

# THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ HÀN ỐNG TỰ ĐỘNG CÓ RUNG SIÊU ÂM TẦN SỐ 20 KHZ

## DESIGN AND MANUFACTURE AN AUTOMATIC TUBE WELDING EQUIPMENT BY 20KHZ ULTRASONIC ASSISTED VIBRATION

Chung Trần Thế Vinh<sup>1,2,3</sup>, Nguyễn Hữu Lộc<sup>2,3</sup>, Trần Minh Thông<sup>1,2</sup>, Nguyễn Khắc Huy<sup>1</sup>, Nguyễn Hồng Phúc<sup>1</sup>, Nguyễn Thanh Hải<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Cao đẳng Lý Tự Trọng, Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa, Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>3</sup>Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, Hồ Chí Minh, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ / Corresponding author: haint@hcmut.edu.vn

(Nhận bài / Received: 18/02/2023; Sửa bài / Revised: 06/5/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 26/5/2023)

**Tóm tắt** - Công nghệ hàn TIG/MIG-MAG thường được sử dụng hàn các sản phẩm ống thép trong công nghiệp. Để nâng cao cơ tính, tổ chức tế vi, tăng năng suất và cải thiện chiều sâu ngấu của mỗi hàn, dao động rung siêu âm có thể áp dụng. Do đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thiết bị hàn ống thép tự động có hỗ trợ rung siêu âm. Thiết kế sử dụng hai hệ siêu âm 20 kHz, công suất 1,5kW để tạo rung động ở vị trí cách vũng hàn 120 mm và vị trí đầu ống. Tốc độ hàn được thay đổi nhờ thay đổi tốc độ vòng quay của ống thông qua biến tần và hệ truyền động bánh răng. Thiết bị hàn ống tự động đã thử nghiệm thành công trên ống có đường kính trong giới hạn từ 50 ÷ 200 mm, chiều dày từ 5 ÷ 10 mm sử dụng nguồn hàn TIG/MIG-MAG.

**Từ khóa** - Siêu âm; 20 kHz; hàn ống; TIG; MIG; rung động

### 1. Giới thiệu

Kỹ thuật hàn ống thép là một trong những kỹ thuật hàn phức tạp đòi hỏi các yêu cầu kỹ thuật cao. Mỗi hàn ống yêu cầu độ chính xác cao, độ ngấu sâu và không xảy ra các khuyết tật mỗi hàn.

Hàn TIG/MIG-MAG sử dụng hồ quang làm nóng chảy vật liệu vùng hàn. Khi có rung động siêu âm tác động, bọt khí và xỉ trong vũng hàn nổi lên trên bề mặt. Ngoài ra, rung động siêu âm còn làm tăng độ ngấu so với hàn TIG/MIG-MAG thuần túy.

Watanabe và nhóm cộng sự đã phát triển một phương pháp hàn TIG trên vật liệu thép tấm không rỉ SUS444 áp dụng trực tiếp rung động siêu âm vào vũng hàn nóng chảy thông qua cơ cấu cấp kim loại bù. Kết quả độ bền kéo của mỗi hàn có rung động siêu âm lớn hơn so với mỗi hàn bình thường, tổ chức hạt phân bố đều trong vùng mà rung động siêu âm được truyền đến [1]. Nhóm tác giả đã thí nghiệm sử dụng phương pháp hàn TIG có mô hàn kết nối với rung siêu âm. Nghiên cứu chứng minh rằng, áp lực hồ quang hàn có siêu âm tăng lên. Kết quả là độ ngấu mỗi hàn trên vật liệu SUS 304 được cải thiện [2]. Vật liệu hàn được thí nghiệm là thép JIS SS400 và khi có rung động siêu âm được áp dụng, ứng suất dư giảm [3]. Nhóm tác giả sử dụng phương pháp hàn GMAW trong môi trường

**Abstract** - TIG/MIG-MAG welding technology is often used to weld steel pipe products in industry. In order to enhance the mechanical properties, improvement of the microstructures, increase the efficiency and depth of the weld, ultrasonic vibration oscillations can be applied. As a result, the authors have researched, designed and manufactured an automatic steel pipe welding equipment with ultrasonic-assisted vibration. The design uses two 20 kHz ultrasonic systems, power of 1,5kW to generate vibrations at a position 120 mm from the weld pool and at the end of the pipe. Welding speed is changed by changing the tube rotation speed through inverter and gear drive system. The device of automatic tube welding has been successfully tested on pipes with a diameter of 50 ÷ 200 mm with a thickness of 5 ÷ 10mm using TIG/MIG-MAG welding sources.

