

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ HÀN LASER-TIG ĐẾN HÌNH THÁI BỀ MẶT VÀ BIẾN DẠNG LIÊN KẾT HÀN GIÁP MỖI VẬT LIỆU COMPOSITE TRIMETAL HỢP KIM ĐỒNG – THÉP CÁC BON – HỢP KIM ĐỒNG

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF LASER-TIG WELDING PARAMETERS ON SURFACE MORPHOLOGY AND DISTORTION OF BUTT JOINTS IN TRIMETAL COPPER ALLOY – CARBON STEEL – COPPER ALLOY COMPOSITES

Nguyễn Văn Mễ^{1,3}, Đặng Văn An¹, Hà Minh Hùng^{1,2,5,*}, Nguyễn Hoàng Quân⁴

¹Viện Nghiên cứu Cơ khí

²Trường Đại học Duy Tân

³Trường Cao đẳng Công nghiệp Bắc Ninh

⁴Viện Công nghệ Vũ trụ, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

⁵Viện Phát triển Kỹ thuật Công nghệ tiên tiến (IDAT)

*Corresponding email: haminhhunggs@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu một số kết quả thực nghiệm khảo sát thăm dò sự ảnh hưởng của công suất laser (P , kW), tốc độ hàn (v_h , cm/ph), số lớp hàn (n) và hệ số quét chùm tia laser (C_q , %) trên hệ thống thiết bị SMATS 5Z-200 đến hình thái bề mặt và biến dạng liên kết hàn giáp mối từ hai phôi hàn dạng tấm mỏng. Phôi hàn lựa chọn là vật liệu composite Trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng được chế tạo bằng công nghệ luyện kim bột. Kết quả cho thấy tiêu chí hình thái bề mặt mối hàn phản ánh sơ bộ mức độ biến dạng và trạng thái của các lớp hàn dọc theo đường hàn, có quy luật giảm tỷ lệ nghịch so với chiều tăng của tốc độ hàn. Khi công suất laser tăng, tiêu chí đó lại có xu hướng tăng tỷ lệ thuận và ảnh hưởng mạnh đến chất lượng hàn. Theo đó, có thể đưa ra lựa chọn bộ thông số công nghệ hàn L-TIG cần khảo sát hợp lý hơn để áp dụng cho bước thí nghiệm tiếp theo với ma trận thực nghiệm trực giao N27 nhằm mục tiêu xây dựng mô hình toán học dự báo chất lượng mối hàn Laser-TIG tối ưu.

Từ khóa: Hàn Laser-TIG; Vật liệu composite dạng lớp (trimetal, bimetal).

ABSTRACT

This paper presents an experimental investigation into the effects of laser power (P , kW), welding speed (v_h , cm/min), number of welded alloy (n), and beam scanning coefficient (C_q , %) on the surface morphology and characteristic deformation of butt-welded thin Trimetal sheets, utilizing the SMATS 5Z-200 system. The Trimetal composite, composed of copper alloy – carbon steel – copper alloy, was produced via powder metallurgy. The study reveals that the weld surface morphology, representing the filling adequacy and the state of weld layers along the joint, exhibits

an inverse relationship with welding speed. In contrast, an increase in laser power leads to a proportional rise in this criterion and strongly influences overall weld quality. Based on these findings help define an appropriate set of L-TIG welding parameters for further investigation using an N27 orthogonal experimental design, with the objective of developing a mathematical model for predicting optimal Laser-TIG weld integrity.

Keywords: *Laser-TIG welding; Laminated composite materials (trimetal, bimetal).*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chế tạo cặp đôi ma sát gồm đĩa ma sát từ vật liệu composite Trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng và chi tiết đối ứng bằng thép các bon, thép hợp kim trong bộ ly hợp truyền động cơ khí là những sản phẩm đặc thù có kích thước hình học với đường kính làm việc tiếp xúc ma sát và chiều dày khác nhau, phù hợp với gam công suất truyền động cơ khí có tải trọng khác nhau [1].

Hợp kim ma sát trong các lớp cấu thành vật liệu composite trimetal hoặc composite đơn kim thường chế tạo bằng công nghệ luyện kim bột có đặc tính cơ lý và kim tương học vượt trội hơn so với các hợp kim đúc cán truyền thống [3], [4], [5], [6].

Tuy nhiên, với năng lực thiết bị luyện kim bột hiện có tại Việt Nam hiện nay chưa được đầu tư đúng mức để có thể chế tạo được phôi vật liệu composite các loại với kích thước hình học đáp ứng yêu cầu chế tạo một số chi tiết ly hợp có kích thước lớn. Vì vậy, gần đây nhóm nghiên cứu dưới sự chủ trì của PGS, TS. Hà Minh Hùng tại Viện Nghiên cứu Cơ khí (Bộ Công Thương) và Viện IDAT đã tiến hành một số thí nghiệm thăm dò ứng dụng công nghệ hàn tiên tiến để tạo phôi gia công chi tiết đĩa ly hợp và đĩa thép đối ứng bước đầu có kết quả rất khả quan đã được công bố trên Tạp chí Cơ khí Việt Nam và Hội thảo quốc tế ICERA-2024 [7], [8], [9], [10].

