NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM QUY LUẬT BIẾN ĐỔI HÌNH HỌC MỐI HÀN MAG THEO GÓC NGHIÊNG MỎ HÀN

Ngô Ngọc Sơn; Đậu Tấn Cương
Khoa Cơ khí chế tạo, Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Vinh
Email: Ngosonktv@gmail.com; tancuongktv@gmail.com

Tóm tắt: *Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm quy luật biến đổi hình học mối hàn MAG khi thay đổi góc nghiêng mỏ hàn từ 60° đến 120°. Thí nghiệm được thực hiện bằng nguồn hàn Miller MigMatic 300 DX và dây hàn đặc Gemini GM-70S. Ba thông số hình học được đo gồm độ ngấu, chiều rộng và chiều cao mối hàn. Kết quả cho thấy khi góc nghiêng tăng từ 60° lên 120°, chiều rộng mối hàn giảm từ 8,2 xuống 7,1 mm, độ ngấu giảm tổng thể từ 3,6 xuống 2,7 mm, trong khi chiều cao tăng từ 2,1 lên 2,5 mm. Hồi quy tuyến tính mô tả cho thấy chiều rộng và chiều cao biến đổi gần tuyến tính theo góc, còn độ ngấu có dao động cục bộ tại 110°. Kết quả cung cấp cơ sở thực nghiệm để lựa chọn góc mỏ hàn trong thực hành, đào tạo kỹ năng hàn MAG và kiểm soát hình học mối hàn.*

Từ khóa*: hàn MAG; góc nghiêng mỏ hàn; hình học mối hàn; độ ngấu; đào tạo thực hành.*

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WELD GEOMETRY VARIATION WITH TORCH INCLINATION ANGLE IN MAG WELDING

Abstract: *This paper presents an experimental investigation of weld geometry variation in MAG welding when the torch inclination angle changes from 60° to 120°. Experiments were conducted using a Miller MigMatic 300 DX power source and Gemini GM-70S solid welding wire. Weld penetration, bead width and bead reinforcement height were measured. As the torch angle increased from 60° to 120°, bead width decreased from 8.2 to 7.1 mm and penetration generally decreased from 3.6 to 2.7 mm, whereas bead height increased from 2.1 to 2.5 mm. Descriptive linear regression indicates nearly linear trends for bead width and height, while penetration exhibits a local fluctuation at 110°. The results provide experimental evidence for torch-angle selection in MAG welding practice, skills training and weld-geometry control.*

Keywords: *MAG welding; torch inclination angle; weld geometry; penetration; practical training.*

Nhận bài: 17/08/2026 Phản biện: 17/09/2026 Duyệt đăng: 20/09/2026

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong hàn hồ quang kim loại trong môi trường khí bảo vệ hoạt tính (MAG), hình học mối hàn chịu ảnh hưởng đồng thời của chế độ điện, tốc độ cấp dây, tốc độ hàn, khí bảo vệ, chiều dài hồ quang, khoảng cách đầu tiếp điện - vật hàn và tư thế/góc đặt mỏ. Trong đào tạo thực hành, góc mỏ hàn là thông số thao tác có thể thay đổi trực tiếp trong quá trình di chuyển mỏ và có liên hệ với hướng tác dụng của hồ quang, sự phân bố nhiệt và chuyển động kim loại lỏng trong vũng hàn.

Đối với nguồn hàn Miller MigMatic 300/300 DX, tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất cho biết nguồn có công suất định mức 300 A tại 28 VDC (chu kỳ tải 35%), tốc độ cấp dây 1,3-26 m/phút và khả năng sử dụng dây thép đặc đường kính 0,6-1,2 mm; phiên bản DX có giao diện hiển thị số hỗ trợ thiết lập thông số. Dây GM-70S sử dụng trong nghiên cứu được ký hiệu ER70S-6; AWS A5.18/A5.18M quy định hệ thống phân loại đối với điện cực và que hàn thép cacbon dùng cho hàn hồ quang có khí bảo vệ.

