

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÁY HÀN ỐNG

RESEARCH ON THE FABRICATION OF A PIPE WELDING MACHINE

Hoàng Văn Hương, Lê Văn Tú, Trương Đình Trí, Hà Minh Đức, Huỳnh Đỗ Song Toàn*

Khoa Cơ khí Chế tạo máy, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

Email: huonghv@hcmute.edu.vn;

18144203@student.hcmute.edu.vn;

18144193@student.hcmute.edu.vn;

18144087@student.hcmute.edu.vn;

*toanhds@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày quá trình thiết kế, chế tạo và thử nghiệm máy hàn ống tự động nhằm nâng cao chất lượng và tính ổn định của mối hàn trong điều kiện sản xuất thực tế. Trong quá trình thực nghiệm, các thông số như lưu lượng khí bảo vệ, chiều dài hồ quang, tốc độ và chu kỳ xung hàn được giữ cố định, chỉ thay đổi biến dòng điện hàn để đánh giá ảnh hưởng của nó đến hình dạng và chất lượng mối hàn. Kết quả cho thấy, khi dòng điện thấp (74-84 A), mối hàn không đạt độ ngấu cần thiết; khi dòng cao (94-100 A), độ ngấu tăng nhưng xuất hiện hiện tượng cháy cạnh và biến dạng phôi. Dải dòng trung bình từ 86-92 A cho ra mối hàn có bề mặt mịn, độ ngấu đạt yêu cầu và vảy hàn đồng đều. Kết quả này xác định được khoảng giá trị dòng điện tối ưu, đồng thời chứng minh tính khả thi của hệ thống máy hàn ống tự động trong việc đảm bảo tính ổn định, thẩm mỹ và độ bền cơ học của mối hàn.

Từ khóa: Máy hàn ống; Hàn hồ quang; Dòng điện hàn; Độ ngấu; Mối hàn tối ưu; Tự động hóa quá trình hàn.

ABSTRACT

This study presents the design, fabrication, and experimental evaluation of an automatic pipe welding machine aimed at improving weld quality and process stability under practical manufacturing conditions. During the experiments, key parameters such as shielding gas flow rate, arc length, welding speed, and pulse cycle were kept constant, while the welding current was varied to assess its influence on weld geometry and quality. The results indicate that at low current levels (74-84 A), the weld penetration was insufficient, while at high current levels (94-100 A), excessive penetration and edge burning occurred. The medium current range of 86-92 A produced the most desirable welds with smooth surfaces, uniform bead formation, and adequate penetration. These findings identify the optimal current range for achieving high-quality pipe welds and demonstrate the effectiveness of the developed automatic pipe welding system in ensuring stability, aesthetics, and mechanical integrity of the welded joints.

Keywords: Pipe welding machine; Arc welding; Welding current; Weld penetration; Optimal weld; Welding automation.

1. TỔNG QUAN

Trong ngành cơ khí chế tạo, công nghệ hàn đóng vai trò hết sức quan trọng, được xem là một trong những phương pháp liên kết kim loại chủ yếu trong chế tạo và sửa chữa sản phẩm cơ khí. Quá trình hàn cho phép kết nối vĩnh viễn các chi tiết bằng cách nung nóng kim loại đến trạng thái nóng chảy hoặc dẻo, nhờ đó tạo thành liên kết có cường độ cơ học cao [1]. Nhờ những ưu điểm như độ bền mối hàn lớn, tiết kiệm vật liệu, khả năng tạo hình linh hoạt và thích ứng với nhiều loại vật liệu, công nghệ hàn đã được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như chế tạo kết cấu thép, sản xuất bình chịu áp lực, chế tạo nồi hơi, đóng tàu, chế tạo phương tiện giao thông, và đặc biệt là sản xuất, lắp đặt hệ thống đường ống trong công nghiệp [2, 3].

