hóa. Do đó, hàn điện tiếp xúc điểm được sử dụng rộng rãi trong sản xuất xe máy, ô tô, hàng không... Một trong những thông số đặc trưng cho chất lượng mối hàn điện tiếp xúc điểm là chiều sâu ngấu mối hàn. Bài báo phân tích kết quả khảo sát bằng thực nghiệm về ảnh hưởng của các thông số công nghệ hàn điện tiếp xúc điểm như: dòng điện hàn, lực ép điện cực và thời gian hàn đến chiều sâu ngấu mối hàn. Bài báo cũng đã sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để xây dựng mô hình toán học chiều sâu ngấu mối hàn phụ thuộc vào các thông số công nghệ. Từ mô hình toán học thu được, tùy thuộc vào yêu cầu chiều sâu ngấu của mối hàn, các nhà công nghệ có thể lựa chọn được các thông số một cách nhanh chóng và chính xác.

**Từ khóa:** Hàn điện tiếp xúc điểm, chiều sâu ngấu mối hàn, thông số công nghệ hàn.

**Abstract:** Resistance spot welding technology has many advantages such as weld metal with different properties, without using supplemental metal, easy mechanization - Automation. Therefore, Resistance spot welding is widely used in the production of motorcycles, automobiles, and aviations. One of the parameters that characterize for the weld quality of resistance spot welding is the weld penetration depth. The paper analyzes the results of the experimental survey on the influence of the welding technology parameters of the resistance spot welding such as welding current, electrode pressing force and welding time to weld penetration depth. The paper also used experimental planning method to build a mathematical model of weld penetration depth depending on technological parameters. From the obtained mathematical model, depending on the required weld penetration depth, technologists can select quickly and accurately parameters.

**Keywords:** Resistance spot welding, weld penetration depth, welding technology parameters.

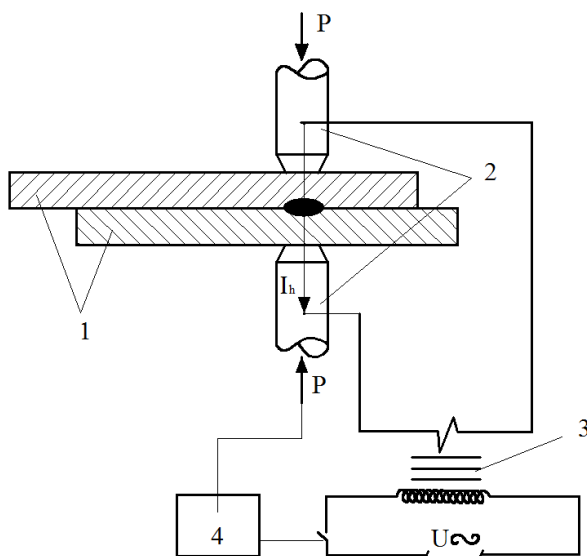
### 1. GIỚI THIỆU

Hàn điện tiếp xúc điểm ngày càng trở nên quan trọng trong công nghệ gia công cơ khí nói chung, trong sản xuất các phương tiện giao thông như ô tô, xe máy, máy bay, tàu vũ trụ... nói riêng; do phương pháp hàn điện tiếp

xúc điểm có tính chất ưu việt mà các phương pháp hàn khác không có được như: không phát sinh hồ quang hàn; không cần kim loại bù; có thể hàn được nhiều các vật liệu khác nhau; nhưng sử dụng nhiều nhất để hàn thép cacbon, vì chúng có điện trở cao hơn và độ dẫn điện thấp hơn so với điện cực làm bằng

đồng. Phương pháp hàn này dễ dàng được tự động hóa bởi các robot công nghiệp.