Các nghiên cứu trước đã khảo sát ảnh hưởng của góc mỏ/điện cực đến hình học mối hàn MAG. Nguyễn Hồng Sơn (2018) nghiên cứu mối hàn giáp mối một lớp thép CT38 dày 3 mm trong miền góc 60°-90°, có phân tích hàn thuận và hàn nghịch. Ngô Ngọc Sơn (2025) khảo sát góc 60°-120° đối với thép cacbon thấp ở tư thế 1G, xem xét cả đặc trưng hình học và cơ tính. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này tập trung mô tả định lượng quy luật biến đổi của độ ngấu h, chiều rộng b và chiều cao c trên thép SS400 dày 5 mm trong một bộ chế độ công nghệ cố định, đồng thời khai thác kết quả làm dữ liệu trực quan phục vụ lựa chọn góc thao tác và giảng dạy thực hành hàn MAG. Phạm vi bài báo tập trung vào quy luật hình học; các chỉ tiêu cơ tính và tổ chức kim loại chưa được xem xét trong nghiên cứu này.

II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở khoa học và thiết bị, vật liệu thí nghiệm

2.1.1. Cơ sở khoa học

Trong hàn MAG, góc nghiêng mỏ hàn có liên hệ với hướng tác dụng của hồ quang, sự phân bố nhiệt và chuyển động kim loại lỏng trong vũng hàn; truyền nhiệt và dòng chảy vũng hàn có vai trò quan trọng đối với hình học mối hàn. Các nghiên

cứu thực nghiệm về MAG cũng cho thấy thay đổi góc mỏ/điện cực làm thay đổi các kích thước hình học của mối hàn trong những điều kiện khảo sát cụ thể. Vì vậy, khảo sát thực nghiệm mối quan hệ giữa góc nghiêng mỏ và chiều rộng, chiều cao, độ ngấu là cơ sở để mô tả quy luật hình học trong bộ điều kiện thí nghiệm và phục vụ lựa chọn thao tác, kiểm soát hình học và đào tạo thực hành.

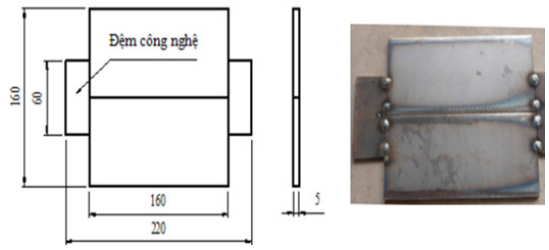
2.1.2. Thiết bị thí nghiệm

Thiết bị thực nghiệm sử dụng nguồn hàn Miller MigMatic 300 DX (Hình 1). Theo tài liệu kỹ thuật của Miller, MigMatic 300/300 DX có công suất định mức 300 A tại 28 VDC (chu kỳ tải 35%), tốc độ cấp dây 1,3-26 m/phút và sử dụng dây thép đặc đường kính 0,6-1,2 mm. Hình ảnh thiết bị thực tế cho thấy hệ thống nguồn hàn, bộ điều khiển và chai khí bảo vệ được bố trí đồng bộ cho quá trình MAG.



Hình 1. Nguồn máy hàn Miller MigMatic 300 DX và bảng điều khiển sử dụng trong thí nghiệm.

2.1.3. Vật liệu thí nghiệm



Hình 2. Kích thước phôi, đệm công nghệ và mẫu hàn thực tế.

- Vật liệu cơ bản

Vật liệu cơ bản sử dụng trong thực nghiệm là thép kết cấu thông dụng SS400 theo JIS G 3101, chiều dày 5 mm. Theo JIS G 3101:2020, đối với SS400, C, Si và Mn không được quy định thành giới hạn bắt buộc; hàm lượng P và S không vượt quá 0,050%. Với chiều dày 5 mm, giới hạn chảy tối thiểu là 245 MPa, giới hạn bền kéo 400-510 MPa và độ giãn dài tối thiểu 21% đối với mẫu thử. Các thông số này được sử dụng để mô tả vật liệu nền; nghiên cứu hiện tại không thực hiện thử cơ tính của chính lô thép dùng trong thí nghiệm.