(*) Vai trò của hàn ống trong công nghiệp

Trong các ngành công nghiệp dầu khí, năng lượng, hóa chất, thực phẩm và xử lý nước, hệ thống đường ống đóng vai trò thiết yếu trong việc vận chuyển chất lỏng, khí hoặc hơi dưới áp suất cao. Chất lượng mối hàn quyết định trực tiếp đến độ kín, độ bền và tuổi thọ của hệ thống ống. Mối hàn kém chất lượng có thể dẫn đến rò rỉ, hư hỏng thiết bị, gây mất an toàn và thiệt hại lớn về kinh tế [4, 5]. Do đó, việc đảm bảo chất lượng hàn ống là yêu cầu then chốt trong thiết kế, chế tạo và bảo dưỡng các hệ thống dẫn.

Tùy theo loại vật liệu và yêu cầu kỹ thuật, quá trình hàn ống có thể được thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau như hàn hồ quang tay (SMAW), hàn TIG (GTAW), hàn MIG/MAG (GMAW), hàn plasma (PAW) hoặc hàn laser [6]. Mỗi phương pháp có ưu, nhược điểm riêng: hàn TIG cho chất lượng mối hàn cao nhưng năng suất thấp; hàn MIG/MAG có

năng suất cao hơn nhưng yêu cầu điều khiển chính xác dòng khí bảo vệ; hàn hồ quang tay dễ triển khai nhưng phụ thuộc nhiều vào kỹ năng thợ hàn. Trong sản xuất công nghiệp hàng loạt, việc duy trì chất lượng ổn định giữa các mối hàn do con người thực hiện là rất khó khăn, đặc biệt khi yêu cầu cao về thẩm mỹ, độ đồng nhất và độ kín khít [7].

(*) Xu hướng cơ giới hóa và tự động hóa quá trình hàn ống

Cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, xu hướng cơ giới hóa và tự động hóa trong hàn đang trở thành một hướng phát triển tất yếu. Các hệ thống máy hàn ống tự động đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia công nghiệp phát triển, đặc biệt trong các lĩnh vực yêu cầu độ chính xác cao như năng lượng hạt nhân, dầu khí ngoài khơi và chế tạo thiết bị áp lực [8]. So với hàn thủ công, máy hàn tự động giúp kiểm soát chính xác tốc độ di chuyển đầu hàn, tốc độ quay ống, dòng điện và điện áp hàn, đồng thời giảm thiểu sai số do yếu tố con người. Điều này mang lại sự đồng nhất về chất lượng mối hàn, nâng cao năng suất và giảm chi phí nhân công trong dài hạn.

Một số nghiên cứu gần đây đã tập trung vào việc thiết kế hệ thống hàn ống tự động dựa trên các bộ điều khiển vi xử lý như Arduino, PLC, hoặc Raspberry Pi, cho phép điều chỉnh linh hoạt thông số hàn theo từng loại vật liệu [9]. Ngoài ra, các hệ thống này có thể tích hợp cảm biến nhiệt, cảm biến vị trí, hoặc camera để giám sát quá trình hàn theo thời gian thực, nhờ đó phát hiện sớm các sai lệch về hồ quang hoặc biến dạng nhiệt. Ở một số mô hình tiên tiến, cơ cấu gá kẹp ống được thiết kế sao cho có thể xoay tròn 360°, giúp duy trì vị trí mỏ hàn cố định và thuận lợi trong điều khiển [10].



(*) Tình hình nghiên cứu và chế tạo trong nước

Tại Việt Nam, mặc dù công nghệ hàn đã được ứng dụng rộng rãi trong sản xuất, nhưng các thiết bị hàn ống tự động vẫn chủ yếu được nhập khẩu, có giá thành cao và khó bảo trì. Các trường đại học, viện nghiên cứu và doanh nghiệp trong nước mới chỉ dừng lại ở mức chế tạo các mô hình thử nghiệm hoặc thiết bị bán tự động phục vụ mục đích đào tạo và nghiên cứu. Một số công trình đã nghiên cứu việc sử dụng vi điều khiển để điều chỉnh tốc độ quay của động cơ, tự động hóa chuyển động đầu hàn theo quỹ đạo định trước, và đồng bộ giữa tốc độ cấp dây và dòng điện hàn, đạt kết quả khả quan về độ ổn định mỗi hàn [9, 10]. Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu hoàn thiện một máy hàn ống có khả năng hoạt động ổn định, linh hoạt và dễ vận hành vẫn còn hạn chế.