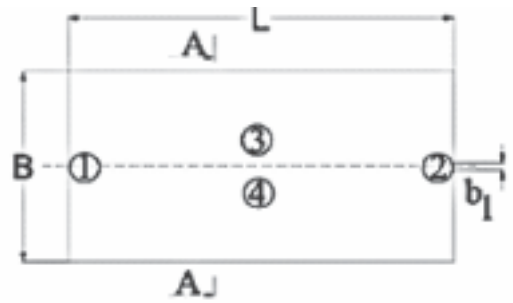
Một trong số các công nghệ hàn tiên tiến đã thử nghiệm trong điều kiện Việt Nam bởi tác giả các công trình nói trên là công nghệ lai ghép hàn bằng năng lượng laser (gọi tắt là hàn Laser) với hàn TIG, sau đây viết tắt là hàn L-TIG. Với đặc thù quá trình hàn liên kết giáp mỗi hai tấm phôi vật liệu thép các bon và thép hợp kim tấm mỏng với chiều dày $3 \div 5$ mm dùng cho đĩa thép đối ứng, cũng như vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng với chiều dày 3 lớp $(1.5 \div 2.2) + (3.0 \div 5.0) + (1.5 \div 2.2)$ mm dùng cho đĩa ma sát cần khảo sát một số yếu tố công nghệ chủ yếu có ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng kết cấu hàn, đáp ứng được độ bền cơ học cao đồng thời với biến dạng của nó giảm thiểu xuống mức nhỏ nhất, là bài toán khá phức tạp. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đề cập đến vấn đề các yếu tố công nghệ đầu vào khảo sát có mức độ ảnh hưởng như thế nào đến một trong các tiêu chí khá quan trọng khi đánh giá chất lượng mỗi hàn L-TIG là chỉ tiêu ngoại dạng, tức là các hiện tượng thay đổi hình thái bề mặt mỗi hàn, tùy thuộc vào mức lựa chọn ban đầu của hai thông số công nghệ chính gồm: công suất laser (P, W) và tốc độ hàn ($v_h, \text{cm/ph}$). Các yếu tố khác được cố định ở mức khuyến cáo của nhà cung cấp thiết bị hàn Laser và có điều chỉnh tùy theo tình thực tế khi hàn thử tại một doanh nghiệp sản xuất cơ khí phục vụ xuất khẩu ở Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

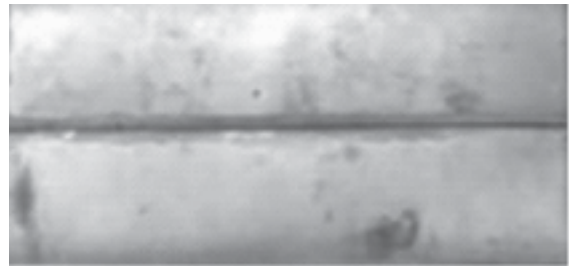
Kết cấu mỗi hàn L-TIG: Hàn liên kết

giáp mỗi 2 mảnh ghép vật liệu composite trimetal hợp kim đồng - thép các bon - hợp kim đồng ở vị trí hàn bằng. Lớp hợp kim đồng luyện kim bột có ký hiệu B_{Cu6Sn6Pb3Zn2C_{gr}2Al₂O₃} với chiều dày 3 lớp $\delta_{\Sigma} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = (1.5 + 5.0 + 1.5) \text{ mm}$ và chiều rộng $(B_1 + B_2) \times \text{chiều dài}$ (L) = 100 ÷ 200 mm [8-10]. Hai lớp hợp kim đồng đều được vát mép với góc vát tổng cộng $\alpha = 15 \div 45^\circ$. Khe hở hàn giữa 2 đầu lớp thép các bon chọn trong khoảng $b_0 = 0.1 \div 0.5 \text{ mm}$ (hình 1). Dây bù sử dụng gồm hai loại là thép các bon GM70S và thép hợp kim SUS 316L với đường kính $d_b = 1.0 \div 1.2 \text{ mm}$.

Trên hình 1 là sơ đồ kết cấu mối hàn L-TIG, ảnh các mảnh ghép bằng vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng dùng cho thí nghiệm. Hình 2 a÷e tiếp theo là ảnh chụp tổng quát hệ thống máy hàn laser tự động SMATS 5Z-200 sử dụng cho hàn thử nghiệm tại một doanh nghiệp sản xuất cơ khí xuất khẩu hiện có ở Việt Nam.

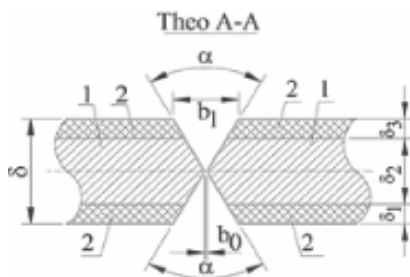


c) 1, 2, 3, 4 – Vị trí đặt cảm ứng $T^\circ\text{C}$ phơi hàn

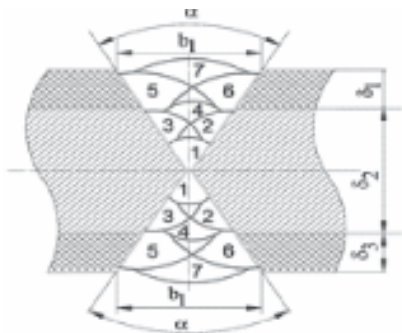


d)

