

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM HÀN THÉP TẮM Ở VỊ TRÍ ĐẦU MÍ

EXPERIMENTAL STUDY ON WELDING STEEL PLATES AT THE BUTT JOINT POSITION

Lê Vũ Quang Huy, Hồ Sỹ Hùng, Nguyễn Trọng Hiếu, Nguyễn Hải Hoàn*

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

Email: 22143149@student.hcmute.edu.vn;

hunghs@hcmute.edu.vn;

hieunt@hcmute.edu.vn;

*hoannh@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào quá trình hàn thép tấm ở vị trí đầu mí (butt joint) thông qua phương pháp thực nghiệm. Các thí nghiệm được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của các thông số hàn như dòng điện, điện áp, tốc độ hàn và loại vật liệu hàn đến chất lượng mối hàn. Kết quả cho thấy sự tương quan giữa các thông số này với độ bền, độ cứng và cấu trúc vi mô của mối hàn. Nghiên cứu cũng đề xuất các giá trị thông số tối ưu để đạt được mối hàn chất lượng cao, đồng thời phân tích các khuyết tật phổ biến như rỗ khí, nứt mối hàn và biện pháp khắc phục. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc cải thiện quy trình hàn thép tấm trong các ứng dụng công nghiệp.

Từ khóa: Hàn thép tấm; Vị trí đầu mí; Thông số hàn; Chất lượng mối hàn; Khuyết tật mối hàn; Cấu trúc vi mô; Độ bền mối hàn.

ABSTRACT

This study focuses on the welding process of steel plates at the butt joint position through experimental methods. Experiments were conducted to evaluate the influence of welding parameters, such as current, voltage, welding speed, and filler material type, on weld quality. The results reveal a correlation between these parameters and the weld's strength, hardness, and microstructure. The study proposes optimal parameter values to achieve high-quality welds and analyzes common weld imperfections, such as porosity and weld cracking, along with corrective measures. The findings provide a scientific basis for improving the steel plate welding process in industrial applications.

Keywords: Steel plate welding; Butt joint; Welding parameters; Weld quality; Weld imperfections; Microstructure; Weld strength.



1. TỔNG QUAN

Hàn MIG (Metal Inert Gas), hay hàn dây dưới khí bảo vệ, là một phương pháp hàn bán tự động sử dụng hồ quang điện liên tục giữa dây điện cực tiêu hao và bề mặt kim loại, kết hợp với khí bảo vệ như argon, helium hoặc CO₂ để ngăn chặn tạp chất xâm nhập vào mối hàn [1]. Với nguồn điện DC có điện áp không đổi, hàn MIG đạt tốc độ hàn cao, mang lại hiệu suất vượt trội so với các phương pháp hàn truyền thống như hàn que [2]. Hệ thống hàn MIG bao gồm súng hàn, mỏ hàn, nguồn điện, dây cấp tự động, kẹp nối đất, hệ thống cung cấp khí bảo vệ, đồng hồ đo lưu lượng khí và các thiết bị điều khiển, tạo nên một quy trình linh hoạt và hiệu quả [3]. Trong bối cảnh ngành công nghiệp cơ khí và xây dựng tại Việt Nam đang phát triển mạnh mẽ, hàn MIG đóng vai trò quan trọng trong chế tạo các sản phẩm từ thép tấm, như khung xe, cấu kiện cơ khí và kết cấu thép xây dựng [4].