- Vật liệu hàn- Dây hàn:

Vật liệu bổ sung là dây hàn Gemini GM-70S, ký hiệu ER70S-6, Ø0,8 mm (Hình 3). Theo AWS A5.18/A5.18M, ER70S-6 thuộc hệ phân loại điện cực thép cacbon dạng dây đặc dùng cho hàn hồ quang có khí bảo vệ. Thông tin về đường kính Ø0,8 mm và nhãn GM-70S được xác định từ sản phẩm thực tế sử dụng trong thí nghiệm.



Hình 3. Dây hàn Gemini GM-70S sử dụng trong thực nghiệm.

2.2. Thiết kế và tổ chức thực nghiệm

Phôi thực nghiệm sử dụng thép tấm SS400 dày 5 mm. Theo bản vẽ và ảnh mẫu, tấm chính có kích thước 160 × 160 mm; hai đệm công nghệ bố trí hai phía tạo cụm gá có kích thước tổng thể khoảng 220 mm theo phương ngang, phần đệm làm việc thể hiện kích thước 60 mm. Đệm công nghệ giúp ổn định bố trí mẫu và tạo điều kiện thực hiện các đường hàn với góc mỏ xác định. (Hình 2) thể hiện đồng thời sơ đồ kích thước và mẫu phôi hàn.

Biến khảo sát là góc nghiêng mỏ hàn α, gồm 7 mức: 60°, 70°, 80°, 90°, 100°, 110° và 120°. Các mẫu được hàn trong cùng một hệ thiết bị và sau đó cắt ngang tại vùng khảo sát để xác định hình dạng tiết diện. Ba đại lượng đo gồm: độ ngấu h - khoảng cách lớn nhất từ bề mặt kim loại cơ bản đến đáy vùng nóng chảy; chiều rộng b - bề rộng vùng kim loại hàn trên bề mặt; chiều cao c - phần nhô của kim loại hàn so với bề mặt mẫu.

Để tách ảnh hưởng của góc nghiêng mỏ hàn, các thông số công nghệ còn lại được giữ không đổi: vật liệu thép tấm SS400 dày 5mm; dây Gemini GM-70S (ER70S-6) đường kính 0,8mm; khí bảo vệ CO_2; dòng hàn 180A; điện áp 22V; tốc độ hàn 40 cm/phút; tốc độ cấp dây 3,8m/phút; lưu lượng khí 8L/phút và tầm với điện cực 10mm. Biến độc lập duy nhất trong loạt thí nghiệm là góc mỏ α ở 7 mức từ 60° đến 120°.

Bảng 1. Thiết bị, vật liệu và điều kiện thí nghiệm

Thông số	Giá trị/điều kiện	Ghi chú
Nguồn hàn	Miller MigMatic 300 DX	Thiết bị thực tế
Dây hàn	Gemini GM-70S, ER70S-6, Ø0,8 mm	Dây thép đặc
Khí bảo vệ	CO_2	Lưu lượng 8 L/phút
Vật liệu/chiều dày mẫu	Thép tấm SS400, dày 5 mm	Phôi thực nghiệm
Dòng điện - điện áp	180 A; 22 V	Giữ không đổi
Tốc độ hàn/cấp dây	40 cm/phút; 3,8 m/ph	Giữ không đổi
Góc mỏ α	60°; 70°; 80°; 90°; 100°; 110°; 120°	Biến khảo sát
Tầm với điện cực	10 mm	Giữ không đổi

2.3. Phương pháp đo và xử lý kết quả

Sau khi hàn, các mẫu được xác định ba thông số hình học gồm chiều rộng mối hàn b, chiều cao phần kim loại đắp c và chiều sâu ngấu h. Dụng cụ sử dụng gồm thước cặp cơ khí và dưỡng đo mối hàn cơ khí vạn năng (universal weld gauge).

Chiều rộng b được đo bằng thước cặp theo phương vuông góc với trục đường hàn, tại hai biên ngoài của mối hàn sau khi làm sạch bề mặt. Chiều cao c được xác định bằng dưỡng đo mối hàn, với mặt chuẩn của dưỡng đặt trên bề mặt kim loại cơ bản và đầu đo tiếp xúc tại vị trí cao nhất của phần kim loại đắp. Độ ngấu h được xác định trên tiết diện ngang của mẫu sau hàn, là khoảng cách từ bề mặt ban đầu của tấm đến điểm sâu nhất của biên nóng chảy theo phương chiều dày. Trước khi đo, dụng cụ được kiểm tra vị trí chuẩn và bề mặt mẫu được làm sạch nhằm giảm sai số thao tác. Do bộ dữ liệu hiện có chưa ghi nhận phép đo lặp độc lập và độ không đảm bảo đo, các giá trị được sử dụng cho phân tích mô tả.