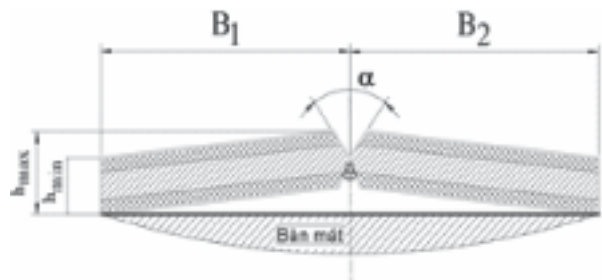
Hình 1. Sơ đồ nguyên lý kết cấu “X” theo mặt cắt ngang mối hàn L-TIG (a), quy định các lớp hàn kế tiếp nhau (b), ký hiệu vị trí đo nhiệt độ phơi hàn (c) và ảnh phơi hàn (d) sử dụng cho thí nghiệm



a) 1 - Lớp hợp kim đồng, 2 - Lớp thép các bon



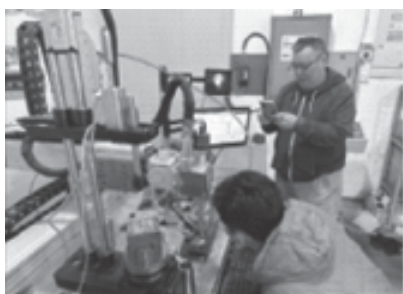
b) Quy ước số lớp hàn $n = 1, 2, 3, \dots, 7$ theo một phía bề mặt phơi hàn chữ “X”



a)



b)



c)



d)

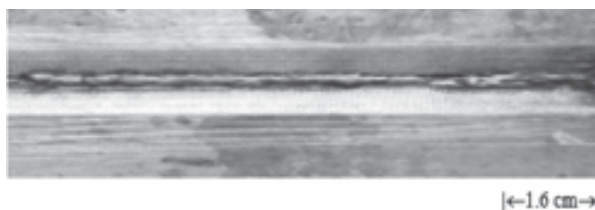


e)

Hình 2. Sơ đồ nguyên lý đo biến dạng kết cấu hàn (a), hệ thống máy hàn laser tự động SMATS 5Z-200 (b), hình ảnh một vài thời điểm trong quá trình hàn thử nghiệm L-TIG vật liệu composite trimetal hợp kim đồng - thép các bon - hợp kim đồng tại doanh nghiệp sản xuất cơ khí ở Việt Nam (c, d, e)



a) Mẫu Test 1, hàn 1 lớp



b) Mẫu Test 2, hàn 1 lớp

Hình 3. Ảnh hình thái bề mặt đường liên kết hàn L-TIG trên mẫu thử test hệ thống máy hàn laser tự động SMATS 5Z-200: $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.1 \text{ mm}$, $P = 1.4 \text{ kW}$, $v_h = 20 \text{ cm/ph}$, $d_{las} = 1.0 \text{ mm}$, $C_p = 0$

Chất lượng liên kết hàn giáp môi vật liệu thép và hợp kim nhận được bằng các công nghệ hàn khác nhau, trong đó có hàn L-TIG trên hệ thống thiết bị hàn SMATS 5Z-200 có công suất dòng laser đến 2.0 kW, điều khiển tự động quá trình hàn và có màn hình hiển thị giám sát trực tuyến bề hàn theo thời gian thực, thường được đánh giá thông qua một số tiêu chí cơ bản gồm: hình thái bề mặt, độ bền kéo, độ cứng, độ dai va đập, tổ chức thô đại và tổ chức tế vi của mối hàn và phụ thuộc vào chế độ hàn khác nhau. Trong bài báo này chỉ đề cập đến mức độ ảnh hưởng của công suất laser (P), tốc độ hàn (v_h) và biến dạng kết cấu hàn (f_{max}) với các yếu tố đầu vào khác như: đường kính chùm tia laser (d_{las}), tỷ lệ che phủ khi quét laser (C_q), có hoặc không có cấp dây bù, tốc độ cấp dây bù (v_{db}), lưu lượng cấp khí bảo vệ (G), ... chọn ở mức cố định theo chỉ dẫn của nhà sản xuất thiết bị hàn và kinh nghiệm thực tiễn của người vận hành tại doanh nghiệp.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ BÀN LUẬN

3.1. Đánh giá chất lượng bề mặt mối hàn L-TIG

Về nguyên lý, việc phân tích ảnh hưởng độc lập, cũng như tương tác cặp đôi của hai thông số công nghệ hàn L-TIG chủ yếu gồm: công suất laser (P) và tốc độ hàn (v_h) đến chất

lượng hàn thông qua tiêu chí hình thái bề mặt và biến dạng cong vênh ($f_{\max}$) của liên kết hàn. Với điều kiện thí nghiệm và tham khảo thêm kinh nghiệm trên thực tế sản xuất của chuyên gia vận hành thiết bị hàn laser tại doanh nghiệp, chọn một số chế độ hàn L-TIG thử nghiệm

diễn hình như bảng 1 dưới đây. Ở đây: dây bù SUS316L có đường kính $d_b = 1.2$ mm và được sử dụng cho các mẫu thí nghiệm số 2, 3, 4 và mẫu Test 2; Lưu lượng cấp khí bảo vệ $G = 3.5 \div 4.5$ l/ph.

