

# TÍNH TOÁN CÔNG SUẤT HÀN HỒ QUANG ĐIỆN BẰNG PHƯƠNG PHÁP MODIFIED NEWTON - RAPHSON CACULATING ARC WELDING POWER BY MODIFIED NEWTON - RAPHSON METHOD NGUYỄN QUẬN

Trường Đại học Phạm Văn Đồng, Quảng Ngãi, Việt nam

\*Email liên hệ: nquan@pdu.edu.vn

## Tóm tắt

Bài báo này thực hiện tính toán công suất hồ quang điện để đạt được độ rộng chiều sâu mối hàn cho trước bằng phương pháp phương pháp Modified Newton - Raphson (MNR). Phương pháp MNR dựa trên phương pháp Newton - Raphson có hiệu chỉnh lại ("Modified") trong vòng lặp để tăng độ ổn định trong quá trình tính toán. Một ví dụ số được thực hiện để chứng minh cho phương pháp đề xuất. Kết quả đạt được cho thấy rằng phương pháp đề xuất là phương pháp ổn định và chính xác trong tính toán công suất hàn hồ quang điện.

**Từ khóa:** Hồ quang điện, Công suất hàn, Modified Newton - Raphson.

## Abstract

This paper calculates ARC welding power with a selected width penetration value by the Modified Newton - Raphson (MNR) method. MNR is based on the Newton - Raphson method with a modification in its loop to increase stability in the computation process. One numerical example is performed to demonstrate the proposed method. The obtained results show that the proposed method is an accurate and stable method in caculating the Arc welding power.

**Keywords:** ARC welding, Welding Power, Modified Newton - Raphson.

## 1. Mở đầu

Nhiều nghiên cứu chứng minh rằng, kích thước mối hàn (độ rộng, chiều sâu, hình dạng hồ hàn,...) là các thông số quan trọng của mối hàn. Đặc biệt, chiều sâu mối hàn ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của mối hàn. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu cũng làm sáng tỏ rằng kích thước mối hàn bị ảnh hưởng rất lớn bởi công suất hàn trong quá trình hàn [1, 2]. Vì vậy, việc xác định trước công suất hàn của hàn hồ quang điện để đạt được kích thước mối hàn được mong muốn trước là rất cần thiết để mối hàn có chất lượng tốt.

Cho đến nay, phương pháp chọn và điều chỉnh công suất hàn được thực hiện thông qua các phương pháp thử sai (trial and error) hoặc bằng kinh nghiệm là phổ biến. Phương pháp này có tính chất ngẫu nhiên và phụ thuộc vào trình độ của người hàn và độ chính xác không cao. Vì vậy, việc đề xuất một phương pháp có tính hệ thống và xác định chính xác công suất hàn đối với một chiều sâu mối hàn biết trước là rất có ý nghĩa cả khoa học và thực tiễn.

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất một phương pháp dựa trên kỹ thuật ngược (inverse technical) để thực hiện tính toán công suất hàn của quá trình hàn hồ quang điện để đạt được độ sâu mong muốn của quá trình hàn.

Trong bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng phương pháp Modified Newton - Raphson (MNR) để xác định công suất hàn với độ rộng chiều sâu mối hàn mong muốn. Phương pháp MNR dựa trên phương pháp Newton - Raphson có hiệu chỉnh lại ("Modified") vòng lặp để tăng độ ổn định trong quá trình tính toán. Phương pháp Modified Newton - Raphson (MNR) có tính đơn giản, độ ổn định và tốc độ hội tụ nhanh. Nó đã được áp dụng thành công trong một số nghiên cứu sử dụng kỹ thuật ngược, cũng như một số vấn đề về hàn [3-6]. Kết quả thực hiện sẽ thể hiện ở các phần sau.