Nguyên lý cơ bản của hàn điện tiếp xúc điểm là khi cho dòng điện đi qua hai hoặc nhiều chi tiết. Tại vị trí tiếp xúc điện giữa các chi tiết, do các điểm nhô nhô bề mặt tiếp xúc với nhau, nên mật độ dòng điện tại vị trí tiếp xúc rất lớn; sinh ra nhiệt lượng nung nóng vật liệu lên đến trạng thái nóng chảy hoặc dẻo, sau đó dùng lực ép để ép các bề mặt tiếp xúc lại với nhau, sau khi chi tiết nguội tạo thành mối hàn.



Hình 1. Nguyên lý hàn điện tiếp xúc điểm [1]

Trong trường hợp này, nhiệt lượng được sinh ra tại vị trí tiếp xúc giữa các chi tiết được tính toán theo định luật Jun-Lenxo.

$$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \quad (1)$$

Trong đó:

Q: nhiệt lượng;

I: cường độ dòng điện hàn (A);

t: thời gian duy trì dòng hàn gọi là thời gian hàn (s).

Các thông số công nghệ chính ảnh hưởng đến quá trình hàn là cường độ dòng điện hàn, lực ép điện cực, thời gian hàn, đặc tính của vật

liệu hàn, tình trạng bề mặt phôi hàn... [3]. Chất lượng mối hàn được đánh giá tốt nhất là chiều sâu ngấu của mối hàn và độ bền mối hàn. Mỗi thông số công nghệ của hàn điện tiếp xúc điểm đều có ảnh hưởng đến chất lượng mối hàn. Sự kết hợp thích hợp của các thông số hàn điểm sẽ tạo ra mối hàn đạt chất lượng cao.

Một trong những yếu tố để đánh giá chất lượng mối hàn điện tiếp xúc điểm là chiều sâu ngấu mối hàn. Chiều sâu ngấu mối hàn lớn tức là mối hàn đạt chất lượng cao và ngược lại. Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ như cường độ dòng điện hàn, lực ép điện cực, thời gian hàn đến chiều sâu ngấu mối hàn và xây dựng mô hình toán học chiều sâu ngấu mối hàn. Từ đó các nhà công nghệ có thể lựa chọn được các thông số hàn phù hợp với yêu cầu của bài toán kỹ thuật đặt ra.

## 2. HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM

### 2.1. Trang thiết bị, vật liệu thí nghiệm

▪ Thiết bị: Máy hàn điện tiếp xúc điểm TELWIN-PCP18 và các phụ kiện kèm theo do Italya sản xuất (hình 2). Kính hiển vi Axio Observer D1M, do Đức sản xuất.

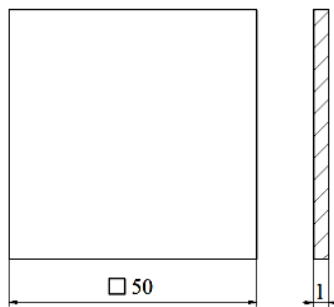


Hình 2. Hình dáng bên ngoài của máy hàn TELWIN-PCP18

- Phôi hàn: Vật liệu là thép CT38, có thành phần hóa học (bảng 1) và hình dạng kích thước (hình 3).

**Bảng 1. Thành phần hoá học của thép CT38 (%)**  
[theo TCVN 1651-85 (1765-85)]

C	Si	Mn	P (max)	S (max)
0.14 ~ 0.22	0.12 ~ 0.30	0.40 ~ 0.65	0.04	0.045



**Hình 3. Hình dạng, kích thước phôi hàn**

Yêu cầu với phôi hàn: Cắt đúng kích thước; nắn thẳng, phẳng và làm sạch.

## 2.2. Xác định thông số công nghệ cần nghiên cứu

Các thông số khi hàn điện tiếp xúc điểm trên máy hàn TELWIN-PCP18 tới chiều sâu ngấu mỗi hàn là cường độ dòng điện hàn I (A), lực ép điện cực F (N) và thời gian hàn t (ms). Trên cơ sở tính toán chế độ hàn điện tiếp điểm lý thuyết đã chọn và kết hợp với khả năng công nghệ của máy và điều kiện thực tế; các thông số thực nghiệm được chọn với 3 mức sau (bảng 2) cho các thông số đầu vào.