Bảng 1. Điều kiện hàn L-TIG thử nghiệm thăm dò định hướng công nghệ

Số TN	Ký hiệu mẫu	Thông số công nghệ hàn thử nghiệm cần khảo sát							Chất lượng liên kết hàn		
		P, W	v_h , cm/ph	v_{cd}/v_h	C_p , %	Số lớp hàn	d_{las} , mm	Có/ không dây bù	Đạt / Không	Ảnh bề mặt mỗi hàn	Biến dạng theo phương ngang, $f_{\max}$
1	Test 1	1.4	20.0	1.2	0	1	0.8	Có	Không	Hình 3 a	0.020/50 mm
	Test 2	1.4	20.0	1.2	0	1	1.0	Có	Không	Hình 3 b	0.025/50 mm
2	2-1	1.4	20.0	1.3	0	1	1.0	Không	Đạt	Hình 4a	0.020/50 mm
	2-2	1.5	20.0	1.3	30	2	1.0	Có	Đạt	Hình 4 b	0.045/50 mm
	2-3	1.5	20.0	1.3	30	3	1.0	Có	Đạt	Hình 4 c	0.110/50 mm
	2-4	1.6	25.2	1.4	0	1	1.0	Không	Đạt	Hình 4 d	0.050/50 mm
	2-5	1.6	25.2	1.4	30	2	1.0	Có	Đạt	Hình 4 e	0.105/50 mm
3	3-1	1.4	25.2	1.3	40	1	1.0	Không	Đạt	Hình 5 a	0.035/50 mm
	3-2	1.4	25.2	1.3	40	2	1.0	Có	Đạt	Hình 5 b	0.075/50 mm
	3-3	1.6	25.2	1.4	40	1	1.0	Không	Đạt	Hình 5 c	0.065/50 mm
	3-4	1.6	25.2	1.4	40	2	1.0	Có	Đạt	Hình 5 d	0.130/50 mm
4	4-1	1.6	25.2	1.3	50	1	1.0	Không	Đạt	Hình 6 a	0.055/50 mm
	4-2	1.6	25.2	1.3	50	2	1.0	Có	Đạt	Hình 6 b	0.120/50 mm
	4-3	1.8	25.2	1.5	50	1	1.5	Không	Đạt	Hình 6 c	0.075/50 mm
	4-4	1.8	25.2	1.5	50	2	1.5	Có	Đạt	Hình 6 d	0.155/50 mm

Ghi chú: Mác dây bù: GM70S (mẫu Test 1) và SUS 316L (các mẫu còn lại); biến dạng theo phương ngang đường liên kết hàn ($f_{\max}$) tính trung bình trên 04 điểm đo quy ước từ mép ngoài vào cạnh mép vát mỗi hàn



Từ các số liệu thống kê thực nghiệm trong bảng 1, ta có một số nhận xét như sau:

1) Trong thí nghiệm có số thứ tự 1 (hình 3) gồm có: mẫu Test 1 sử dụng dây bù là thép các bon GM70S và mẫu Test 2 sử dụng dây bù là thép hợp kim SUS 316L nhận được cho thấy về cơ bản đã có sự hình thành liên kết kim loại giữa hai mặt đầu giáp mối liên kết hàn ngay trong lớp hàn thứ nhất (hình 3). Tuy nhiên, mẫu Test 1 sau khi làm nguội trong môi trường không khí thì phát hiện thấy có nứt hai bên mép lớp hàn với phần kim loại cơ bản (lớp thép các bon của hai tấm vật liệu composite trimetal). Trong khi đó, sau khi làm nguội mẫu Test 2 thì không xuất hiện các vết nứt tương tự như mẫu Test 1. Điều đó chứng tỏ vật liệu dây bù bằng thép hợp kim SUS 316L có tính hàn tốt hơn hẳn so với dây bù GM70S. Kết quả thực nghiệm này dẫn đến các thí nghiệm số 2, 3 và 4 tiếp theo chọn phương án cấp dây bù là thép hợp kim SUS 316L.

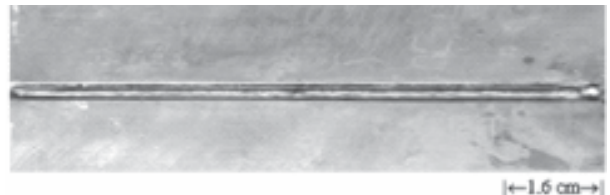
2) Mẫu thí nghiệm số 2 (hình 4) gồm có 5 chế độ hàn được chọn với công suất laser ở các mức $P = 1.4; 1.5; 1.6$ kW, tốc độ hàn $v_h = 20.0; 25.2$ cm/ph và tỷ số tốc độ cấp dây bù so với tốc độ hàn $v_{cd}/v_h = 1.3; 1.4$. Tùy thuộc vào điều kiện biên gồm hệ số che phủ $C_q = 0\%$ hoặc 30% , cùng với số lớp hàn bằng 1; 2 và 3 lớp, đánh giá hình thái bề mặt đường liên kết hàn nhận được cho thấy có đặc điểm:

- Đã hình thành được liên kết hàn dọc theo chiều dài mẫu khảo sát ở tất cả 5 chế độ thử nghiệm liên tục và có tính tương đối ổn định (hình 4 a $\rightarrow$ e);

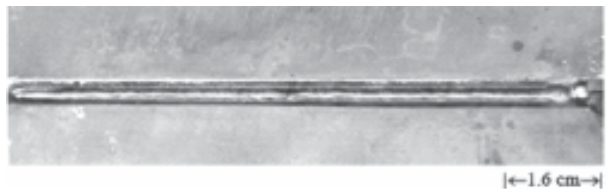
- Cùng với chiều tăng của công suất laser, chiều rộng đường liên kết hàn tăng tỷ lệ thuận với công suất laser một cách rõ nét (hình 4 a, b, c). Tuy nhiên, cùng với chiều tăng của tốc

độ hàn, chiều rộng liên kết hàn lại có xu hướng tăng nhẹ với cường độ nhỏ hơn (hình 4 b, d, e);

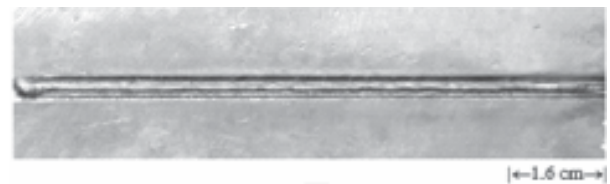
- Cùng với chiều tăng của số lớp hàn với độ che phủ $C_q = 30\%$ giữa hai và ba lớp hàn, chiều rộng đường liên kết hàn tăng tỷ lệ thuận một cách rõ nét (hình 4 a, b, c và hình 4 d, e). Chiều rộng liên kết hàn trên mẫu 2-1 và 2-5, mặc dù chỉ hàn 1 và 2 lớp tương ứng, nhưng với công suất laser được điều chỉnh tăng (từ $P = 1.3$ kW lên $P = 1.4$ kW) nên có xu hướng đạt kích thước tương đương so với khi hàn 3 lớp.