## 2. Đặt Vấn Đề

Hàn giáp mối bằng hồ quang điện trên tấm thép được thể hiện như Hình 1. Phương trình mô tả quá trình thay đổi nhiệt trong tấm hàn với que hàn di chuyển với vận tốc  $v$  theo phương  $x$  được mô tả như sau [2]:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left( k \frac{\partial T}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q}_v = \rho C_p v \frac{\partial T}{\partial \xi} \quad (1)$$

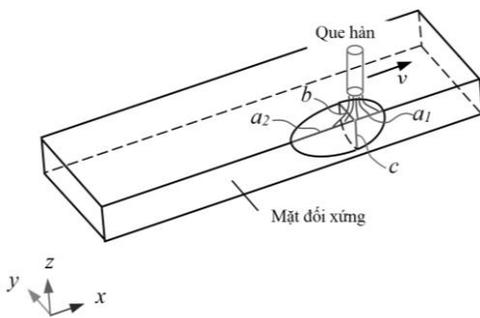
với:  $\xi = x - vt$ .

Trong đó:  $k$  là hệ số dẫn nhiệt,  $\rho$  là tỷ trọng riêng,  $C$  là nhiệt dung riêng của mẫu hàn (chú ý rằng các hệ

số này phụ thuộc vào nhiệt độ);  $\dot{q}_v$  là tốc độ truyền nhiệt bên trong vật liệu hàn do hồ quang điện tạo ra, được định nghĩa như sau [2, 8]:

$$\dot{q}_v(\xi, y, z) = \frac{6\sqrt{3}f_{1,2}\eta P}{a_{1,2}bc\pi\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-3\frac{\xi^2}{a_{1,2}} - 3\frac{y^2}{b^2} - 3\frac{z^2}{c^2}\right) \quad (2)$$

ở đây,  $\eta$  là hiệu suất sinh nhiệt của hồ quang điện;  $P$  là công suất hàn,  $f_1$  và  $f_2$  là trọng số của nguồn nhiệt e líp phía trước và phía sau (cụ thể,  $f_1 \sim 0,6$  và  $f_2 \sim 1,4$ );  $a_1, a_2, b$ , và  $c$  là các thông số của nguồn nhiệt e líp đôi.



Hình 1. Mô hình hàn giáp mối bằng hồ quang điện

Do tính đối xứng nên mặt đối xứng dọc đường hàn được thiết lập điều kiện biên cách nhiệt. Mặt trước được thiết lập điều kiện biên đẳng nhiệt và mặt sau được thiết lập điều kiện biên đoạn nhiệt. Các mặt còn lại của tấm hàn được thể hiện bởi phương trình sau:

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_0) + \sigma \varepsilon (T^4 - T_0^4) \quad (3)$$

Trong đó:  $k$  và  $h$  là hệ số truyền nhiệt và trao đổi nhiệt;  $\sigma$  và  $\varepsilon$  là hệ số Stefan - Boltzmann và hệ số trao đổi nhiệt.

Trong bài báo này, để tính toán bài toán thuận, phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để giải

phương trình này [9].

### 3. Phương pháp

#### 3.1. Phương pháp Modified Newton - Raphson

Trước hết, chúng ta khảo sát sự hình thành độ rộng chiều sâu mối hàn với các công suất hàn khác nhau. Hình 2 là mặt cắt ngang mối hàn, mô tả vũng hàn và độ rộng chiều sâu mối hàn ( $w_d$ ) được hình thành với các công suất hàn khác nhau.