**Key words** - Ultrasonic; 20kHz; tube welding; TIG; MIG; vibration

khí Argon bảo vệ với điện áp đầu ra không đổi. Kết quả thí nghiệm là hồ quang hàn bị nén lại và sự ổn định hồ quang hàn đã được cải thiện hơn so với phương pháp hàn MIG/MAG không có hỗ trợ siêu âm [4]. Mẫu hàn được thực hiện bằng phương pháp hàn GMAW sử dụng hỗn hợp khí Ar và CO<sub>2</sub>. Kết quả thí nghiệm cấu trúc hạt mịn hơn và độ cứng phân bố đồng đều hơn khi có siêu âm tác động [5]. Tác giả sử dụng phương pháp hàn TIG để hàn vật liệu là tấm hợp kim nhôm Al-Li có chiều dày 2mm. Quá trình thực hiện thí nghiệm hàn có sử dụng nguồn siêu âm với tần số 35KHZ để tác động đến mỗi hàn. Kết quả là tác động của công suất siêu âm lên các quá trình hình thành các bọt khí được nghiên cứu. So với khi không có sóng siêu âm, bọt khí trong mỗi hàn giảm khi dùng siêu âm [6]. Thiết bị thí nghiệm chính sử dụng máy hàn Miller TIG 350, vật liệu hàn là các tấm hợp kim nhôm 2219 có độ dày 3,5mm và dây hàn ER2319 có đường kính 1,2 mm được sử dụng để hàn. Rung động siêu âm được phát ra theo định kỳ. Việc đưa sóng siêu âm vào làm tăng tốc độ dòng chảy, thay đổi các cấu trúc tế vi, nâng cao các đặc tính cơ học của mỗi hàn. Độ cứng của vùng hàn tăng 8,43% và độ bền kéo của mỗi hàn tăng lên 29,02% [7]. Tác giả sử dụng máy hàn MIG/MAG Monogys 250-4CS thực hiện thí nghiệm hàn các tấm thép cacbon trung bình (C45) theo TCVN 1766 – 75 sử dụng bộ nguồn siêu âm

<sup>1</sup> Ly Tu Trong College, Hochiminh, Vietnam (Chung Tran The Vinh, Tran Minh Thong, Nguyen Khac Huy, Nguyen Hong Phuc)

<sup>2</sup> Ho Chi Minh City University of Technology, Hochiminh, Vietnam (Chung Tran The Vinh, Nguyen Huu Loc, Tran Minh Thong, Nguyen Thanh Hai)

<sup>3</sup> Viet Nam National University Ho Chi Minh City, Hochiminh, Vietnam (Chung Tran The Vinh, Nguyen Huu Loc, Nguyen Thanh Hai)

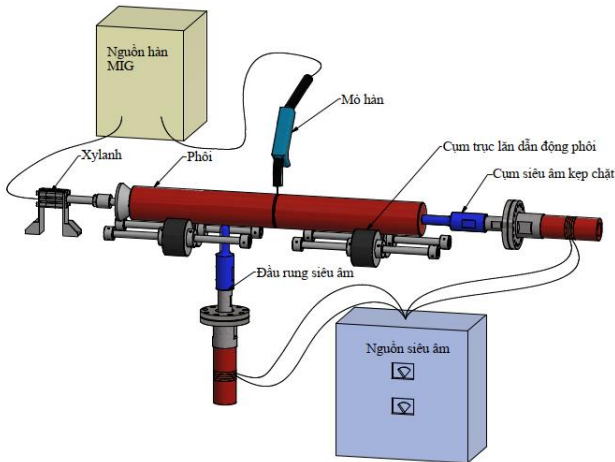
có tần số 20 kHz và công suất là 1000 W. Kết quả rung động siêu âm có khả năng phân tán kim loại nóng chảy đồng đều trong vùng hàn, do đó giúp bề mặt mối hàn đồng đều. Rung động siêu âm có khả năng làm giảm độ rỗng và tăng độ ngấu của mối hàn. Về cấu trúc tế vi có thể thấy ở vùng nóng chảy hoàn toàn và vùng ảnh hưởng nhiệt của mối hàn có áp dụng rung động siêu âm các hạt có xu hướng nhỏ và mịn hơn [8].

Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu trình bày thiết kế và chế tạo thiết bị hàn MIG/MAG cho thép ống có hỗ trợ rung siêu âm tần số 20 kHz, công suất 1,5 Kw. Các ống thép có độ dày tối đa 10 mm và đường kính tối đa 200 mm. Với sự hỗ trợ của rung động siêu âm, nhóm tác giả nghiên cứu về ảnh hưởng của độ ngấu và cơ tính của mối hàn.

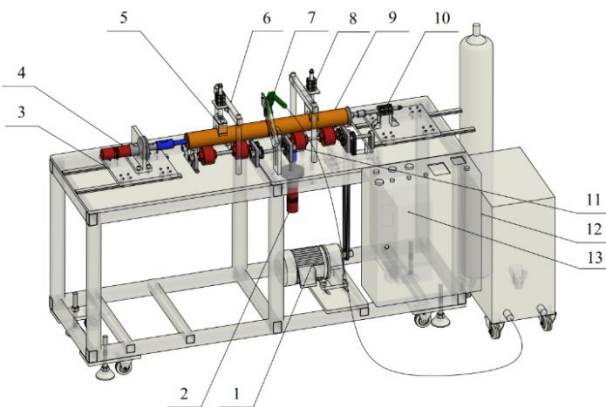
## 2. Thiết kế thiết bị hàn ống tự động

### 2.1. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý làm việc của bộ phận hỗ trợ truyền động là khi động cơ (1) quay sẽ truyền chuyển động đến cụm trục con lăn dẫn động phôi (11) và phôi hàn (9) đặt phía trên. Muốn điều chỉnh tốc độ ta sử dụng biến tần (12) để thay đổi tốc độ động cơ (1) cho phù hợp với tốc độ di chuyển của phôi hàn (9) trong dây tốc độ từ 100 mm/ph ÷ 200 mm/ph (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý 3D



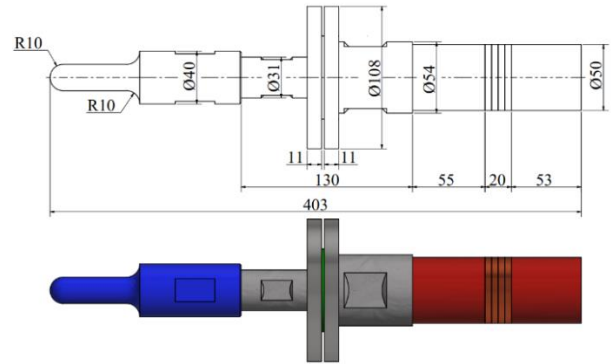
Hình 2. Sơ đồ kết cấu

1- Động cơ; 2- Khuôn siêu âm; 3- Bàn trượt; 4- Khuôn siêu âm; 5- Khối V chặn; 6- Cụm chi tiết kẹp chặt; 7- Máy hàn; 8- Chi tiết điều chỉnh lực của khối V; 9- Phôi hàn; 10- Xylanh; 11- Cụm trục con lăn dẫn động phôi; 12- Biến tần; 13- Nguồn siêu âm

Sơ đồ kết cấu của thiết bị hàn ống tự động như Hình 2. Khuôn siêu âm (2) nhận hiệu điện thế cao với tần số 20 kHz có công suất 1,5kW từ nguồn siêu âm (13) sẽ tạo ra dao động truyền đến khuôn siêu âm (2) và phôi hàn (9). Động cơ (1) quay truyền chuyển động đến các cụm trục con lăn dẫn động phôi (11) để làm quay phôi hàn. Truyền động từ động cơ (1) đến các cụm trục con lăn dẫn động phôi (11) thông qua bộ truyền động xích và bộ truyền bánh răng. Phôi hàn đặt trên các cụm trục con lăn dẫn động phôi (11).