**Bảng 2. Thông số công nghệ và các cấp mức độ**

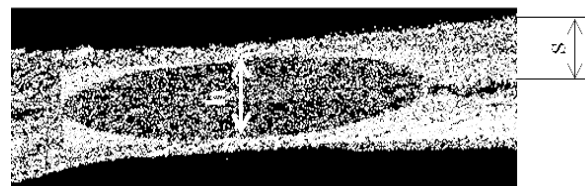
Thông số	Các mức			Khoảng biến thiên
	Mức dưới (-1)	Mức cơ sở (0)	Mức trên (+1)	
I (A)	5500	7500	9500	200
F (N)	1246	1558	1870	312
t (ms)	200	400	600	200

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Kích thước chiều sâu ngấu mỗi hàn

Chiều sâu ngấu mỗi hàn là kích thước phần kim loại giữa hai tấm khuếch tán, gắn kết với nhau; phần kim loại này chịu tác dụng của nhiệt độ từ 500°C trở lên. Nếu cắt đôi mỗi hàn và chụp phóng đại nhiều lần, ta sẽ quan sát được chiều sâu ngấu mỗi hàn có độ hạt và màu sắc khác với khu vực kim loại cơ bản.

Để kiểm tra kích thước chiều sâu ngấu mỗi hàn điện tiếp xúc điểm; nhóm tác giả đã thực hiện như sau: các chi tiết sau khi hàn, được cưa đôi mỗi hàn, sau đó đem dũa, đánh bóng, tẩy thực bằng dung dịch 3% HNO<sub>3</sub> và chụp phóng đại 10 lần, và đo chiều sâu ngấu mỗi hàn h (hình 4).



**Hình 4. Chiều sâu ngấu mỗi hàn**

### 3.2. Đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đến kích thước chiều sâu ngấu mỗi hàn

Sử dụng phương pháp thực nghiệm Taguchi để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đến chiều sâu ngấu mỗi hàn.

Từ bảng 2, với 3 thông số đầu vào thay đổi với 3 mức thí nghiệm, chọn bảng trực giao Taguchi L9 [4], các kết quả thí nghiệm thu được được liệt kê trong bảng 3.

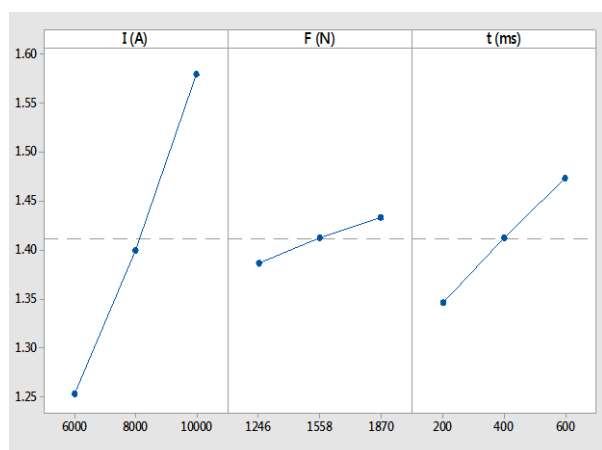
Để xét ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào có điều khiển là cường độ dòng điện hàn, lực ép điện cực, thời gian hàn; sử dụng tín hiệu S/N (signal to noise ratio) với trường hợp yêu cầu lớn nhất về chiều sâu ngấu mỗi hàn:

$$S/N = -10 \log \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} \frac{1}{y_i^2} \quad (2)$$