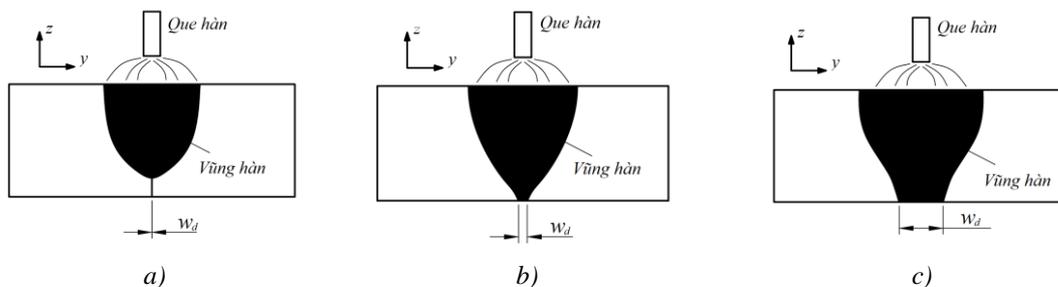
Hình 2a cho thấy rằng, công suất hàn quá nhỏ do vậy vũng hàn được hình thành chưa ngấu đến mặt đáy của tấm hàn. Trong khi Hình 2c thể hiện rằng công suất hàn quá lớn, vũng hàn ngấu đến mặt dưới tấm hàn với độ rộng rất lớn. Việc sử dụng công suất hàn quá lớn vừa làm cơ tính của mối hàn không tốt vừa tiêu hao nhiều năng lượng trong quá trình hàn. Đối với trường hợp như Hình 2b, vũng hàn vừa ngấu đến mặt đáy của tấm hàn. Vũng hàn có kích thước vừa đủ, không những làm cơ tính mối hàn tốt và còn tiết kiệm năng lượng hàn. Do vậy, việc xác định công suất hàn hợp lý để đạt được độ rộng chiều sâu mối hàn hợp lý là cần thiết. Điều này giúp đạt được chất lượng mối hàn tốt nhất cũng như tiết kiệm được chi phí hàn.

Từ đó, nguyên cứu này đề xuất sử dụng phương pháp MNR để thực hiện vấn đề trên. Phương pháp đề xuất dựa trên nguyên lý giải bài toán ngược. Theo đó, phương pháp MNR sẽ tìm công suất hàn hợp lý bằng cách so sánh giữa nhiệt độ tính toán  $T_c$  đối với một công suất hàn bất kỳ với nhiệt độ nóng chảy  $T_m$  được trích xuất tại vị trí mà chúng ta mong muốn đạt được độ rộng chiều sâu mối hàn cho trước.

Về mặt toán học, thiết lập công suất hàn đối với giá trị độ rộng chiều sâu mối hàn mong muốn bằng MNR là việc cực tiểu hóa hàm bậc hai sau [5]:

$$J(\mathbf{x}) = \sum_i^N (T(\mathbf{x})_c^i - T_m^i)^2 \quad (4)$$

Trong đó:  $N$  là số phương trình phi tuyến,  $\mathbf{x}$  là



Hình 2. Vũng hàn và độ rộng chiều sâu mối hàn ( $w_d$ )

vector biến cần tìm.

Để cực tiểu hóa PT. (4) này, giá trị của các biến trong vector biến  $\mathbf{x}$  phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$\sum_i^N \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left( (T(\mathbf{x})_c^i - T_m^i)^2 \right) = 0 \quad (5)$$

PT. (5) chính là một hệ phương trình phi tuyến nó được tạo ra bằng cách đạo hàm PT. (4) theo biến  $\mathbf{x}$ . Lời giải PT. (5) bởi phương pháp Newton - Raphson được mô tả bằng vòng lặp sau [3]:

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k - (\Psi^T \Psi)^{-1} \Psi^T (T_c - T_m) \quad (6)$$

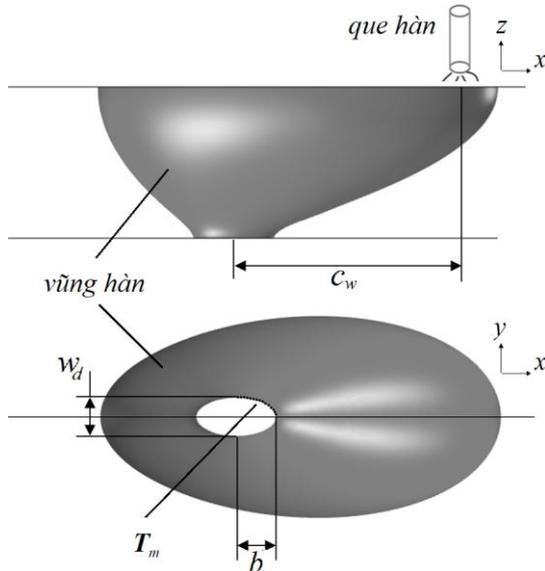
ở đây,  $\Psi = \partial T / \partial \mathbf{x}$  là ma trận đạo hàm của  $T$  đối với biến  $\mathbf{x}$  và  $k$  là chỉ số vòng lặp.