### 2.2. Hệ dao động siêu âm

Dao động của khuôn siêu âm được tính toán thiết kế với tần số 20 kHz làm bằng thép Crom. Hệ dao động siêu âm gồm bộ chuyển đổi tần số cơ học, booster và khuôn siêu âm. Tại bề mặt làm việc của khuôn siêu âm, biên độ dao động đạt giá trị cao nhất, Hình 3.



Hình 3. Khuôn siêu âm với tần số 20kHz

Vị trí tác động của rung động siêu âm được khảo sát ở vị trí  $x = \frac{3}{4}\lambda$  dựa trên kết luận của Krajewski và các cộng sự [9]. Trong nghiên cứu này, rung động siêu âm được sử dụng có tần số  $f = 20\text{kHz}$ , môi trường truyền sóng là phôi thép cacbon có tốc độ truyền sóng  $C = 3240\text{ m/s}$ . Do đó, bước sóng được tính theo công thức sau:

$$C = \lambda \cdot f \quad (1)$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{C}{f} = \frac{3240}{20000} = 0,162 \text{ (m)} = 162 \text{ mm}$$

$$\text{Như vậy: } x = \frac{3}{4}\lambda \approx 120 \text{ mm}$$

Ở vị trí này là vị trí mà sóng siêu âm có ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng mối hàn.

### 2.3. Tính toán tốc độ di chuyển phôi hàn

Để tính toán tốc độ di chuyển phôi hàn cần điều chỉnh biến tần dựa theo công thức:

$$n_0 = \frac{120f}{N} x(1 - S) \left( \frac{\text{vòng}}{\text{phút}} \right) \quad (2)$$

Trong đó:  $n_0$  – Tốc độ quay của động cơ;  $f$  – Tần số dòng điện;  $N$  – Số cực của động cơ,  $N = 4$ ;  $S$  – Độ trượt,  $S = 3\% \div 5\%$  khi động cơ hoạt động ổn định, chọn  $S = 0,05$ .

+ Tỷ số truyền của ĐC giảm tốc GH-28:

$$u_1 = 20 \quad (3)$$

+ Tỷ số truyền của bộ truyền động xích:

$$u_2 = \frac{z_{11}}{z_0} = \frac{24}{15} = 1,6 \quad (4)$$

+ Tỷ số truyền của bộ bánh răng:

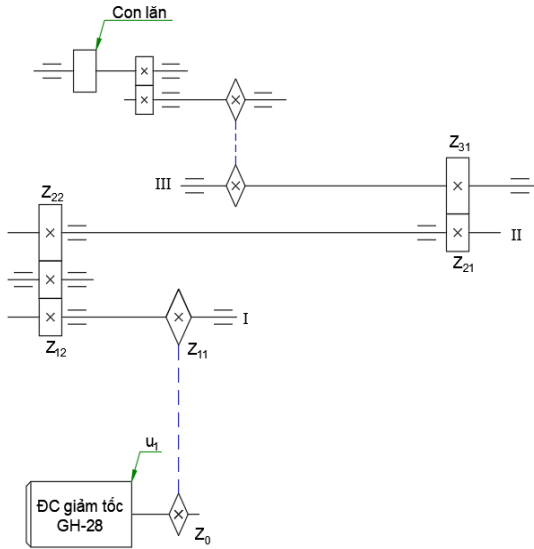
$$u_3 = \frac{z_{22}}{z_{12}} \cdot \frac{z_{31}}{z_{21}} = \frac{28}{19} \cdot \frac{28}{19} = 2,17 \tag{5}$$