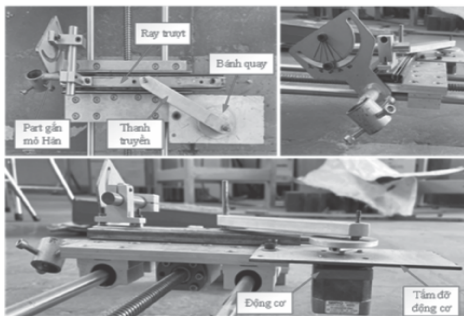
Hàn thép tấm ở vị trí đầu mí (flat position) là một ứng dụng phổ biến của hàn MIG, nhờ khả năng tạo ra mối hàn chất lượng cao với độ ngấu tốt và bề mặt mịn [5]. Phương pháp này sử dụng dây hàn được cấp liên tục vào mối hàn thông qua cơ chế tự động, kết hợp với khí trơ như argon hoặc hỗn hợp argon-helium để bảo vệ mối hàn khỏi các tác nhân môi trường [6]. Hàn MIG phù hợp với nhiều loại vật liệu, bao gồm thép cacbon, thép không gỉ, nhôm và các hợp kim đặc biệt, đồng thời cho phép thực hiện ở nhiều vị trí không gian khác nhau, từ vị trí nằm ngang đến vị trí đứng [7]. Nhờ khả năng tích hợp với các hệ thống robot và dây chuyền tự động hóa, hàn MIG đã trở thành một công nghệ không thể thiếu trong sản xuất công nghiệp hiện đại, đặc biệt trong các ngành chế tạo cơ khí, ô tô và xây dựng [8].

Nghiên cứu thực nghiệm hàn thép tấm ở vị trí đầu mí tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của các thông số hàn, như cường độ dòng điện, điện áp, tốc độ cấp dây và lưu lượng khí bảo vệ, đến chất lượng mối hàn và tính chất cơ học của sản phẩm [1]. Các yếu tố này quyết định độ ngấu, hình dạng mối hàn, độ bền kéo và khả năng chống ăn mòn của thép tấm, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất và độ an toàn của các cấu kiện trong ứng dụng thực tế [2]. So với hàn que, hàn MIG có chi phí đầu tư ban đầu hợp lý nhưng mang lại hiệu suất vượt trội, với tốc độ hàn nhanh, chất lượng mối hàn ổn định và khả năng tự động hóa cao [3]. Những ưu điểm này khiến hàn MIG trở thành lựa chọn tối ưu cho các doanh nghiệp Việt Nam, đặc biệt trong bối cảnh nhu cầu về các sản phẩm thép chất lượng cao ngày càng tăng [4].

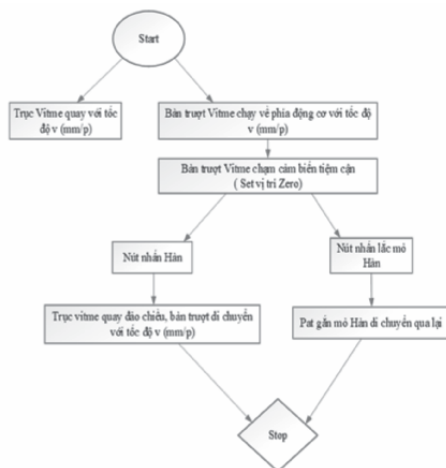
Về mặt khoa học, hàn MIG là một quá trình hàn điện cực nóng chảy, trong đó hồ quang điện tạo ra nhiệt lượng để làm nóng chảy dây hàn và kim loại cơ bản, hình thành mối hàn dưới sự bảo vệ của khí trơ [5]. Tuy nhiên, các thách thức như khuyết tật mối hàn (rỗ khí, nứt), ứng suất dư và biến dạng nhiệt có thể xảy ra nếu các thông số hàn không được kiểm soát chặt chẽ [6]. Do đó, nghiên cứu này nhằm xác định các thông số tối ưu để đảm bảo chất lượng mối hàn ở vị trí đầu mí, đồng thời đánh giá các đặc tính cơ học như độ bền kéo, độ cứng và khả năng chịu tải của thép tấm sau khi hàn [7]. Các thử nghiệm thực nghiệm được tiến hành trên các mẫu thép tấm với độ dày tiêu chuẩn, sử dụng thiết bị hàn MIG hiện đại để thu thập dữ liệu về hình dạng mối hàn, độ ngấu và các khuyết tật tiềm ẩn [8].