**Bảng 3. Bảng trực giao Taguchi L9 với các thông số thí nghiệm và hệ số S/N**

TN	I (A)	F (N)	T (ms)	$h_{TB}$ (mm)	S/N
1	6000	1246	200	1.16	1.28916
2	6000	1558	400	1.26	2.00741
3	6000	1870	600	1.34	2.54210
4	8000	1246	400	1.38	2.79758
5	8000	1558	600	1.46	3.28706
6	8000	1870	200	1.36	2.67078
7	10000	1246	600	1.62	4.19030
8	10000	1558	200	1.52	3.63687
9	10000	1870	400	1.60	4.08240

Phân tích Taguchi được thực hiện bằng công cụ phần mềm Minitab 17, thu được biểu đồ trung bình thể hiện mức độ ảnh hưởng của các thông số đến chiều sâu ngấu mỗi hàn (hình 5).

**Hình 5. Ảnh hưởng của các thông số đến chiều sâu ngấu mỗi hàn**

Hình 5 mô tả ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều sâu ngấu mỗi hàn. Quan sát thấy rằng chiều sâu ngấu mỗi hàn tăng khi tăng cường độ dòng điện hàn; điều này là do nhiệt lượng sinh ra trong quá trình hàn điện tiếp xúc điểm tỉ lệ bình phương với cường độ dòng điện (1), nhiệt lượng lớn làm cho thể tích kim loại tại mỗi hàn được nung nóng lớn, dẫn đến chiều sâu ngấu mỗi hàn tăng. Quan sát hình 5 cho thấy, khi tăng lực ép điện cực làm chiều sâu ngấu mỗi hàn tăng;

lực ép điện cực tác động lên hai tấm kim loại hàn, làm hai tấm tiến sát gần lại nhau hơn, nhiệt tập trung vào kim loại mỗi hàn nhiều hơn, nhiệt sinh ra không bị thất thoát qua khe hở giữa hai chi tiết tạo điều kiện cho các nguyên tử kim loại bị nung nóng giữa hai tấm khuếch tán vào nhau tốt hơn, nên chiều sâu ngấu mỗi hàn tăng lên. Ngoài ra, thời gian hàn cũng có ảnh hưởng đến chiều sâu ngấu của mỗi hàn; khi thời gian lớn, chiều sâu ngấu mỗi hàn tăng và ngược lại (hình 5), điều này cho thấy rằng kết quả nghiên cứu là phù hợp với định luật Jun-Lenxo.

Sử dụng phần mềm ANOVA để phân tích mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến chiều sâu ngấu mỗi hàn; ta thấy rằng cường độ dòng điện hàn có ảnh hưởng lớn nhất là 84%, tiếp đến là thời gian hàn 13% và lực ép điện cực ảnh hưởng nhỏ nhất đến chiều sâu ngấu mỗi hàn là 3%.

### 3.4. Xây dựng mô hình toán học kích thước chiều sâu ngấu mỗi hàn khi hàn điện tiếp xúc điểm

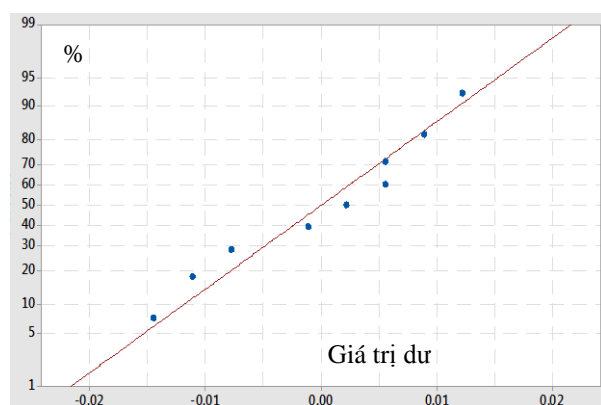
Trong nghiên cứu này, phân tích hồi quy tuyến tính trong công cụ phần mềm Minitab 17 đã được sử dụng, như để xây dựng mô hình toán học dự đoán cho các biến phụ thuộc

của chiều sâu ngấu mỗi hàn h như một hàm của cường độ dòng điện hàn, lực ép điện cực và thời gian hàn tương ứng. Phương trình dự đoán thu được từ phân tích hồi quy được hiển thị trong công thức (3).