Tỷ số truyền của hệ thống:

$$u = u_1 \times u_2 \times u_3 = 20 \times 1,6 \times 2,17 = 69,5 \tag{6}$$

$$\text{Vận tốc di chuyển của phôi: } v = \frac{n_0}{u} \pi d, \tag{7}$$

với d là đường kính con lăn dưới, d = 84 mm



Hình 4. Sơ đồ động hệ thống\*

Trong đó, Z<sub>0</sub>: bánh xích chủ động trên trục động cơ truyền sang bánh bị động Z<sub>11</sub> trên trục I. Z<sub>12</sub>: bánh răng chủ động trên trục I ăn khớp với bánh răng gián tiếp truyền sang bánh bị động Z<sub>22</sub> trên trục II. Z<sub>22</sub>: bánh răng chủ động trên trục II truyền sang bánh bị động Z<sub>31</sub> trên trục III.

### 3. Chế tạo và lắp ráp

Thiết bị được gia công, lắp ráp và lắp đặt như Hình 5. Bao gồm các bộ phận như cụm cơ khí, bộ điều khiển truyền chuyển động, nguồn phát siêu âm và máy hàn MIG.



Hình 5. Mô hình thí nghiệm

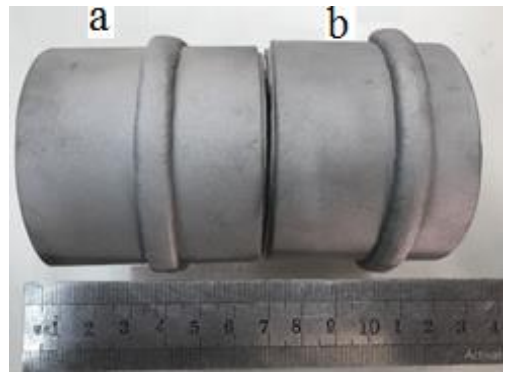
### 3.1. Thực nghiệm

Ban đầu, phôi hàn được đặt lên cụm trục con lăn dẫn động phôi (11) và cơ cấu kẹp với lực phù hợp để điều chỉnh tốc độ di chuyển phôi hàn. Dao động siêu âm mở tắt tự động trên bộ điều khiển điện. Sau khi rung động siêu âm dừng hẳn, phôi hàn được lấy ra bằng kẹp.

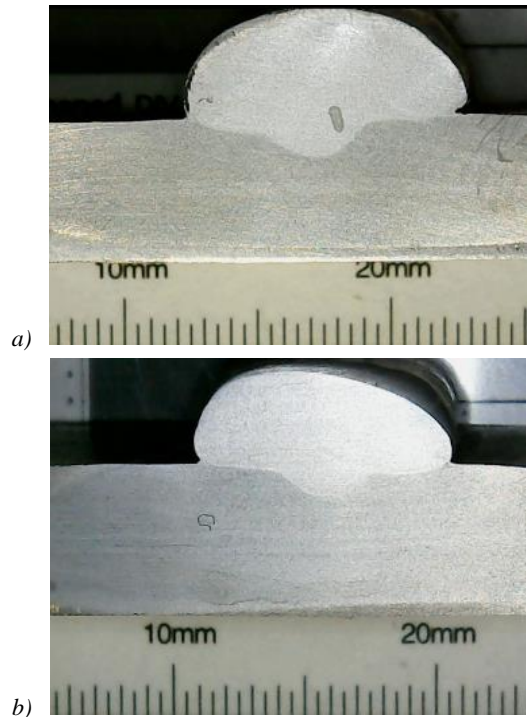
Các thông số công nghệ gồm thời gian áp siêu âm từ 0,7s đến 20s với tần số 20 kHz và công suất siêu âm 1,5kW, tốc độ di chuyển của phôi hàn từ 100 ÷ 200 mm/ph, cường độ dòng điện hàn từ 120 ÷ 170 A, lưu lượng khí 15 l/ph. Cuộn dây hàn thép ER70S-6 có đường kính 0,8 mm, phôi ống thép có kích thước Ø73 x 1000 mm có chiều dày 5 mm.