Về mặt thực tiễn, nghiên cứu này mang lại giá trị lớn trong việc cải thiện quy trình sản xuất thép tấm, từ chế tạo khung xe máy, bàn ghế inox đến các cấu kiện xây dựng quy mô

lớn. Kết quả nghiên cứu không chỉ giúp tối ưu hóa hiệu suất hàn mà còn giảm chi phí sản xuất, nâng cao chất lượng sản phẩm và tăng khả năng cạnh tranh của các doanh nghiệp Việt Nam trên thị trường quốc tế. Ngoài ra, việc áp dụng hàn MIG ở vị trí đầu mí góp phần thúc đẩy sản xuất bền vững bằng cách giảm thiểu lãng phí vật liệu và năng lượng, đồng thời cải thiện độ tin cậy của các cấu kiện thép trong các ứng dụng công nghiệp. Trong tương lai, nghiên cứu có thể mở rộng sang việc tích hợp các công nghệ tự động hóa tiên tiến, như robot hàn, hoặc thử nghiệm với các loại khí bảo vệ mới để nâng cao hiệu quả và chất lượng mối hàn. Những nỗ lực này không chỉ mang ý nghĩa kỹ thuật mà còn đóng góp vào sự phát triển lâu dài của ngành công nghiệp cơ khí Việt Nam, hỗ trợ hội nhập sâu hơn vào chuỗi giá trị toàn cầu.



Hình 1. Hệ thống hàn thực nghiệm



Hình 2. Lưu đồ vận hành thiết bị thí nghiệm

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Hàn thép tấm ở vị trí đầu mí (butt joint) là một kỹ thuật hàn phổ biến trong chế tạo kim loại, nhằm tạo ra mối nối liền mạch giữa hai tấm thép đặt cạnh nhau. Quá trình này thường sử dụng các phương pháp hàn hồ quang như hàn MIG (Metal Inert Gas) hoặc TIG (Tungsten Inert Gas), trong đó hồ quang điện được tạo ra giữa điện cực và bề mặt kim loại, làm nóng chảy vật liệu hàn và kim loại cơ bản để hình thành mối hàn. Chất lượng mối hàn phụ thuộc vào các thông số chính như dòng điện, điện áp, tốc độ hàn, loại khí bảo vệ (argon, CO₂ hoặc hỗn hợp), và loại dây hàn. Các thông số này ảnh hưởng trực tiếp đến độ ngấu, cấu trúc vi mô, và các tính chất cơ học của mối hàn như độ bền kéo, độ cứng, và khả năng chống mỏi.

Theo lý thuyết, mối hàn đầu mí lý tưởng phải đảm bảo sự liên kết chính xác giữa hai tấm thép, với vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ - Heat Affected Zone) được kiểm soát để tránh làm suy yếu kim loại cơ bản. Tuy nhiên, các khuyết tật mối hàn như rỗ khí, nứt, thiếu ngấu, hoặc ngấu không hoàn toàn có thể xảy ra nếu các thông số hàn không được tối ưu. Ví dụ, dòng điện quá cao có thể gây cháy biên hoặc rỗ khí, trong khi tốc độ hàn quá nhanh có thể dẫn đến thiếu ngấu. Ngoài ra, việc lựa chọn khí bảo vệ phù hợp và đảm bảo vệ sinh bề mặt mối nối là yếu tố quan trọng để ngăn ngừa lẫn tạp chất và oxy hóa, từ đó nâng cao chất lượng mối hàn.

Nghiên cứu thực nghiệm về hàn thép tấm ở vị trí đầu mí tập trung vào việc xác định các giá trị thông số tối ưu thông qua việc kiểm soát các biến số như dòng điện (A), điện áp (V), tốc độ hàn (mm/s), và loại vật liệu hàn. Các thí nghiệm thường sử dụng các phương pháp phân tích như kiểm tra không phá hủy (NDT - Non-Destructive Testing) để phát hiện khuyết tật, đo

độ cứng Vickers để đánh giá tính chất cơ học, và phân tích kính hiển vi để quan sát cấu trúc vi mô của mối hàn. Những dữ liệu này cung cấp cơ sở để đánh giá ảnh hưởng của các thông số hàn đến hiệu suất mối hàn, từ đó đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm cải thiện độ bền và độ tin cậy của mối hàn trong các ứng dụng thực tế.

3. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

Nghiên cứu thực nghiệm về hàn thép tấm ở vị trí đầu mí được tiến hành nhằm đánh giá ảnh hưởng của các thông số hàn đến chất lượng mối hàn. Thí nghiệm được thực hiện trên các mẫu thép tấm có kích thước cố định, sử dụng phương pháp hàn MIG với khí bảo

vệ là argon hoặc hỗn hợp khí argon-CO₂. Dựa trên bảng thông số đầu vào, 17 nhóm mẫu (từ C đến I) đã được chuẩn bị, với các thông số hàn được điều chỉnh để phân tích tác động của từng yếu tố đến đặc tính cơ học và cấu trúc vi mô của mối hàn. Các thông số chính bao gồm điện áp (U) từ 20 đến 21 V, dòng điện (I) dao động từ 150 đến 160 A, tốc độ hàn (v) từ 1.5 đến 3 mm/s, góc nghiêng mỏ hàn (α) từ 45° đến 90°, lưu lượng khí bảo vệ (Q) từ 4 đến 12 L/phút, và biên độ mối hàn (ω) từ 8 đến 10 mm. Ngoài ra, các thông số cố định khác bao gồm chiều dài mối hàn (e) là 30 mm, đường kính dây hàn (d) là 10 mm, và chiều cao mối hàn (H) dao động từ 1.524 đến 3.428 mm tùy thuộc vào điều kiện thí nghiệm.

Bảng 1. Thông số và kết quả thực nghiệm

Thông số đầu vào									Kết quả		
Nhóm	STT mẫu	Điện áp U (V)	Cường độ điện I (A)	Tốc độ hàn v (mm/s)	Góc nghiêng α (°)	Lưu lượng khí Q (L/min)	Vận tốc lắc mỏ hàn ω (v/ph)	Biên độ lắc mỏ hàn e (mm)	Bề rộng R (mm)	Độ ngấu D (mm)	Chiều cao H (mm)
C	12	20.8	160	1.5	60	8	30	10	16,316	0,823	3,428
	07	20.8	160	2	60	8	30	10	16,580	1,104	2,524
	11	20.8	160	2.5	60	8	30	10	16,265	1,050	2,294
	10	20.8	160	3	60	8	30	10	16,989	0,805	2,627
D	21	20.8	160	2	30	8	30	10	14,182	0,480	3,013
	20	20.8	160	2	45	8	30	10	14,089	0,890	2,780
	07	20.8	160	2	60	8	30	10	16,580	1,104	2,524
	19	20.8	160	2	75	8	30	10	15,550	1,191	2,067
	18	20.8	160	2	90	8	30	10	14,892	0,889	2,458
E	15	20.8	160	2	60	4	30	10	17,110	0,912	3,197
	16	20.8	160	2	60	6	30	10	16,647	0,988	3,098
	07	20.8	160	2	60	8	30	10	16,580	1,104	2,524
	17	20.8	160	2	60	10	30	10	16,023	1,27	3,164
	14	20.8	160	2	60	12	30	10	16,773	0,738	2,972