Bên cạnh đó, trong điều kiện sản xuất tại các xưởng cơ khí vừa và nhỏ, yêu cầu về thiết bị không chỉ là tự động hóa mà còn phải đơn giản, dễ bảo trì, chi phí thấp và phù hợp với điều kiện kỹ thuật trong nước. Do đó, việc nghiên cứu chế tạo một máy hàn ống tự động với thiết kế gọn nhẹ, dễ sử dụng, có khả năng điều chỉnh các thông số hàn linh hoạt là hướng đi có tính thực tiễn cao, phục vụ tốt cho cả công tác giảng dạy, thực hành và sản xuất thực tế.

Trên cơ sở đó, đề tài “Nghiên cứu chế tạo máy hàn ống” được thực hiện với mục tiêu thiết kế, chế tạo và thử nghiệm một mô hình máy hàn ống tự động có khả năng thực hiện quá trình hàn hồ quang kim loại (MIG/TIG) cho các loại ống thép và inox với đường kính nhỏ đến trung bình. Hệ thống được tích hợp cơ cấu quay ống chủ động, cơ cấu giữ mỏ hàn cố định, bộ điều khiển điều chỉnh tốc độ quay và dòng hàn, đồng thời có thể mở rộng sang các ứng dụng

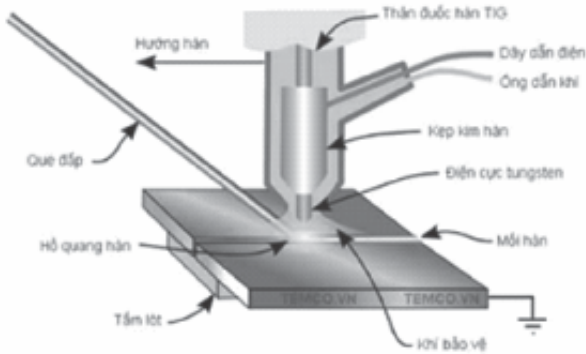
hàn ống có kích thước và vật liệu khác nhau. Việc hoàn thiện mô hình không chỉ góp phần nâng cao năng lực thiết kế – chế tạo trong lĩnh vực tự động hóa quá trình hàn mà còn là cơ sở để triển khai các nghiên cứu nâng cao như điều khiển phản hồi, giám sát hồ quang bằng camera, hoặc ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong điều chỉnh thông số hàn tối ưu.

Nghiên cứu này mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn rõ rệt: (i) góp phần bổ sung dữ liệu nghiên cứu trong lĩnh vực thiết kế máy hàn ống tự động, (ii) phục vụ đào tạo sinh viên và kỹ sư cơ khí về công nghệ hàn và điều khiển tự động, (iii) mở ra khả năng thương mại hóa trong sản xuất quy mô nhỏ, giảm sự phụ thuộc vào thiết bị nhập khẩu, và (iv) hướng đến xây dựng các giải pháp “made in Vietnam” có chi phí cạnh tranh và tính linh hoạt cao.