Từ PT. (6), có thể nhận định rằng lời giải có thể đạt được khi các giá trị  $T_c$  và  $T_m$  được biết. Tuy nhiên, bài toán trong nghiên cứu này có tính phi tuyến cao nên để đảm bảo vòng lặp tìm công suất hàn không bị “thất bại” (bài toán không hội tụ), một hệ số giảm chấn được thêm vào trong PT. (6), đây chính là sự hiệu chỉnh “Modified” phương pháp Newton - Raphson trong bài báo này. Khi đó, PT. (6) được viết lại như sau:

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k - \lambda (\Psi^T \Psi)^{-1} \Psi^T (T_c - T_m) \quad (7)$$

Trong đó:  $\lambda$  là hệ số giảm chấn.

Hơn nữa, ngoài biến độ rộng chiều sâu mỗi hàn  $w_d$  để tính toán được vector nhiệt độ  $T_m$  và tăng độ ổn định và tốc độ hội tụ trong quá trình tìm công suất hàn, hai biến phụ được đưa vào thuật toán MNR, đó là biến chiều dài  $b$ , và vị trí tâm elip  $c_w$  như Hình 3.



**Hình 3.** Các thông số  $w_d$ ,  $b$ ,  $c_w$  và  $1/4$  elip sử dụng để trích xuất nhiệt độ  $T_m$

### 3.2. Thuật toán của phương pháp MNR

Thuật toán của phương pháp đề xuất được mô tả như sau:

Cho trước giá trị điều kiện dừng ( $\delta$ ,  $\varepsilon$ ) và giá trị công suất ban đầu  $P_0$ , hệ số giảm chấn  $\lambda_0$ , giải PT. (1) để xác định biến ban đầu  $\mathbf{x}^0$ . Giá trị biến  $\mathbf{x}^k$  tại vòng lặp thứ  $k$  được xác định như sau:

**Bước 1:** Giải PT. (1) và tính toán vector nhiệt độ  $T_c$

**Bước 2:** Đưa giá trị  $T_c$  vào PT. (4).

**Bước 3:** Tính toán  $\mathbf{x}^k$  từ PT. (6) và tính toán giá trị  $J(\mathbf{x}^k)$  từ PT. (4).

**Bước 4:** Nếu  $J(\mathbf{x}^k) \geq J(\mathbf{x}^{k+1})$ , giảm giá trị giảm chấn  $\lambda = 0,1\lambda$ , quay lại Bước 3. Ngược lại, chấp nhận giá trị  $\mathbf{x}^k$  và gán lại giá trị giảm chấn  $\lambda = \lambda_0$ .

**Bước 5:** Dừng vòng lặp nếu:

a) Thỏa mãn các điều kiện sau [4]:

$$\|\mathbf{x}_k - \mathbf{x}_{k-1}\| / \|\mathbf{x}_k\| \leq \delta \quad (8)$$

$$\|J(\mathbf{x}_k) - J(\mathbf{x}_{k-1})\| / \|J(\mathbf{x}_k)\| \leq \varepsilon \quad (9)$$

Với:

$$\|J(\mathbf{x}_k)\| = \sum_{i=1}^N [T_c^i - T_m^i]^2 \quad (10)$$

Trong đó:  $\delta$  và  $\varepsilon$  là những giá trị dừng. Chúng là những con số dương rất nhỏ.

b) Ngược lại, tăng  $k = k+1$  và quay lại Bước 2.