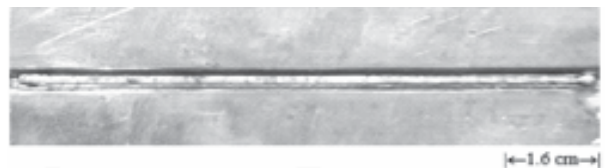
a) Mẫu 2-1, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.1$ mm, hàn 1 lớp,
 $C_p = 30\%$, $P = 1.4$ kW, $v_h = 20$ cm/ph



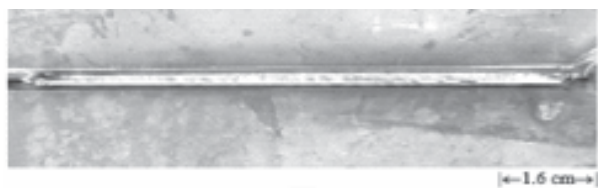
b) Mẫu 2-2, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.1$ mm, hàn 2 lớp,
 $C_p = 30\%$, $P = 1.5$ kW, $v_h = 20$ cm/ph



c) Mẫu 2-3, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.1$ mm, hàn 3 lớp,
 $C_p = 30\%$, $P = 1.6$ kW, $v_h = 25.2$ cm/ph



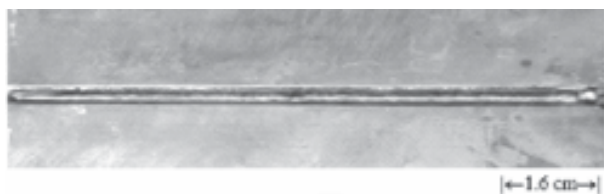
d) Mẫu 2-4, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.1$ mm, hàn 1 lớp,
 $C_p = 30\%$, $P = 1.6$ kW, $v_h = 25.2$ cm/ph



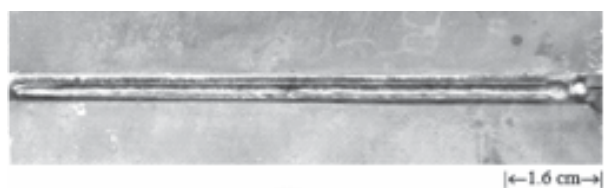
e) Mẫu 2-5, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.1 \text{ mm}$, hàn 2 lớp,
 $C_p = 30\%$, $P = 1.6 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$

Hình 4. Ảnh hình thái bề mặt đường liên kết hàn L-TIG mẫu thí nghiệm số 2 trên hệ thống máy hàn laser tự động SMATS 5Z-200 ở các chế độ hàn mức công suất thấp và trung bình

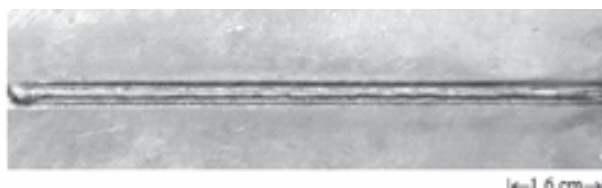
3) Mẫu thí nghiệm số 3 (hình 5): Nhận được khi hàn ở hai mức công suất laser $P = 1.4 \text{ kW}$ và $P = 1.6 \text{ kW}$, độ che phủ tăng lên mức $C_q = 40\%$, còn tốc độ hàn cố định ở một mức $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$. Kết quả thực nghiệm cho trên hình 5 a÷d cho thấy chất lượng bề mặt liên kết hàn nhận được với các điều kiện biên trong bảng 1 đều đạt yêu cầu: hình thái bề mặt dọc và ngang liên kết hàn khá đều và kim loại hàn kết tinh lại khá ổn định. Trong trường hợp này, chiều rộng mỗi hàn tăng tỷ lệ thuận theo chiều tăng của công suất laser (P) và giảm theo chiều tăng của (C_q) so với mẫu số 2 đã xét ở phần trên.



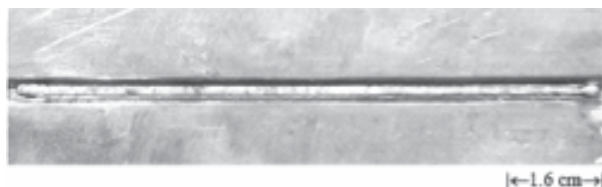
a) Mẫu 3-1, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.3 \text{ mm}$, hàn 1 lớp,
 $C_p = 40\%$, $P = 1.4 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$



b) Mẫu 3-2, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.3 \text{ mm}$, hàn 2 lớp,
 $C_p = 40\%$, $P = 1.4 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$



c) Mẫu 3-3, $\alpha = 40^\circ$, $b_0 = 0.3 \text{ mm}$, hàn 1 lớp,
 $C_p = 40\%$, $P = 1.6 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$



d) Mẫu 3-4, $\alpha = 40^\circ$, $b_0 = 0.3 \text{ mm}$, hàn 2 lớp,
 $C_p = 40\%$, $P = 1.6 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$