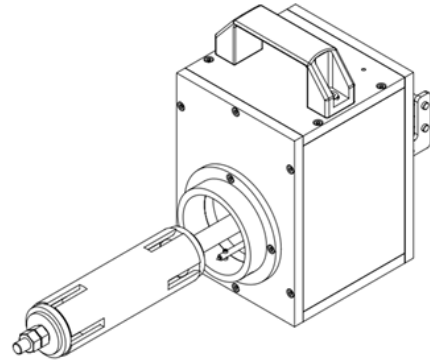
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Nguyên lý về hàn TIG

Hàn TIG (Tungsten Inert Gas) còn có tên gọi khác là hàn hồ quang tungsten trong môi trường khí – GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) thường được gọi với tên hàn argon hoặc WIG (Wolfram Inert Gas). Hồ quang cháy giữa điện cực tungsten không nóng chảy và chi tiết hàn được bảo vệ bởi dòng khí trơ (Argon hoặc Argon + Helium) thổi qua mỏ phun, sẽ cung cấp nhiệt làm nóng chảy mép chi tiết, sau đó có hoặc không dùng que đắp tạo nên mối hàn. Kim loại đắp (que hàn có đường kính $\varnothing 0,8$ mm đến $\varnothing 4,0$ mm) được bổ sung vào vùng chảy bằng tay hoặc nhờ thiết bị tự động khi dùng dây cuộn (cuộn dây có đường kính từ $\varnothing 0,8$ mm đến $\varnothing 2,0$ mm). Vùng chảy được bảo vệ bằng dòng khí trơ (lưu lượng 5 đến 25 lít/phút) Argon hoặc Argon + Helium, khi hàn tự động có thể dùng Argon + H_2 .



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của phương pháp hàn TIG



Hình 2. Mô hình máy hàn sơ bộ.

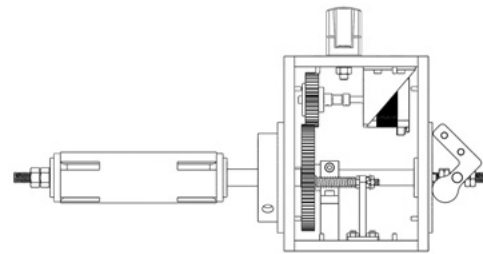
2.2. Ứng dụng của hàn TIG trong đời sống

Phương pháp hàn TIG được áp dụng trong nhiều lĩnh vực sản xuất, đặc biệt rất thích hợp trong hàn thép hợp kim cao, kim loại màu và hợp kim của chúng... Thường được sử dụng trong quá trình phục chế, sửa chữa các chi tiết bị hỏng, đặc biệt là các chi tiết làm bằng nhôm và magie. Sử dụng hàn các tấm mỏng, ống thành mỏng trong ngành công nghiệp xe đạp. Hàn TIG đặc biệt áp dụng trong chi tiết hàn khó, yêu cầu mối hàn cao như là các góc nhỏ khó hàn trong các chi tiết máy, vỏ máy photo, máy lạnh, máy điều hòa, các loại máy trong bệnh viện như máy X-Quang, máy chiếu... Ứng dụng nhiều trong công nghệ hàn tàu, hàn ống tàu, hàn ống dẫn ga, dẫn dầu...

3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH CƠ KHÍ

3.1. Thiết kế phần cơ khí (Hình 2 và 3)

Để đáp ứng các yêu cầu thiết kế ban đầu của đề tài, nhóm đã lên phương án thiết kế với các cơ cấu cơ khí bao gồm: Cụm vỏ hộp, cụm động cơ, thiết kế bánh răng, thiết kế trục chính, cụm siết, cụm trục chính, nguyên lý định vị, cụm nắp hộp, cụm tiếp điểm, các bộ phận khác.



Hình 3. Cấu tạo bên trong máy hàn.

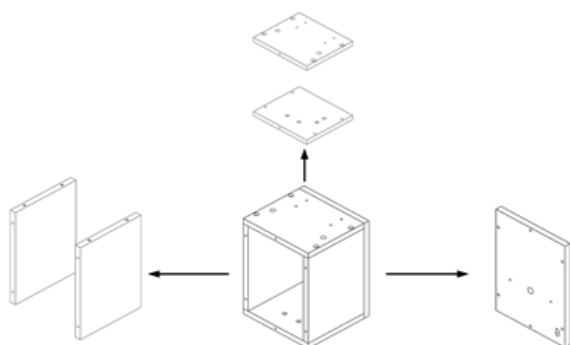
3.2. Cụm vỏ hộp (Hình 4)