Kết quả được tổng hợp tại 7 góc nghiêng mỏ α từ 60° đến 120°, bước 10°. Quan hệ giữa góc nghiêng và các thông số hình học được mô tả bằng hồi quy tuyến tính:

$y=a\alpha+b_0$

Trong đó y lần lượt là h, b, c; a là hệ số biến đổi và b0 là hệ số chặn. Hệ số R2 được sử dụng đánh giá mức độ phù hợp của xu hướng tuyến tính. Phương trình hồi quy chỉ nhằm mô tả xu hướng thực nghiệm trong miền khảo sát 60°–120°, không được xem là mô hình vật lý tổng quát của quá trình hàn MAG.

2.4. Kết quả và thảo luận

Việc đánh giá kết quả được thực hiện theo hướng mô tả thực nghiệm. Mỗi giá trị hình học được liên hệ trực tiếp với góc mỏ tương ứng, đồng thời so sánh mức biến thiên trên toàn miền khảo sát.

Trong hàn MAG, góc mỏ là một thông số thao tác có quan hệ với hướng của cột hồ quang và tác động lên vũng hàn. Các công trình thực nghiệm trước đây cũng đã khảo sát ảnh hưởng của góc mỏ/điện cực đến chiều rộng, chiều cao và độ ngấu của mối hàn MAG. Khi các thông số điện, tốc độ hàn, cấp dây, khí bảo vệ và tầm với điện cực được giữ ổn định, việc thay đổi góc mỏ trong nghiên cứu này cho phép mô tả riêng xu hướng biến đổi hình học theo quy ước góc của bộ mẫu. Do miền 60°-120° đi qua vị trí 90°, kết quả không được đồng nhất máy móc với mọi chế độ hàn đẩy hoặc hàn kéo trong các hệ thống khác.

2.4.1. Kết quả đo hình học mối hàn

Bảng 2. Kết quả đo các đặc trưng hình học mối hàn theo góc nghiêng mỏ.

TT	Góc α (°)	Độ ngấu h (mm)	Chiều rộng b (mm)	Chiều cao c (mm)
1	60	3,6	8,2	2,1
2	70	3,5	8,0	2,25
3	80	3,4	7,8	2,3
4	90	3,3	7,5	2,35
5	100	3,1	7,3	2,4
6	110	3,2	7,2	2,45
7	120	2,7	7,1	2,5

2.4.2. Ảnh hưởng của góc nghiêng đến chiều rộng và chiều cao

Chiều rộng mối hàn giảm liên tục từ 8,2 mm tại 60° xuống 7,1 mm tại 120°, tương ứng giảm khoảng 13,4%. Hồi quy tuyến tính từ bảy điểm thực nghiệm thu được phương trình $b = -0{,}0193\alpha + 9{,}321$, $R^2 = 0{,}975$. Hệ số góc âm cho thấy trong miền khảo sát 60°-120°, khi góc nghiêng mỏ tăng 10°, chiều rộng mối hàn giảm trung bình khoảng 0,193 mm. Giá trị $R^2 = 0{,}975$ cho thấy mô hình tuyến tính mô tả tốt xu hướng biến đổi của b trong bộ dữ liệu này; R^2 không được diễn giải như tỷ lệ nguyên nhân do góc mỏ gây ra.R^2

Ngược lại, chiều cao tăng từ 2,10 lên 2,50 mm, tương ứng tăng khoảng 19,0%. Hồi quy tuyến tính cho $c = 0{,}0061\alpha + 1{,}789$, $R^2 = 0{,}951$. Trong miền khảo sát, hệ số góc tương ứng mức tăng trung bình khoảng 0,061 mm cho mỗi 10°. Sự biến đổi ngược chiều giữa b và c cho thấy hình dạng kim loại đắp chuyển dần từ đường hàn rộng - thấp sang hẹp - cao hơn trong điều kiện thực nghiệm này.