Bảng 1. Thông số thí nghiệm

TH	Cường độ dòng điện (A)	Tốc độ di chuyển (mm/phút)	Vị trí của khuôn siêu âm (mm)
1	150	100	120
2	160	100	120
3	170	100	120



Hình 6. Mẫu hàn thép ống. a) có siêu âm; b) không siêu âm



Hình 7. Độ ngẫu mồi hàn a) có siêu âm; b) không siêu âm

### 3.2. Mẫu hàn - thông số hàn

Các mẫu hàn là ống thép C45 có kích thước  $\varnothing 73 \times 1000$  mm, chiều dày 5mm. Các mẫu phôi hàn ống được xử lý bề mặt sạch sẽ trước khi đem đi thí nghiệm. Kết quả thể hiện trong Hình 5, chất lượng các mối hàn tốt không bị cháy cạnh, nứt hay rỗ, đảm bảo đúng yêu cầu kỹ thuật của đường hàn ống theo chu vi. Độ ngẫu mỗi hàn ống và cấu trúc tế vi sẽ được nghiên cứu, phân tích trong các thí nghiệm tiếp theo (Hình 6).

### 4. Kết luận

Nghiên cứu chế tạo thành công thiết bị hàn thép ống tự động có hỗ trợ rung siêu âm với tần số 20 kHz, công suất 1,5 kW với vị trí đầu rung siêu âm cách vũng hàn 120 mm. Kết quả thực nghiệm trên ống thép đường kính 73 mm, dài 1000 mm, chiều dày 5 mm sử dụng nguồn hàn TIG/MIG-MAG, cho thấy sự khác biệt về độ ngẫu giữa mối hàn có và không có rung siêu âm. Các phân tích về độ bền kéo, cấu trúc tế vi và thành phần pha sẽ được nghiên cứu trong các thí nghiệm sau.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Sở KH-CN TP.HCM cho nghiên cứu này. (Hợp đồng số 32/2022/HĐ-QKHCN ngày 12/10/2022).

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Watanabe *et al.*, "Improvement of mechanical properties of ferritic stainless steel weld metal by ultrasonic vibration". *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 210, no. 12. pp. 1646-1651, 2010.
- [2] Q.J. Sun *et al.*, "Penetration increase of AISI 304 using ultrasonic assisted tungsten inert gas welding". *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 14, no. 8. pp. 765-767, 2013.
- [3] S. Aoki *et al.*, "Analytical Method for Reduction of Residual Stress Using Low Frequency and Ultrasonic Vibrations". *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*. vol. 6, no. 6, pp. 742-749, 2012.
- [4] Y. Y. Fan *et al.*, "Research on short circuiting transfer mode of ultrasonic assisted GMAW method". *Science and Technology of Welding and Joining*. vol. 17, no. 3, pp. 186-191, 2013.
- [5] C. Liu *et al.*, "Effects of ultrasonic impact treatment on weld microstructure, hardness, and residual stress". *Materials Science and Technology*. vol. 33, no. 14, pp. 1601-1609, 2017.
- [6] Q. Chen *et al.*, "Study on Pores in Ultrasonic-Assisted TIG Weld of Aluminum Alloy". *Metals*. vol. 7, no. 2. pp. 53, 2017. <https://doi.org/10.3390/met7020053>
- [7] X. Cai *et al.*, "Characteristics of Periodic Ultrasonic Assisted TIG Welding for 2219 Aluminum Alloys". *Materials (Basel)*. vol. 12, no. 24, pp. 4081, 2019.
- [8] V.T.-T. Chung *et al.*, "Penetration and microstructure of steel joints by ultrasonic-assisted gas metal arc welding". *Japanese Journal of Applied Physics*. vol. 61, no. 4, 2022. DOI:10.35848/1347-4065/ac4d44
- [9] A. Krajewski *et al.*, "Ultrasonic-vibration assisted arc-welding of aluminum alloys". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. vol. 60, no. 4, pp. 841-852, 2012.