### 4. Kết quả và thảo luận

Trong bài báo này, quá trình hàn hồ quang điện cực không nóng chảy GTAW (Gas Tungsten Arc Welding - Hàn hồ quang điện cực Tungsten không nóng chảy bảo vệ môi hàn bằng môi trường khí) được xem xét để chứng minh phương pháp đề xuất. Đường kính điện cực là  $d=1,2\text{mm}$  với hiệu suất sinh nhiệt của hồ quang điện  $\eta=0,6$  (các thông số này tham khảo từ các nghiên cứu [10]) vận tốc hàn là  $v=15\text{mm/s}$ . Quá trình hàn được mô phỏng trên tấm có kích thước  $90 \times 40 \times 0,8(\text{mm})$ . Vật liệu của tấm hàn là inox thương mại AISI304 có được tính chất nhiệt phụ thuộc vào nhiệt độ, lấy từ nghiên cứu của Sabarikanth [11].

Trong ví dụ số này, độ rộng chiều sâu mỗi hàn mong muốn là  $w_d=0,2\text{mm}$ . Như trong phần thuật toán, trước tiên chúng ta phải chọn giá trị ban đầu cho công suất hàn và các giá trị dừng. Ở đây, giá trị ban đầu của công suất ta chọn  $P_0=650\text{W}$ , thông số giảm chấn ban đầu chọn  $\lambda_0 = 10^{-3}$ , và các thông số dừng là  $\delta$  và  $\varepsilon$ . Kết quả tính toán công suất hàn tương ứng với độ rộng chiều sâu mỗi hàn cho trước là  $w_d = 0,2\text{mm}$  được thể hiện trong Bảng 1. Bảng 1 thể hiện giá trị tính toán công suất hàn  $P$  và độ rộng chiều sâu tính toán tại vòng lặp thứ  $i$  với độ rộng chiều sâu cho trước. Ta thấy công

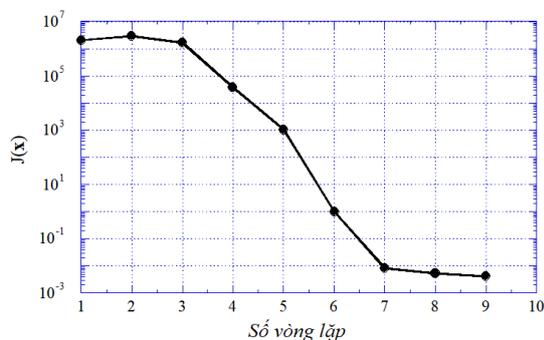
suất giảm từ giá trị ban đầu  $P_0=650(W)$  được phương pháp MNR tính toán với giá trị giảm dần để đạt được độ rộng chiều sâu mỗi hàn cho trước.

Như Bảng 1, sau 9 vòng lặp, phương pháp MNR đã tính toán được công suất hàn là  $P_9=481.078W$  để đạt được chiều sâu mỗi hàn cho trước là  $w_d=0,2001(mm)$ . Sai số với với giá trị mong muốn là 0,07%.

**Bảng 1. Tính toán công suất hàn bằng MNR**

V. lặp	P (W)	$w_i$ (mm)	$\frac{ w_i - w_d }{w_d}$ (%)
1	650.000	1.1499	474.93
2	650.003	1.0005	400.23
3	611.006	0.4701	135.07
4	510.650	0.2724	36.20
5	489.424	0.1986	0.715
6	484.002	0.2006	0.298
7	484.098	0.1999	0.047
8	484.086	0.2003	0.163
9	<b>484.078</b>	<b>0.2001</b>	<b>0.07</b>

Hình 4 thể hiện độ hội tụ của phương pháp MNR thông qua giá trị  $J(x)$ .



**Hình 4. Đồ thị giá trị  $J(x)$**

Từ Hình 4, có thể thấy rằng với giá trị ban đầu của công suất hàn  $P_0=650W$  thì sai lệch giữa  $T_c$  và  $T_m$  là rất lớn. Theo tính toán,  $J(x_0)=2,077 \times 10^6$  đến vòng lặp thứ 9, giá trị  $J(x_9)=0,42 \times 10^{-2}$ . Giá trị  $J(x)$  thể hiện tốt độ hội tụ của phương pháp MNR. Từ Hình 4 ta thấy rằng tốt độ hội tụ của phương pháp đề xuất là rất nhanh. Từ Bảng 1 và Hình 4, có thể nhận định rằng đến vòng lặp thứ 7, phương pháp MNR đã tìm được giá trị công suất hàn mong muốn để đạt độ rộng chiều sâu mỗi hàn cho trước. Và, đến vòng lặp thứ 9 giá trị công suất hàn đạt được  $P_9=481.078W$  và độ rộng tương ứng là  $w_d=0,2mm$  với sai số độ rộng chiều sâu mỗi hàn giữa tính toán và cho trước là nhỏ nhất (0,07%).