Vỏ hộp là một bộ phận vô cùng quan trọng, dùng để gắn kết và bảo vệ các cơ cấu bộ phận bên trong. Do đó, vỏ hộp phải đảm bảo được độ bền và hình dáng đơn giản. Không những vậy, vỏ hộp phải cách điện và có độ chịu nhiệt tốt vì khi hàn máy hàn sinh ra nhiệt rất lớn. Vì vậy, nhóm đã quyết định chọn Mica làm vật liệu để làm vỏ hộp. Việc chọn vật liệu Mica để làm vỏ hộp mang lại khá nhiều lợi ích:

- Mica tính chất bóng đều óng ánh, bề mặt phẳng mịn, sáng bóng, nên sẽ tăng tính thẩm mỹ cho vỏ hộp và có thể quan sát được các bộ phận bên trong máy.
- Mica có đặc tính dẻo nên dễ dàng gia công lắp ghép, uốn, ép theo ý muốn.
- Chịu được nhiệt độ cao, chống ăn mòn.
- Không dẫn điện, nhiệt.
- Giá thành thấp.



- Mica có tỉ trọng chỉ bằng $\frac{1}{2}$ so với thủy tinh, và cho khoảng 98% ánh sáng xuyên qua nó (đối với mica có độ dày 3mm). Nó bị đốt cháy ở 460 °C (860 °F).



Hình 4. Cụm vỏ hộp

3.3. Cụm động cơ

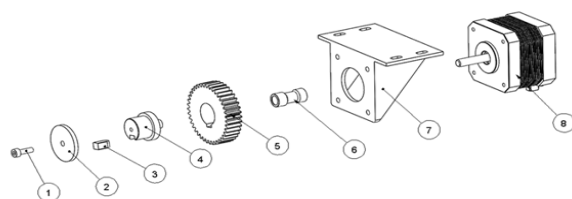
Chuyển động chủ yếu của máy hàn là chuyển động xoay tròn và chúng ta có thể tùy chỉnh được tốc độ, góc quay của điện cực để cho ra mỗi hàn ổn định. Do đó, động cơ phù hợp nhất với những yêu cầu trên là động cơ bước.

Vì cơ cấu máy hàn không có cơ cấu làm việc và động cơ cũng không chịu tải lớn nên nhóm quyết định chọn động cơ bước vừa phải và nhỏ gọn là động cơ Step motor NEMA 17.

*Thông số kỹ thuật của động cơ:

- Kích thước: 42×42×38 mm.
- Đường kính trục: 5mm. Đầu trục vát phẳng, giúp puli/khớp nối không đỡ bị lỏng khi hoạt động.
- Cường độ định mức 1.5A, góc quay mỗi bước 1.8°.
- Động cơ gồm có 2 cực.
- Mô-men xoắn: 400 Nmm.
- Quán tính: 57g-cm².
- Trọng lượng: 300gr.

- Công suất phù hợp cho máy in 3D và CNC mini.
- Ít tỏa nhiệt, chuyển động êm.



Hình 5. Cụm động cơ sau khi phân rã.

Động cơ bước là một bộ phận rất quan trọng, quyết định đến toàn bộ cơ cấu chuyển động của máy. Nó có tác dụng truyền chuyển động xoay tròn đến bộ truyền bánh răng, làm cho bộ truyền bánh răng hoạt động và máy sẽ hoạt động.

Để liên kết bộ truyền bánh răng với động cơ, ta sẽ liên kết bánh răng nhỏ với động cơ bước bằng phương pháp nối trục. Ta sẽ nối trục động cơ bước với bánh răng nhỏ thông qua một khớp nối trục bằng kim loại (Hình 5).

3.4. Thiết kế bánh răng (Hình 6)

Bộ phận truyền động là một phần rất quan trọng của bộ máy, nhiệm vụ là truyền và biến đổi tốc độ cho phù hợp với tốc độ của các bộ phận trong máy.