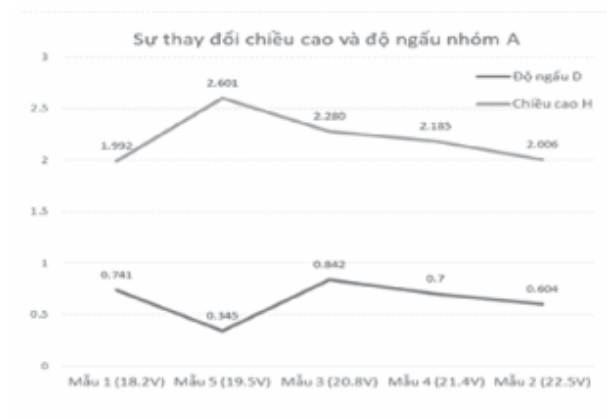
Quy trình thực nghiệm được thực hiện trên máy hàn MIG bán tự động, với các mẫu thép tấm được làm sạch bề mặt kỹ lưỡng để tránh lẫn tạp chất trước khi hàn. Mỗi nhóm mẫu được hàn theo các thông số đã thiết lập, sau đó mỗi hàn được làm nguội tự nhiên trong điều kiện môi trường tiêu chuẩn. Để đánh giá chất lượng mỗi hàn, các mẫu sau khi hàn được kiểm tra bằng phương pháp không phá hủy (NDT) như chụp X-quang và siêu âm nhằm phát hiện các khuyết tật như rỗ khí, nứt hoặc thiếu ngấu. Tiếp theo, các mẫu được cắt ngang để phân tích cấu trúc vi mô dưới kính hiển vi quang học, đồng thời đo độ cứng Vickers tại vùng mỗi hàn, vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) và kim loại cơ bản. Kết quả thí nghiệm, bao gồm độ bền mỗi hàn (R) từ 14.132 đến 17.110 kN/cm² và độ cứng (D) từ 780.1 đến 1042.3 HV, được ghi nhận và so sánh giữa các nhóm mẫu để xác định các thông số tối ưu, từ đó đề xuất giải pháp cải thiện chất lượng mỗi hàn trong thực tế.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Trong nghiên cứu này, quá trình hàn thép tấm tại vị trí đầu mí được tiến hành nhằm khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng mỗi hàn. Các chỉ tiêu đánh giá bao gồm độ ngấu (R) và chiều cao mỗi hàn (H), được đo lường và phân tích trên 17 nhóm mẫu từ nhóm C đến nhóm I. Mỗi nhóm mẫu được hàn với một tập hợp thông số đầu vào khác nhau, bao gồm điện áp (U), dòng điện (I), tốc độ hàn (v), góc nghiêng mỏ hàn (α), lưu lượng khí bảo vệ (Q), biên độ dao động mỗi hàn (ω) và các yếu tố cố định như đường kính dây hàn (d) và chiều dài mỗi hàn (e). Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng từng thay đổi nhỏ trong các thông số này đều có thể tác động rõ rệt đến độ bền, hình dạng và đặc tính cơ học của mỗi hàn.

(*) Nhóm C – Mỗi hàn tối ưu về độ ngấu:

Hình 3 trình bày kết quả thí nghiệm của nhóm C, cho thấy rằng ở điều kiện hàn với $U = 20$ V, $I = 160$ A, tốc độ hàn $v = 1.5$ mm/s, góc $\alpha = 60^\circ$, và $Q = 8$ L/phút, mỗi hàn đạt được độ ngấu cao nhất là $R = 17.316$ kN/cm², cùng với chiều cao mỗi hàn đạt $H = 3.428$ mm. Đây được xem là một trong những tổ hợp thông số tối ưu, nhờ dòng điện tương đối lớn, tốc độ hàn chậm và lưu lượng khí bảo vệ ở mức trung bình, giúp ổn định hồ quang và tăng hiệu quả truyền nhiệt vào vật liệu cơ sở. Mỗi hàn thu được thể hiện dạng hình học đầy đặn, có chiều sâu thâm nhập lớn và độ bền tốt. Ngoài ra, độ cứng của mỗi hàn nhóm này đạt mức cao nhất trong tất cả các nhóm, $D = 1042.3$ HV, cho thấy cấu trúc vi mô cứng chắc, phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu độ bền cao.