$$h = 0.5146 + (82 \cdot I + 75 \cdot F + 317 \cdot t) \cdot 10^{-6} \text{ (mm)}$$

$$(R^2 = 99,6\%) \quad (3)$$

Khả năng của các mô hình đã xây dựng được kiểm tra bằng cách sử dụng hệ số xác định  $R^2$  [2]. Hệ số của giá trị xác định thay đổi từ 0 đến 1. Nếu nó gần với một, điều đó có nghĩa là có sự phù hợp tốt giữa các biến phụ thuộc và độc lập. Giả sử nếu  $R^2 = 95\%$  thì điều đó có nghĩa là các quan sát mới được ước tính với độ biến thiên 95%. Trong nghiên cứu này, các mô hình hồi quy được xây dựng cho h có giá trị  $R^2$  cao là 99,6%.



Hình 6. Đồ thị phân phối chuẩn của giá trị dư cho chiều sâu ngấu mỗi hàn

Đồ thị trên hình 6 được sử dụng để kiểm tra ý nghĩa của các hệ số trong mô hình dự đoán. Nếu ô giá trị dư là đường thẳng có nghĩa là các sai số giá trị dư trong mô hình được phân phối chuẩn và các hệ số trong mô hình là đáng kể. Từ hình 6 ta quan sát thấy giá trị dư nằm gần đường thẳng đối với h điều này ngụ ý rằng các hệ số mô hình đã xây dựng có độ tin cậy.

Các thử nghiệm kiểm tra được thực hiện để xác nhận các mô hình đã xây dựng và kết quả

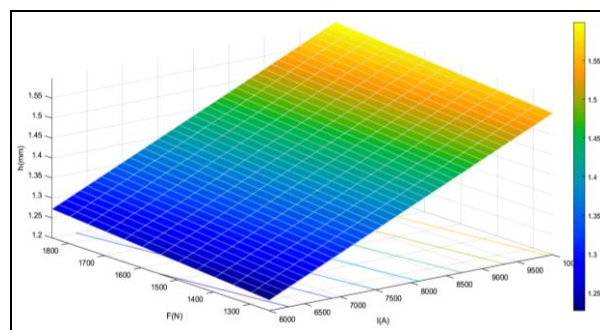
được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả kiểm tra ý nghĩa cho mô hình đã xây dựng

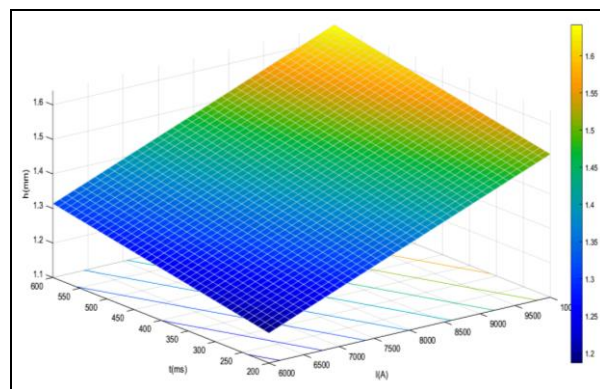
TN	h (thí nghiệm)	h (mô hình)	Giá trị dư	Sai số (%)
2	1.26	1.25	0.01	0.01
6	1.36	1.37	-0.01	0.01
8	1.52	1.51	0.01	0.01
9	1.60	1.60	0.00	0.00

Kết quả thử nghiệm được lấy ngẫu nhiên từ thiết kế thử nghiệm trực giao L9. Từ các kết quả nhận được, thấy rằng các kết quả dự đoán từ mô hình và kết quả thực nghiệm được tuân theo sự thống nhất tốt trong phạm vi tham số đã cho.