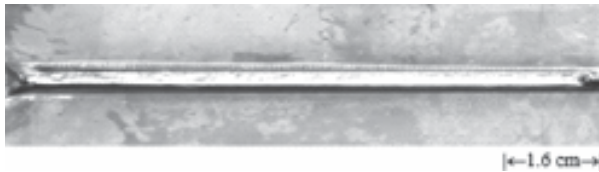
Hình 5. Ảnh hình thái bề mặt đường liên kết hàn L-TIG mẫu thí nghiệm số 5 trên hệ thống máy hàn laser tự động SMATS 5Z-200 ở các chế độ hàn mức công suất thấp và trung bình

4) Mẫu thí nghiệm số 4 (hình 6): Nhận được khi hàn ở hai mức công suất laser $P = 1.6 \text{ kW}$ và $P = 1.8 \text{ kW}$, độ che phủ tiếp tục tăng lên mức $C_q = 50\%$, còn tốc độ hàn cố định ở một mức $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$. Kết quả thực nghiệm cho trên hình 6 (a ÷ d) cho thấy chất lượng bề mặt liên kết hàn nhận được với các điều kiện biên trong bảng 1 đều đạt yêu cầu: hình thái bề mặt dọc và ngang liên kết hàn khá đều và kim loại hàn kết tinh lại khá ổn định. Chiều rộng mỗi hàn tăng tỷ lệ thuận theo chiều tăng của công suất laser (P) và giảm theo chiều tăng của (C_q) với quy luật tương tự như đối với mẫu số 2 và mẫu số 3 đã xét trên đây.

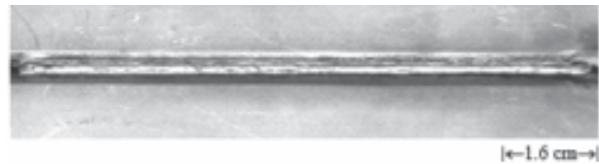


a) Mẫu 4-1, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.5 \text{ mm}$, hàn 1 lớp,
 $C_p = 50\%$, $P = 1.4 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$

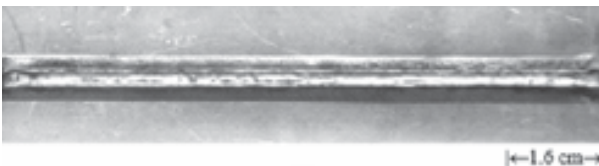




b) Mẫu 4-2, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.5 \text{ mm}$, hàn 2 lớp,
 $C_p = 50\%$, $P = 1.4 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$



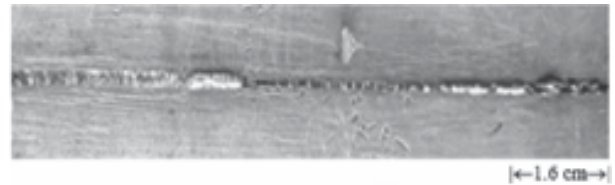
c) Mẫu 4-3, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.5 \text{ mm}$, hàn 1 lớp,
 $C_p = 50\%$, $P = 1.8 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$



d) Mẫu 4-4, $\alpha = 30^\circ$, $b_0 = 0.5 \text{ mm}$, hàn 2 lớp,
 $C_p = 50\%$, $P = 1.8 \text{ kW}$, $v_h = 25.2 \text{ cm/ph}$

Hình 6. Ảnh hình thái bề mặt đường liên kết hàn L-TIG mẫu thí nghiệm số 8 trên hệ thống máy hàn laser tự động SMATS 5Z-200 ở các chế độ hàn mức công suất cao

5) Mẫu so sánh đối chứng thử nghiệm hàn tay số 5 (hình 7): Phân tích kết quả trên hình 7 dưới đây cho thấy, chất lượng liên kết hàn trong trường hợp này chưa đạt yêu cầu, vì đường hàn có nhiều đoạn mấp mô, cong lượn không có quy luật theo chiều dọc và chiều ngang và không đồng trục thẳng hàng với đường tâm liên kết phôi hàn. Như vậy, ảnh chụp hình thái bề mặt đường liên kết hàn khi sử dụng máy hàn laser bằng thủ công là minh chứng xác đáng cho việc khi sử dụng hệ thống máy hàn laser tự động SMATS 5Z-200 để làm thí nghiệm luôn đảm bảo nhận được mối hàn L-TIG có chất lượng bề mặt cao và ổn định.



a) Mẫu hàn 1 lớp, $\alpha = 10^\circ$, $b_0 = 0.1 \text{ mm}$,
 $P = 1.3 \text{ kW}$, $v_h \approx 10.0 \text{ cm/ph}$, $C_q = 0 \%$



b) Mẫu hàn 3 lớp, $\alpha = 10^\circ$, $b_0 = 0.1 \text{ mm}$,
 $P = 1.5 \text{ kW}$, $v_h \approx 10.0 \text{ cm/ph}$, $C_q = 30 \%$

Hình 7. Mẫu hàn thử L-TIG bằng máy hàn laser cầm tay với dây bù thép SUS 316L đường kính 1.0 mm