2.4.3. Ảnh hưởng của góc nghiêng đến độ ngấu

Độ ngấu giảm tổng thể từ 3,6 mm ở 60° xuống 2,7 mm ở 120°, tức giảm khoảng 25,0%. Từ 60° đến 100°, h giảm 3,6 → 3,1 mm; tại 110° tăng nhẹ lên 3,2 mm trước khi giảm xuống 2,7 mm ở 120°. Hồi quy tuyến tính toàn miền cho $h = -0{,}0129\alpha + 4{,}414$, $R^2 = 0{,}862$. Do tồn tại dao động cục bộ và chưa có phép đo lặp để lượng hóa độ phân tán, phương trình này chỉ được sử dụng để mô tả xu hướng chung, không dùng để suy luận quan hệ nhân quả hoặc ngoại suy ngoài miền 60°-120°.

Về mặt công nghệ, thay đổi góc mỏ có thể làm thay đổi hướng tác dụng của hồ quang và điều kiện truyền nhiệt, dòng chảy kim loại lỏng trong vũng hàn; các cơ chế truyền nhiệt và dòng chảy này có liên hệ với hình học mối hàn. Các nghiên cứu MAG trước cũng ghi nhận sự thay đổi các kích thước mối hàn theo góc mỏ trong những bộ điều kiện cụ thể. Tuy nhiên, dữ liệu hiện tại không đo trực tiếp mật độ dòng nhiệt, áp lực hồ quang hay vận tốc dòng chảy vũng hàn; vì vậy cơ chế trên chỉ được dùng để giải thích định tính, không coi là bằng chứng trực tiếp.

Với chiều dày tấm 5 mm, độ ngấu đo được 2,7–3,6 mm tương ứng khoảng 54–72% chiều dày vật liệu. Trong khi đó, khi α tăng 60°→120°, b giảm 13,4% và c tăng 19,0%. Ba xu hướng đồng thời cho thấy thay đổi góc mỏ làm biến đổi đáng kể tỷ lệ b/c và đặc trưng tiết diện đường hàn.

2.4.4. Thảo luận về quy luật biến đổi hình học

Kết quả ở Bảng 2 cho thấy ba đại lượng hình học không biến đổi cùng chiều. Chiều rộng b giảm khá đều, chiều cao c tăng đều, còn độ ngấu h có xu hướng giảm nhưng xuất hiện một điểm tăng nhẹ ở 110°. Sự kết hợp này cho thấy góc mỏ không chỉ làm thay đổi một kích thước riêng lẻ mà làm thay đổi tỷ lệ hình dạng của tiết diện kim loại đắp. Xét trên góc độ công nghệ, đường hàn rộng và thấp khác với đường hàn hẹp và cao về khả năng phân bố kim loại, khả năng tạo hình bề mặt và mức độ thuận lợi khi bố trí các lớp hàn tiếp theo.

Đối với chiều rộng, hệ số góc âm của phương trình hồi quy cho thấy cứ tăng 10° trong miền khảo sát thì b giảm trung bình khoảng 0,193 mm. Đối với chiều cao, mức tăng trung bình tương ứng khoảng 0,061 mm cho mỗi 10°. Các hệ số này chỉ có ý nghĩa mô tả trong điều kiện thí nghiệm I = 180 A, U = 22 V, tốc độ hàn 40 cm/phút, tốc độ cấp dây 3,8 m/phút, CO_2 8 L/phút và tầm với điện cực 10 mm; không nên ngoại suy ra ngoài miền góc hoặc sang chế độ hàn khác khi chưa có kiểm chứng.

Độ ngấu nhạy hơn với biến động thực nghiệm. Giá trị 3,2 mm tại 110° cao hơn 0,1 mm so với 100°, trong khi xu hướng chung vẫn giảm về 2,7 mm tại 120°.