Ứng dụng phần mềm MATLAB [5] để vẽ biểu đồ đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số đến chiều sâu ngấu mỗi hàn h (hình 7, hình 8, hình 9).

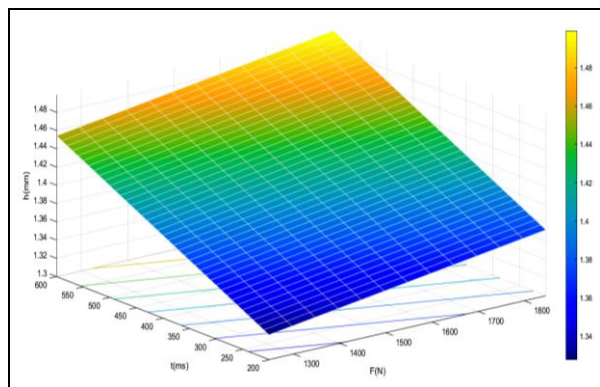


Hình 7. Đồ thị h phụ thuộc vào I và F



Hình 8. Đồ thị h phụ thuộc vào I và t





Hình 9. Đồ thị h phụ thuộc vào F và t

Hình 7, hình 8, hình 9 cho thấy biểu đồ biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số I và F; I và t; F và t có ảnh hưởng đến giá trị chiều sâu ngấu mỗi hàn h. Từ các hình này cho thấy rằng cường độ dòng điện cao, lực ép điện cực lớn và thời gian hàn dài sẽ dẫn đến việc tạo ra giá trị chiều sâu ngấu mỗi hàn h lớn. Các kết quả này hoàn toàn phù hợp với các lập luận ở trên, phù hợp với định luật Jun-Lenxo và với các nghiên cứu trước đây về hàn điện tiếp xúc điểm.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp thực nghiệm Taguchi để chọn và đánh giá các thông số ảnh hưởng đến chiều sâu ngấu mỗi hàn khi hàn điện tiếp xúc điểm. Kết quả cho thấy; các thông số cường độ dòng điện hàn, lực ép điện cực và thời gian hàn trong điều kiện thí nghiệm này có ảnh hưởng đến chiều sâu ngấu mỗi hàn, lần lượt là 84%; 13% và 3%.

Từ các đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số trên và áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao, đã xây dựng thành công mô hình toán học chiều sâu ngấu mỗi hàn. Để đánh giá độ tin cậy của mô hình, nhóm tác giả đã làm các thí nghiệm kiểm chứng và cho thấy mô hình chiều sâu ngấu mỗi hàn có độ tin cậy cao.

Kết quả của nghiên cứu này, là căn cứ để các nhà nghiên cứu, các nhà kỹ thuật... có thể áp dụng vào trong thực tiễn sản xuất để nâng cao chất lượng sản phẩm và năng suất lao động.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thúc Hà và các cộng sự, *Giáo trình công nghệ hàn - Lí thuyết và ứng dụng*, NXB Giáo dục, (2006).
- [2] Nguyễn Doãn Ý "Giáo trình quy hoạch thực nghiệm", NXB Khoa học và Kỹ thuật (2012).
- [3] Taniguchi Koichi, Okita Yasuaki, Ikeda Rinsei, *Development of Next Generation Resistance Spot Welding Technologies Improving the Weld Properties of Advanced High Strength Steel Sheets*, JFE TECHNICAL REPORT, No.20 (2015).
- [4] Design of Experiments (DOE) Using the Taguchi Approach, [www.nutekus.com/DOE\\_topicOverviews35Pg.pdf](http://www.nutekus.com/DOE_topicOverviews35Pg.pdf)
- [5] Nguyễn Quang Hoàng, *MATLAB và SIMULINK cho kỹ sư*, NXB Bách khoa Hà Nội (2019).

Thông tin liên hệ: **Nguyễn Thành Huân**

Điện thoại: 0947721688 - Email: [nthuan@uneti.edu.vn](mailto:nthuan@uneti.edu.vn)

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.