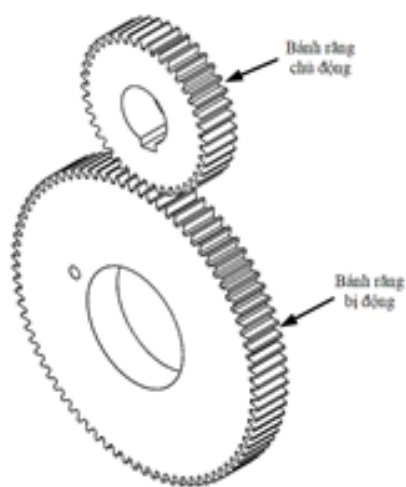
Chuyển động chủ yếu của máy hàn là chuyển động xoay tròn và chúng ta có thể tùy chỉnh được tốc độ, góc quay của điện cực để cho ra mỗi hàn ổn định. Vì thế, nhóm quyết định chọn bộ truyền bánh răng trụ thẳng làm bộ phận truyền động của máy hàn.

Vì những ưu điểm của bộ truyền này:

- Có kích thước nhỏ gọn, khả năng truyền lực lớn.

- Độ bền cao.
- Dễ dàng thay thế cũng như lắp đặt trong hệ thống máy móc.
- Hiệu suất làm việc của bánh răng trụ thẳng cao đạt từ 97% đến 99%.
- Tỷ số truyền luôn không đổi và kết hợp nhiều bộ bánh răng trụ thẳng tạo ra nhiều tỷ số truyền.

Vật liệu của bánh răng trụ thẳng nhóm chọn là thép C45 vì những ưu điểm sau: Do có độ bền kéo từ 570-690Mpa, thép C45 có khả năng chống bào mòn, chống oxy hóa tốt và chịu được tải trọng cao. Tính đàn hồi tốt, khả năng chịu được va đập mạnh của thép C45 cũng được thể hiện bởi độ bền kéo và giới hạn chảy cao. Vật liệu dễ tìm kiếm trên thị trường, giá thành cũng vừa phải.



Hình 6. Cặp bánh răng trụ thẳng

4. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

4.1. Chuẩn bị máy hàn với khí Argon

- Máy hàn TIG mà nhóm sử dụng trong đề tài này là máy hàn LIN COLNZONTER TIG-200 W120 bao gồm cả hàn TIG và hàn que.

- Nhóm sử dụng khí bảo vệ là khí Argon được trữ trong các bình khí Argon có dung tích 40 lít.

- Nhóm đã dùng phương pháp cắt laser để cắt ra hai tấm phôi inox 201, dày 3 mm có dạng hình chữ nhật và khoét các lỗ có đường kính 42.9 mm và 10.5 mm để gá các phôi ống và bulong M10.

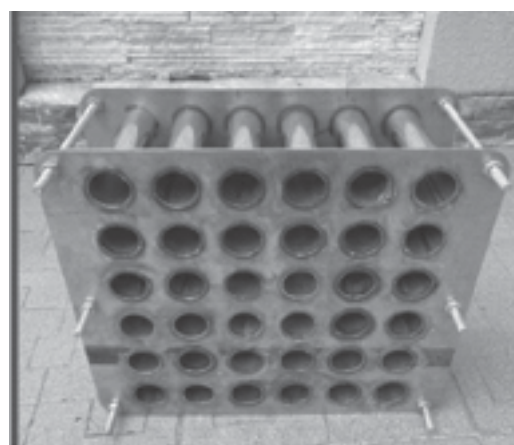
- Nhóm đã cắt nhỏ các phôi ống Ø42.7, inox 201, dày 1,5 mm thành từng đoạn nhỏ có chiều dài 16 cm.

Ta tiến hành lắp ráp theo các bước sau:

- Lắp hai tấm inox lại với nhau bằng các bulong và đai ốc M10 để cho cứng vững và vuông góc với mặt đất.