Một điểm đáng chú ý là tấm SS400 có chiều dày 5 mm, trong khi độ ngấu đo được chiếm khoảng 54–72% chiều dày. Kết quả này giúp người học nhận biết trực quan rằng hình dạng bề mặt đẹp chưa đủ để đánh giá mức độ nóng chảy theo chiều sâu. Khi dùng bộ mẫu làm học liệu thực hành, giảng viên có thể yêu cầu sinh viên dự đoán độ ngấu từ quan sát bề mặt, sau đó đối chiếu với tiết diện cắt ngang để hình thành kỹ năng đánh giá dựa trên bằng chứng đo lường.

2.5. Ý nghĩa đối với đào tạo và thực hành hàn MAG

Từ góc độ thiết bị giáo dục, hệ thống nguồn hàn, bộ gá, phôi mẫu và chuỗi tiết diện sau hàn có thể được tổ chức thành một mô-đun thực hành ngắn về mối quan hệ giữa thông số thao tác và chất lượng hình học. Mô-đun không đòi hỏi thiết bị đo phức tạp nhưng buộc người học thực hiện đầy đủ các bước: thiết lập chế độ, kiểm soát góc, quan sát hồ quang, chuẩn bị mẫu, đo tiết diện, xử lý số liệu và giải thích kết quả. Như vậy, kỹ thuật hàn không chỉ được sử dụng để rèn thao tác mà còn trở thành phương tiện tổ chức hoạt động nghiên cứu thực nghiệm.

Có thể triển khai bài thực hành theo bốn nhiệm vụ. Thứ nhất, sinh viên nhận diện các thông số phải giữ cố định và giải thích vì sao chỉ thay đổi α. Thứ hai, sinh viên thực hiện hoặc quan sát các mẫu theo bảy mức góc. Thứ ba, nhóm học đo h, b, c và lập bảng, đồ thị. Thứ tư, sinh viên thảo luận sự khác nhau giữa nhận xét bằng mắt và kết quả đo. Quy trình này hỗ trợ đồng thời năng lực vận hành thiết bị, đọc thông số, kiểm soát biến, xử lý dữ liệu và lập luận kỹ thuật.

Kết quả cũng có thể dùng làm bộ dữ liệu chuẩn ban đầu để giảng viên xây dựng câu hỏi tình huống. Ví dụ, khi yêu cầu ưu tiên đường hàn rộng hơn trong đúng điều kiện thí nghiệm, người học phải nhận ra xu hướng ở vùng góc nhỏ hơn; khi yêu cầu hạn chế chiều cao gờ, người học phải liên hệ với xu hướng tăng của c theo α. Tuy nhiên, các bài tập này cần nhấn mạnh rằng lựa chọn chế độ hàn thực tế còn phụ thuộc dạng liên kết, vị trí hàn, chiều dày, yêu cầu cơ tính và tiêu chuẩn chất lượng, tránh biến kết quả của một thí nghiệm thành quy tắc tuyệt đối.

Kết quả cho thấy góc nghiêng mỏ không nên được xem chỉ là yêu cầu về tư thế thao tác. Trong cùng miền khảo sát, thay đổi α đã làm thay đổi đồng thời cả ba kích thước hình học. Đây là cơ sở thuận lợi để thiết kế bài thực hành theo hướng người học tự thay đổi một biến công nghệ, đo tiết diện và lập đồ thị quan hệ góc - hình học thay vì chỉ đánh giá mối hàn bằng quan sát bề mặt.

Trong giảng dạy, có thể tổ chức chuỗi mẫu 60°-120° như một bộ mẫu trực quan: người học dự đoán xu hướng trước khi hàn, thực hiện dưới điều kiện được kiểm soát, đo h-b-c, sau đó so sánh với dữ liệu chuẩn. Cách tiếp cận này liên kết thiết bị hàn, kỹ năng điều khiển mỏ, đo lường kỹ thuật và tư duy thực nghiệm, phù hợp với mục tiêu phát triển năng lực thực hành trong đào tạo công nghệ hàn.