Từ kết quả mô phỏng số trên, có thể nhận định rằng phương pháp đề xuất có khả năng tính toán công suất hàn đối với độ rộng chiều sâu mỗi hàn cho trước một cách chính xác và tốc độ hội tụ rất nhanh.

## 5. Kết luận

Phương pháp Modified Newton Raphson đã được ứng dụng thành công trong việc tính toán công suất hàn hồ quang điện để đạt được độ rộng chiều sâu mỗi hàn. Để chứng minh phương pháp đề xuất, một ví dụ được thực hiện. Kết quả cho thấy rằng, công suất hàn đạt được chỉ sau 9 vòng lặp đối với giá trị công suất ban đầu  $P=650W$  với sai số độ rộng chiều sâu mỗi hàn thiết lập được là  $w_d=0,2001mm$  và sai số giữa độ rộng chiều sâu mỗi hàn tính toán và cho trước là rất nhỏ (0,07%). Từ đó, cho thấy phương pháp MNR rất hiệu quả trong việc thiết lập công suất hàn để đạt được độ rộng chiều sâu mỗi hàn cho trước. Việc thiết lập này giúp chúng ta chọn được các thông số hàn hợp lý; nhằm đạt được hồi hàn đảm bảo chất lượng, cũng như tiết kiệm năng lượng trong quá trình hàn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Karadeniz, U. Ozsarac, C. Yildiz (2007), *The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes*, Materials & design, Vol.28(2), pp.649-656.
- [2] J. Goldak, A. Chakravarti, M. Bibby, *A new finite element model for welding heat source*, Metall. Trans. B 15B (1984) 299-305
- [3] Z. Feng, N. Ma, W. Li, K. Narasaki, F. Lu (2020), *Efficient analysis of welding thermal conduction using the Newton-Raphson method, implicit method, and their combination*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 111, pp.1929-1940.
- [4] M.N. Ozisik (2000), *Inverse heat transfer: fundamentals and applications*.
- [5] Q. Nguyen, C.Y. Yang (2016), *Design of a longitudinal cooling fin with minimum volume by a modified Newton-Raphson method*, Applied Thermal Engineering, Vol.98, pp.169-178.
- [6] N. Ma, K. Narasaki (2018), *Simulation of welding thermal conduction and thermal stress using hybrid method of accelerated explicit and implicit FEM*, in: Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, pp. 012073.
- [7] Venkanna, B. K (2010). *Fundamentals of heat and mass transfer*. PHI Learning Pvt. Ltd.,
- [8] D. Gery, H. Long, P. Maropoulos (2005), *Effects*

- of welding speed, energy input and heat source distribution on temperature variations in butt joint welding*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.167(2-3), pp.393-401.
- [9] A. Anca, A. Cardona, J. Risso, V.D (2011). *Fachinotti, Finite element modeling of welding processes*, Applied Mathematical Modelling, Vol.35(2), pp.688-707.
- [10] C.V. Gonçalves, L.O. Vilarinho, A. Scotti, G. Guimarães (2006), *Estimation of heat source and thermal efficiency in GTAW process by using inverse techniques*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.172(1), pp.42-51.
- [11] R. Sabarikanth, K. Sankaranarayanan, N. Siva Shanmugam, G. Buvanashakaran (2009), *A study of laser welding modes with varying beam energy levels*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Vol.223(5), pp.1141-1156.

Ngày nhận bài:	02/04/2023
Ngày nhận bản sửa:	12/04/2023
Ngày duyệt đăng:	24/04/2023