- Sau đó, ta sẽ gá hết các phôi ống lên cả hai tấm inox.

- Cuối cùng, ta sẽ tăng, giảm khoảng cách hai tấm inox để cho mặt đầu của ống và tấm inox là bằng nhau.



Hình 7. Bộ phôi hoàn chỉnh

- (*) Thông số hàn: Trong nghiên cứu này, các thông số hàn sẽ được tiến hành như Bảng 1.



Bảng 1. Thông số hàn

Bề dày (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Đường kính điện cực (mm)	1.6	1.6	2.4	2.4	3.2	3.2
Dòng điện hàn (A)	80÷120	100÷160	120÷200	150÷250	200÷350	225÷375
Điện áp hàn (V)	12	12	12	12	12	12
Đường kính dây hàn (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Tốc độ hàn min (mm)	250	250	250	200	200	200
Đường kính mỏ phun (mm)	9.5	9.5	9.5	9.5	12.5	12.5
Lưu lượng khí bảo vệ min (lít)	10	10	10	10	12	12

4.2. Kết quả thử nghiệm

Trong thí nghiệm này, các thông số hàn được cố định bao gồm lưu lượng khí bảo vệ, chiều dài hồ quang, chu kỳ xung hàn và tốc độ hàn, chỉ thay đổi biến dòng điện hàn nhằm khảo sát ảnh hưởng của cường độ dòng đến hình dạng và chất lượng mối hàn ống.

Khi dòng điện hàn nằm trong khoảng 74 A – 84 A, tiết diện ngang của mối hàn cho thấy dạng phẳng và hơi dẹt, bề mặt mối hàn không mịn, vảy hàn phân bố đều nhưng độ ngẫu thấp, kim loại nóng chảy không thâm nhập đủ vào thành ống. Hiện tượng này xuất phát từ năng lượng cung cấp không đủ để duy trì vùng hồ quang ổn định, khiến quá trình chảy loãng kim loại hạn chế và dẫn đến liên kết yếu.

Khi dòng điện tăng lên khoảng 86 A – 92 A, hình dạng mối hàn được cải thiện đáng kể. Bề mặt mối hàn trở nên mịn và lồi nhẹ, vảy hàn phân bố đồng đều, đường hàn ổn định hơn, độ ngẫu đạt mức vừa đủ để đảm bảo độ bền liên kết. Tuy nhiên, ở một số mẫu, hiện tượng cháy cạnh nhẹ có thể xuất hiện do nhiệt tập trung cục bộ khi hồ quang di chuyển chậm. Mặc dù vậy, nhìn chung đây là dải dòng điện cho chất lượng hàn tốt nhất về cả thẩm mỹ lẫn độ bền.



Hình 8. Liên kết chưa hàn



Hình 9. Liên kết sau hàn

Khi dòng điện tiếp tục tăng từ 94 A – 100 A, tiết diện ngang mối hàn trở nên rộng và lồi cao, bề mặt mối hàn vẫn mịn nhưng xuất hiện hiện tượng cháy cạnh rõ rệt hơn. Độ ngẫu tăng mạnh, thậm chí ở một số trường hợp có nguy cơ xuyên thủng thành ống. Điều này là do nhiệt năng hồ quang quá lớn trong khi tốc độ hàn của máy khá chậm, dẫn đến thời gian nung nóng dài và vùng ảnh hưởng nhiệt rộng, dễ gây biến dạng hoặc khuyết tật nóng chảy.

Ngoài ra, do chu kỳ hàn và thời gian nghỉ giữa các mối khá ngắn, khi sử dụng dòng điện thấp, kim loại không đủ thời gian để đạt đến nhiệt độ nóng chảy tối ưu, khiến mỗi hàn yếu. Ngược lại, khi dòng quá cao, năng lượng nhiệt dư thừa làm tăng nguy cơ hư hỏng phôi và giảm chất lượng tổng thể.