2.6. Giới hạn của nghiên cứu và hướng phát triển

Nghiên cứu có ba giới hạn chính. Thứ nhất, bộ dữ liệu chưa thể hiện số lần lặp độc lập ở từng góc, do đó chưa đánh giá được độ lệch chuẩn và độ không đảm bảo đo. Thứ hai, nghiên cứu tập trung vào hình học tiết diện, chưa kiểm tra khuyết tật bên trong, tổ chức kim loại, độ cứng hoặc độ bền cơ học. Thứ ba, kết quả chỉ đại diện cho tổ hợp vật liệu và chế độ đã nêu; sự thay đổi khí bảo vệ, đường kính dây, CTWD, tốc độ hàn hoặc dạng liên kết có thể làm thay đổi quy luật.

Hướng phát triển phù hợp là thực hiện tối thiểu ba mẫu độc lập cho mỗi mức góc, chuẩn hóa vị trí lấy tiết diện, sử dụng phần mềm xử lý ảnh hoặc kính đo để xác định biên nóng chảy, sau đó tính trung bình, độ lệch chuẩn và kiểm định sự khác biệt. Có thể mở rộng thêm các chỉ tiêu tỷ số b/c, diện tích kim loại đắp, diện tích ngấu, độ cứng vùng ảnh hưởng nhiệt và thử kéo/uốn. Khi đó, việc xác định miền góc phù hợp sẽ dựa trên nhiều tiêu chí chất lượng thay vì chỉ ba kích thước hình học.

III. KẾT LUẬN

Trong điều kiện hàn MAG thép SS400 dày 5 mm bằng dây ER70S-6 Ø0,8 mm, khí CO_2, I = 180 A, U = 22 V, tốc độ hàn 40 cm/phút, tốc độ cấp dây 3,8 m/phút, lưu lượng khí 8 L/phút và tầm với điện cực 10 mm, dữ liệu thực nghiệm trong miền góc 60°-120° cho thấy xu hướng biến đổi rõ của hình học mối hàn. Khi α tăng, chiều rộng giảm 8,2 → 7,1 mm (13,4%), chiều cao tăng 2,10 → 2,50 mm (19,0%), còn độ ngấu giảm tổng thể 3,6 → 2,7 mm (25,0%) nhưng có dao động nhẹ tại 110°. Chiều rộng và chiều cao thể hiện xu hướng gần tuyến tính trong miền khảo sát; các kết quả này mang tính mô tả cho bộ điều kiện thí nghiệm đã nêu.

Kết quả có thể sử dụng làm dữ liệu tham khảo khi lựa chọn góc thao tác và xây dựng bài thực hành MAG về ảnh hưởng của thông số công nghệ đến hình học mối hàn. Tuy nhiên, để xác định góc tối ưu cho một ứng dụng cụ thể cần đồng thời xét yêu cầu liên kết, chiều dày, cơ tính và khuyết tật; bài báo hiện tại chưa đủ cơ sở để khẳng định một góc duy nhất là tối ưu.

Nghiên cứu tiếp theo tác giả sẽ bổ sung lặp mẫu ở mỗi mức góc để xác định độ phân tán, chuẩn hóa đầy đủ dòng điện - điện áp - tốc độ hàn - lưu lượng khí - CTWD, đồng thời khảo sát tổ chức kim loại, độ cứng hoặc cơ tính nhằm liên hệ hình học với chất lượng liên kết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

American Welding Society (2021), AWS A5.18/A5.18M: Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding, AWS, Miami.

Cary, H.B., Helzer, S.C. (2005), Modern Welding Technology, Pearson Prentice Hall, New Jersey.

Kou, S. (2003), Welding Metallurgy, 2nd ed., John Wiley & Sons, Hoboken.

Miller Electric Mfg. LLC, MigMatic 300/300 DX and 380/380 DX - International Specification Sheet, Miller Electric, USA.

Ngô Ngọc Sơn (2025), "Ảnh hưởng của góc nghiêng điện cực hàn MAG đến cấu trúc hình học và cơ tính mối hàn thép cacbon thấp ở tư thế 1G", Tạp chí Thiết bị GD, Số 342, Kỳ2 tháng 11.

Nguyễn Hồng Sơn (2018), Nghiên cứu ảnh hưởng của góc độ mỏ hàn đến kích thước mối hàn MAG trong mối hàn giáp mối một lớp. Hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ V.

Japanese Standards Association (2020), JIS G 3101:2020, Rolled steels for general structure, Tokyo, Japan.