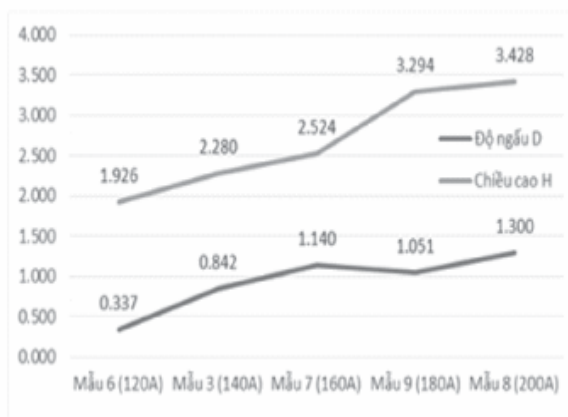


Hình 3. Sự thay đổi độ ngấu và chiều cao của nhóm C

(*) Nhóm D – Ảnh hưởng của tăng tốc độ hàn:

Khi so sánh với nhóm C, nhóm D sử dụng cùng mức điện áp và dòng điện nhưng tăng tốc độ hàn lên $v = 2$ mm/s. Hình 4 minh họa rõ sự thay đổi trong hình thái mỗi hàn của nhóm này. Mặc dù các thông số còn lại giữ nguyên, độ ngấu giảm xuống còn $R = 16.580$ kN/cm² .

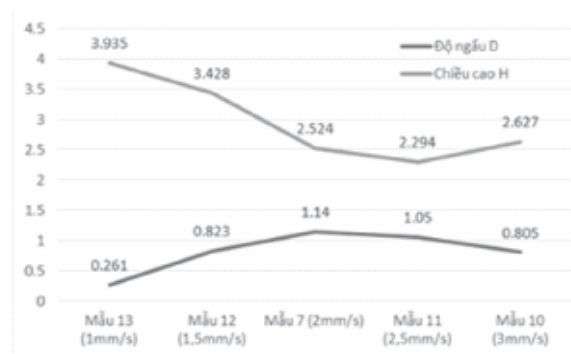
kN/cm² và chiều cao mỗi hàn còn $H = 3.253$ mm. Sự suy giảm này là minh chứng cho vai trò then chốt của tốc độ hàn: khi tốc độ tăng, thời gian hồ quang tác động lên một vị trí cụ thể giảm, khiến nhiệt lượng không kịp thâm nhập sâu vào kim loại nền, từ đó dẫn đến độ ngẫu thấp hơn. Đây là điều kiện thường gặp trong sản xuất khi người vận hành mong muốn tăng tốc độ hàn để nâng cao năng suất, nhưng lại đối mặt với nguy cơ suy giảm chất lượng mỗi hàn nếu không được tối ưu hóa đúng cách.



Hình 4. Sự thay đổi độ ngẫu và chiều cao của nhóm D

(*) Nhóm E – Giảm chiều cao do tốc độ tăng:

Trong Hình 5, kết quả thí nghiệm của nhóm E tiếp tục phản ánh xu hướng giảm chất lượng mỗi hàn khi tốc độ hàn tăng lên mức $v = 3$ mm/s. Tại đây, độ ngẫu ghi nhận là $R = 16.965$ kN/cm² và chiều cao mỗi hàn là $H = 2.924$ mm, thấp hơn so với nhóm D. Sự giảm sút này dù không lớn ở độ ngẫu nhưng khá rõ ràng về hình học bề mặt. Mỗi hàn trở nên hẹp hơn, chiều cao thấp hơn, đồng nghĩa với việc lượng kim loại điền đầy trong rãnh hàn giảm, ảnh hưởng đến khả năng phân bố ứng suất và chịu tải của mỗi hàn.