Từ các kết quả thực nghiệm, có thể kết luận rằng dải dòng điện từ 86 A đến 92 A cho ra mỗi hàn có hình dạng đồng đều, bề mặt mịn, độ ngấu đạt yêu cầu và ít khuyết tật nhất. Đây được xem là khoảng giá trị dòng điện tối ưu cho quá trình hàn ống với các thông số cố định nêu trên, đảm bảo cả tính cơ học và thẩm mỹ của mối hàn.

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy dòng điện hàn là yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến hình dạng, độ ngấu và chất lượng tổng thể của mối hàn ống. Khi các thông số khác được giữ cố định, việc thay đổi dòng điện trong khoảng 74 A – 100 A cho thấy sự khác biệt rõ rệt về tiết diện và tính ổn định của mối hàn. Ở mức dòng thấp (74 A – 84 A), độ ngấu yếu và bề mặt không mịn; ở mức cao (94 A – 100 A), mối hàn lồi, ngấu sâu nhưng dễ cháy cạnh hoặc thủng phôi. Dải dòng trung bình 86 A – 92 A cho kết quả tối ưu nhất với bề mặt mối hàn mịn, vảy đều, độ ngấu đạt yêu cầu và ít khuyết tật. Như vậy, khoảng dòng này được xác định là giá trị dòng điện hàn hợp lý cho máy hàn ống trong điều kiện thực nghiệm, đảm bảo đồng thời chất lượng cơ học, tính ổn định và hiệu quả gia công.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Huỳnh Đỗ Song Toàn;
- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài

báo: Hoàng Văn Hương, Lê Văn Tú, Trương Đình Trí, Hà Minh Đức, Huỳnh Đỗ Song Toàn.

(*) Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện và hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này (Mã số đề tài: T2024-24).❖

Ngày nhận bài: 16/10/2025

Ngày phản biện: 30/10/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Gao, Y., Zhao, H., & Zhang, H. (2003), “The application of automatic welding technology in West-to-East gas pipeline project”. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 22(1), 53-55.
- [2]. Wang, R., & Guo, R. J. (2011), “Developments of automatic girth welding technology in pipelines”. *Electrical Welding Machine*, 41(4), 53-55.
- [3]. Anxin, H., Su, X., & Huafeng, S. (2006), “Current situation of automatic welding of domestic long-distance pipelines”. *Natural Gas and Oil*, 24(6), 12-14.
- [4]. Li, H., Wei, T., & Ji, L. (2010), “High-grade line pipe and high-pressure transportation: Significant progress of oil and gas transportation pipeline technology in China”. *China Engineering Science*, 12(3), 84-90.
- [5]. Yapp, D., & Blackman, S. A. (2004), “Recent developments in high productivity pipeline welding”. *Brazilian Manufacturing Congress*, 26, 89-97.
- [6]. Yu, Z., Zhang, W., & Zhang, Z. (2012), “Development trend of China's gas pipeline and relevant technical problems”. *Oil & Gas Storage and Transportation*, 31(4), 321-325.
- [7]. Kim, R.-H., Choi, G.-D., Kim, C.-H., Cho, D.-W., & Na, S.-J. (2012), “Arc characteristics in pulse-GMA welding with acute groove angles”. *Welding Journal*, 91(4), 101-105.
- [8]. Kim, J. W. (1991), “A study on the analysis of weld pool convection and seam tracking by considering the arc length characteristics in GMA welding” (Doctoral dissertation, Korea Advanced Institute of Science and Technology [KAIST], Daejeon, Korea).
- [9]. Moon, H.-S., & Ko, S.-H. (2008, July 6-11), “Automatic pipeline welding system equipped with six welding carriages, laser vision sensor and arc sensor for offshore pipeline laying”. In *Proceedings of the ISOPE Conference (Vancouver, BC, Canada)*.
- [10]. Moon, H.-S., & Na, S. (1996), “A study on algorithm for seam tracking by considering weld defects in horizontal fillet welding”. *Korean Welding Society Journal*, 2(3), 139-141.