3.2. Biến dạng kết cấu mối hàn L-TIG

Một tiêu chí quan trọng trong bộ chỉ tiêu đánh giá chất lượng mối hàn nói chung và mối hàn L-TIG là biến dạng kết cấu hàn lớn nhất ($f_{\max}$, mm) ở trạng thái sau khi làm nguội tự nhiên trong môi trường không khí tĩnh lặng. Sơ đồ nguyên lý đo $f_{\max}$ cho trên hình 8 và tính theo công thức (1) và (2) dưới đây. Theo đó, ta có biến dạng kết cấu lớn nhất của mối hàn L-TIG ($f_{\max}$) được tính trung bình bằng hiệu số giữa chiều cao lớn nhất ($h_{\max}$) và nhỏ nhất ($h_{\min}$).

$$f_{\max} = h_{\max} - h_{\min} \quad (1)$$

$$h_{\min} = \delta_{\Sigma} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad (2)$$

Trong đó: $f_{\max}$ – Biến dạng trung bình lớn nhất của mối hàn; $h_{\max}$ – Chiều cao trung bình đo được tại 4 điểm cao nhất theo bề mặt trên của mẫu khảo sát; δ_{Σ} – Chiều dày tổng cộng 3 lớp vật liệu composite trimetal; δ_1 và δ_3 – Chiều dày của hai lớp hợp kim đồng; δ_2 – Chiều dày của lớp thép cac bon.

Để đảm bảo sai số đo nhỏ nhất, sử dụng gá kẹp chuyên dụng để kẹp chặt mẫu sau khi hàn và làm nguội lên bàn mát sao cho 4 góc của mẫu tiếp xúc trực tiếp với bề mặt bàn mát, đồng thời có thể di chuyển đầu đo theo phương Z (chiều cao so với mặt chuẩn “0”) tại 4 góc và 4 điểm gần mép vát mỗi hàn.

Số liệu thí nghiệm đo biến dạng trung bình ($f_{\max}$) theo phương ngang đường hàn L-TIG tại các lớp đo tương ứng $n = 1, 2, 3$ trong bảng 1 cho thấy:

- Nếu khảo sát trên 50 mm chiều rộng mỗi bên phôi hàn thì $f_{\max}$ có xu hướng tăng tỷ lệ thuận theo chiều tăng của công suất laser trong khoảng $P = 1.2 \div 1.8$ kW, đạt giá trị trung bình tương ứng là $f_{\max} = 0.02 \div 0.075$ mm (khi hàn 1 lớp) lên đến $f_{\max} = 0.045 \div 0.155$ mm (khi hàn 2 lớp);

- Trên mẫu thí nghiệm số 2-3 với chế độ hàn với $P = 1.5$ kW, $v_h = 20$ cm/ph, $C_q = 30\%$, $n = 3$ lớp, $d_{\text{las}} = 1.0$ mm và có dây bù, ta nhận được $f_{\max} = 0.11$ mm, tăng đáng kể so với khi hàn 1 lớp ($f_{\max} = 0.02$ mm) và 2 lớp ($f_{\max} = 0.045$ mm) trước đó. Khi hoàn thành các lớp hàn cần thiết cả hai mặt bên phôi hàn hai mảnh ghép vật liệu composite trimetal hợp kim đồng - thép các bon - hợp kim đồng chắc là sẽ có hiện tượng biến dạng ngược chiều với biến dạng khi hàn một phía. Việc này nhóm nghiên cứu đang tiến hành và kết quả như thế nào sẽ công bố trong thời gian tới.

- Ảnh hưởng của hai thông số công nghệ hàn L-TIG (P và n) đến lượng biến dạng ($f_{\max}$) của kết cấu hàn khá mạnh, còn các thông số khác như v_h , C_q và d_{las} chưa được đánh giá một cách rõ nét. Để giải quyết vấn đề này, nhóm nghiên cứu hiện đang tiến hành phân tích nhờ trợ giúp của phần mềm tin học ANOVA với số lượng thí nghiệm với các mức điều chỉnh v_h , C_q

và d_{las} lớn hơn so với phạm vi khảo sát trong công trình này.

Như vậy, đã có định hướng khắc phục những hạn chế nêu trên, kết quả như thế nào sẽ được nhóm nghiên cứu công bố trong một vài bài báo khác tiếp theo.

4. KẾT LUẬN

1) Sử dụng hệ thống thiết bị hàn laser tự động SMATS 5Z-200 cho phép nhận được liên kết hàn giáp mối L-TIG hai tấm vật liệu composite trimetal hợp kim đồng – thép các bon – hợp kim đồng đạt chất lượng bề mặt tốt, đồng thời đảm bảo giá trị biến dạng kết cấu hàn nhỏ. Mỗi hàn L-TIG nhận được khi hàn tự động có ảnh chụp hình thái bề mặt và kích thước hình học tốt hơn hẳn so với mẫu hàn thử nghiệm trên máy hàn laser di động (máy hàn cầm tay). Khi sử dụng dây bù là thép SUS 316, mỗi hàn L-TIG không có hiện tượng nứt tế vi dọc hai mép bên theo đường hàn, còn khi sử dụng dây bù là thép các bon GM70S thì đa số các mẫu hàn ngay từ lớp thứ nhất đã phát hiện thấy có khuyết tật mỗi hàn dạng nứt tế vi;