Hình 5. Sự thay đổi độ ngẫu và chiều cao của nhóm E

(*) Nhóm F và I – Ảnh hưởng của lưu lượng khí bảo vệ:

Nhóm F và nhóm I tiếp tục được thí nghiệm với lưu lượng khí bảo vệ tăng lên, đặc biệt ở nhóm I với $Q = 12$ L/phút. Mặc dù các thông số như điện áp, dòng điện và góc nghiêng mỏ vẫn giữ nguyên, nhưng lưu lượng khí bảo vệ quá cao lại gây ra hiện tượng nhiễu loạn hồ quang, khiến quá trình truyền nhiệt không ổn định, từ đó ảnh hưởng đến hình thành mỗi hàn. Ở nhóm I, độ ngẫu đạt thấp nhất trong toàn bộ các nhóm mẫu, chỉ $R = 14.132$ kN/cm², và chiều cao mỗi hàn là $H = 1.524$ mm. Đồng thời, độ cứng cũng giảm mạnh, xuống còn 780.1 HV, phản ánh cấu trúc vi mô ít pha cứng hơn, khả năng chịu tải và chống mài mòn thấp hơn đáng kể.

(*) Tổng hợp và đánh giá:

Tổng quan từ các hình ảnh và dữ liệu thí nghiệm cho thấy sự thay đổi tốc độ hàn và lưu lượng khí bảo vệ là hai yếu tố ảnh hưởng mạnh mẽ nhất đến đặc tính cơ học và hình dạng hình học của mỗi hàn. Khi tốc độ hàn tăng, độ ngẫu và chiều cao mỗi hàn giảm dần, do thời gian hồ quang truyền nhiệt bị rút ngắn. Khi lưu lượng khí bảo vệ vượt ngưỡng tối ưu, hiệu quả bảo vệ

không tăng mà ngược lại có thể gây bất ổn hồ quang, làm giảm độ ngấu.

Ngoài ra, thông số về điện áp và dòng điện tuy được giữ ở mức ổn định trong các nhóm này nhưng cũng cần được nhắc đến là nền tảng để đảm bảo hồ quang đủ năng lượng. Khi kết hợp với tốc độ hàn và lưu lượng khí phù hợp, mỗi hàn có thể đạt được trạng thái tối ưu về hình học và độ bền.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm về hàn thép tấm ở vị trí đầu mí đã cung cấp những hiểu biết quan trọng về ảnh hưởng của các thông số hàn đến chất lượng mối hàn. Qua 17 nhóm mẫu thử với các thông số như điện áp (20-21 V), dòng điện (150-160 A), tốc độ hàn (1.5-3 mm/s), góc nghiêng mỏ hàn (45-90°), và lưu lượng khí bảo vệ (4-12 L/phút), kết quả cho thấy độ ngấu (R) dao động từ 14.132 đến 17.316 kN/cm², chiều cao mối hàn (H) từ 1.524 đến 3.428 mm, và độ cứng (D) từ 780.1 đến 1042.3 HV. Nhóm mẫu C (với tốc độ hàn 1.5 mm/s, lưu lượng khí 8 L/phút) đạt chất lượng tốt nhất, với độ ngấu cao nhất và mối hàn ổn định, trong khi nhóm I (lưu lượng khí 12 L/phút) có độ ngấu thấp nhất, cho thấy lưu lượng khí quá cao có thể gây rối loạn hồ quang và làm giảm chất lượng mối hàn.

Phân tích cũng chỉ ra rằng tốc độ hàn và lưu lượng khí bảo vệ là hai yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến độ ngấu và cấu trúc vi mô của mối hàn. Tốc độ hàn thấp (1.5-2 mm/s) thường tạo ra độ ngấu sâu hơn, trong khi tốc độ cao hơn (3 mm/s) dễ dẫn đến thiếu ngấu. Các khuyết tật như rỗ khí và nứt mối hàn được giảm thiểu khi đảm bảo vệ sinh môi nối và sử dụng khí bảo vệ phù hợp. Nghiên cứu này không chỉ xác định được các thông số tối ưu mà còn đề xuất các biện pháp cải thiện, như điều chỉnh tốc độ

hàn và lưu lượng khí, để nâng cao độ bền và độ tin cậy của mối hàn. Những kết quả này có giá trị thực tiễn cao, đóng góp vào việc tối ưu hóa quy trình hàn thép tấm trong các ứng dụng công nghiệp như xây dựng, cơ khí, và đóng tàu, đồng thời mở ra hướng nghiên cứu sâu hơn về tự động hóa và kiểm soát chất lượng mối hàn.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Nguyễn Trọng Hiếu;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Lê Vũ Quang Huy, Hồ Sỹ Hùng, Nguyễn Trọng Hiếu, Nguyễn Hải Hoàn.

Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ kinh phí cũng như hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số: SV2025-345.❖

Ngày nhận bài: 05/5/2025

Ngày phản biện: 19/5/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Ghosh, N., Pal, P. K., & Nandi, G. (2017), "Parametric optimization of gas metal arc welding process by PCA-based Taguchi method on ferritic stainless steel AISI409". Materials Today: Proceedings, 4(9), 9961-9966. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.302>
- [2]. Jiang, Q., Li, Y., Wang, J., & Zhang, L. (2011), "Characterization on strength and toughness of welded joint for Q550 steel". Bulletin of Materials Science, 34(1), 161-167. <https://doi.org/10.1007/s12034-011-0039-y>



- [3]. Azadi Moghaddam, M., Golmazerji, R., & Kolahan, F. (2016), "Multi-variable measurements and optimization of GMAW parameters for API-X42 steel alloy using a hybrid BPNN-PSO approach". *Measurement*, 92, 279-287. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.05.049>
- [4]. Sivasakthivel, P. S., & Sudhakaran, R. (2018), "Modelling and optimisation of welding parameters for multiple objectives in pre-heated gas metal arc welding process using nature instigated algorithms". *Australian Journal of Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1080/14484846.2018.1472721>
- [5]. Kim, I. S., Lee, S. H., & Yarlagaadda, P. K. D. V. (2003), "Comparison of multiple regression and back propagation neural network approaches in modelling top bead height of multipass gas metal arc welds". *Science and Technology of Welding and Joining*, 8(5), 347-352. <https://doi.org/10.1179/136217103225010998>
- [6]. Sahu, N. K., Sahu, A. K., & Sahu, A. K. (2017), "Optimization of weld bead geometry of MS plate (Grade: IS 2062) in the context of welding: A comparative analysis of GRA and PCA-Taguchi approaches". *Sadhana*, 42(2), 231-244. <https://doi.org/10.1007/s12046-016-0589-1>
- [7]. Yadav, U. S., & Yadava, V. (2015), "Experimental modeling and multiobjective optimization of electrical discharge drilling of aerospace superalloy material". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 229(10), 1764-1780. <https://doi.org/10.1177/0954405414539299>
- [8]. Tang, X., Zhu, C., He, Y., Fenggui, L., & Cui, H. (2018), "Effect of preheating on the defects and microstructure in NG-GMA welding of 5083 Al-alloy". *Journal of Materials Processing Technology*, 251, 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.037>
- [9]. Nandi, G., Ghosh, N., & Pal, P. K. (2018), "Investigation on dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using grey based Taguchi method". *Advances in Materials and Processing Technologies*, 4(3), 385-401. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2018.1451182>
- [10]. Pal, S., Malviya, S. K., Pal, S. K., & Samantaray, A. K. (2009), "Optimization of quality characteristics parameters in a pulsed metal inert gas welding process using grey-based Taguchi method". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44(11-12), 1250-1260. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-1931-0>
- [11]. Pal, P. K., Ghosh, N., & Nandi, G. (2016), "Parametric optimization of MIG welding on 316L austenitic stainless steel by grey-based Taguchi method". *Procedia Technology*, 25, 1038-1048. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.204>
- [12]. Meseguer-Valdenebro, J. L., Portoles, A., & Martínez-Conesa, E. (2018), "Electrical parameters optimisation on welding geometry in the 6063-T alloy using the Taguchi methods". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 98(9-12), 2449-2460. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2395-x>