2) Kết quả khảo sát đánh giá trên một số mẫu thí nghiệm định hướng công nghệ với các mức lựa chọn thông số đầu vào chủ yếu được cài đặt vào chương trình máy tính điều khiển quá trình hàn gồm: công suất laser (P), đường kính laser (d_{las}), tốc độ hàn (v_h), số lớp quét chùm tia laser (n) và hệ số che giữa các lớp hàn (C_q) cho thấy quy luật ảnh hưởng của chúng đến hai tiêu chí cơ bản khi đánh giá ngoại dạng mỗi hàn L-TIG là: tính ổn định của hình thái bề mặt theo đường liên kết hàn và chiều rộng mỗi hàn có xu hướng tăng tỷ lệ thuận theo chiều tăng của P và n , còn khi v_h và C_q tăng thì đặc tính chất lượng hàn này có xu hướng ngược lại – giảm tỷ lệ nghịch theo chiều tăng của hai thông số cuối;



3) Đã đánh giá sơ bộ được ảnh hưởng của chế độ hàn đến biến dạng trung bình lớn nhất của kết cấu hàn L-TIG liên kết giáp mỗi vật liệu composite trimetal hợp kim đồng - thép các bon - hợp kim đồng ($f_{\max}$) ở trạng thái ngay sau khi hàn một phía từ 1 đến 3 lớp, đạt giá trị trung bình trong khoảng $f_{\max} = 0.02 \div 0.155$ mm, tính trên chiều dài đoạn khảo sát theo chiều rộng phôi hàn mỗi bên là 50 mm;

4) Kết quả hàn thử nghiệm trên đây là cơ sở khoa học đáng tin cậy, cho phép định hướng và đưa ra lựa chọn miền điều chỉnh các thông số công nghệ hàn L-TIG khi xây dựng ma trận thực nghiệm theo quy hoạch trực giao N27 cho bước thí nghiệm tiếp theo của nhóm nghiên cứu phù hợp hơn với hệ thống thiết bị hàn laser tự động SMATS 5Z-200 hiện có trên thực tế tại doanh nghiệp sản xuất cơ khí ở Việt Nam. ❖

Ngày nhận bài: 29/10/2025

Ngày phản biện: 10/11/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hà Minh Hùng (2013), “Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu hợp kim 3 lớp (trimetal) ứng dụng làm đĩa ma sát của bộ ly hợp động cơ máy động lực, máy công trình và phương tiện vận tải”. Báo cáo tổng kết KHKH đề tài NCKH cấp Bộ Công Thương năm 2013, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.
- [2]. Hà Minh Hùng (2014), “Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu tổ hợp (composite) kim loại chịu nhiệt và chịu mòn cao ứng dụng làm phanh tàu vận tải đường sắt”. Báo cáo tổng kết KHKH đề tài NCKH cấp Bộ Công Thương năm 2013, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Văn Giáp, Vũ Lai Hoàng, Hoàng Ánh Quang, Nguyễn Hà Tuấn, Hà Minh Hùng (2016), “Nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ sắt đến hệ số ma sát của vật liệu ma sát thiêu kết trên cơ sở đồng tạo hình bằng ép nóng”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 6/2016, trang 68-73.
- [4]. Ha Minh Hung, Doan Dinh Phuong (2016), “Experimental research for tribology properties of friction materials with iron foundation being sintered and hot-pressed for application of making brake pads of train in railway transportation”. Kỷ yếu Hội thảo quốc tế về “Công nghệ vật liệu tiên tiến và nano”, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, 8-12/11/2016, Hạ Long, Code: NMD-P71.
- [5]. Ha Minh Hung, Doan Dinh Phuong (2016), “A research of powder metallurgy technology for manufacturing friction materials with iron powder foundation in Vietnam”. Kỷ yếu Hội thảo quốc tế về “Công nghệ vật liệu tiên tiến và nano”, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, 8-12/11/2016, Hạ Long, Code: NMD-P72.
- [6]. Ha Minh Hung, Pham Duc Thang (2016), “Experimental research for powder metallurgy technology making copper alloy friction materials for application of making clutch disks of cars”. Kỷ yếu Hội thảo quốc tế về “Công nghệ vật liệu tiên tiến và nano”, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, 8-12/11/2016, Hạ Long, Code: NMD-P73.
- [7]. Hung Ha Minh, Me Nguyen Van, Hung Nguyen Van, Huy Trieu Quy, Quan Nguyen Hoang, Mac Dinh Khac (2023), “Study of Mechanical - Physical and Metallographic Characteristics Composite Materials of Copper Friction Alloy - Steel - Copper Friction Alloy Powder Metallurgy”. Vietnam Mechanical Engineering Journal, no. 310, pp.101-110.
- [8]. Nguyen Van Me, Ha Minh Hung, Nguyen Hoang Quan, Ngo Trong Binh, Dinh Khac Mac (2024), “Experimental Study on MAG Welding of Powder Metallurgy Composite Trimetal Copper Alloy - Carbon Steel - Copper Alloy”. Vietnam Mechanical Engineering Journal, no.316, pp.244-253.
- [9]. Nguyen Van Me, Ha Minh Hung, Nguyen Hoang Quan, Ngo Trong Binh, Dinh Khac Mac (2024), “A Research on Deformation and Metallographic Characteristic of TIG Welds Composite Trimetal Copper Alloy - Carbon Steel - Copper Alloy made by of Powder Metallurgy”. Vietnam Mechanical Engineering Journal, no.316, pp.280-288.
- [10]. Hung Ha Minh, Me Nguyen Van, Quy Le Thu, Tuyen Vu Trung, Binh Trong Ngo, Quan Nguyen Hoang (2024), “A Research on Metallographic Characteristic of Laser - TIG Welds Composite Trimetal Copper Alloy - Carbon Steel - Copper Alloy made by Powder Metallurgy”. Journal Springer: Advances in Engineering Research and Application (Online), Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Application, ICERA2024, 1-2, December, 2024.