

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM HÀN PLASMA GIÁP MỐI THÉP KHÔNG GỈ TẤM MỎNG SUS 304

THE EXPERIMENTAL RESEARCHING TO PLASMA BUTT WELD OF SUS 304
STAINLESS STEEL THIN PLATES

Đỗ Hải Tĩnh¹, Hà Minh Hùng^{1,2}, Đào Duy Trung¹

¹Viện Nghiên cứu Cơ khí

²Viện Phát triển Kỹ thuật, Công nghệ Tiên tiến

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm công nghệ hàn plasma giáp mối các tấm thép không gỉ tấm mỏng SUS 304 khi sử dụng thiết bị hàn của hãng LINCOLN C3-MATIC 32-33 quy mô sản xuất công nghiệp trong điều kiện Việt Nam. Chất lượng mối hàn được đánh giá sơ bộ thông qua tiêu chí hình thái bề mặt của nó và độ biến dạng lớn nhất của kết cấu mối hàn ở trạng thái sau khi làm nguội tự nhiên trong không khí. Kết quả thí nghiệm cho phép đưa ra giới hạn miền khảo sát chuyên sâu về ảnh hưởng của các thông số công nghệ chủ yếu đến đặc tính cơ học và tổ chức tế vi vật liệu mối hàn bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm làm cơ sở khoa học để xác định chế độ hàn phù hợp với yêu cầu kỹ thuật sản phẩm cơ khí cần chế tạo.

Từ khóa: Hàn plasma; Thép không gỉ SUS 304; Quy hoạch thực nghiệm.

ABSTRACT

The article introduces some experimental research results on the application of plasma welding technology when butt welding of SUS 304 stainless steel thin plates, using welding equipment of LINCOLN C3-MATIC 32-33 on a production scale industry in practical conditions in Vietnam. The quality of the weld is preliminarily assessed through the criteria of its surface morphology and the maximum deformation of the weld structure in the state after natural cooling in the air. The experimental results allow the limitation of the domain of in-depth investigation on the influence of key technological parameters on the mechanical properties and microscopic structure of the weld material, by means of an experimental design method as a basis science to determine the welding mode in accordance with the technical requirements of the mechanical product, which need to manufactured.

Keywords: Plasma welding; Stainless steel SUS 304; Design experiment.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, trong sản xuất cơ khí thuộc nhiều ngành kinh tế nước ta, đặc biệt là trong lĩnh vực chế tạo thiết bị công nghiệp chế biến thực phẩm, cũng như ngành hóa chất, đang có nhu cầu thực tiễn về nội địa hóa nhiều sản phẩm làm bằng thép không gỉ. Đã có doanh nghiệp chế tạo cơ khí nước ta nhập khẩu máy móc thiết bị hàn và gia áp lực tiên tiến phục vụ cho việc chế tạo các loại bồn chứa kích thước lớn, ví dụ như bồn chứa sữa tươi trên xe ô tô vận chuyển từ nông trại bò sữa về các nhà máy chế biến và đóng hộp sữa, bồn chứa nước sạch, hoặc các bồn chưng cất tinh dầu thực vật,... Chiều dày các tấm thép không gỉ SUS 304/304L sử dụng cho mục đích đó theo khuyến cáo của nhà cung cấp thiết bị tốt nhất chọn trong khoảng từ 1,0 mm đến 6 mm [1], [2], cũng như một vài nghiên

cứu khác ngoài nước [3], [4]. Thiết bị hàn ở quy mô sản xuất công nghiệp của hãng LINCOLN chế tạo với nhãn hiệu C3-MATIC 32-33, mô-đen 450+/Plasma-SP7 Turnmatic TT [2] là một công cụ chủ lực đảm bảo điều khiển các chế độ hàn plasma được cài đặt tự động, có màn hình giám sát trực tuyến quá trình hàn, là điều kiện rất khả thi cho nghiên cứu chuyên sâu về tối ưu hóa công nghệ trong quá trình sản xuất của doanh nghiệp theo nhu cầu thị trường cần thiết có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao.

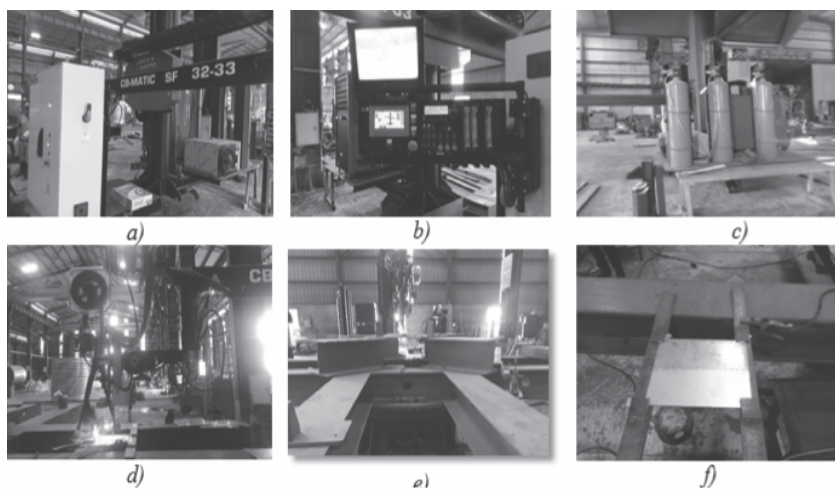
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Vật liệu thí nghiệm: thép tấm SUS 304 và SUS 304L, chiều dày 2,0 mm và 1,5 mm. Kích thước phôi hàn B x L = 150 mm x 400 mm. Thành phần hóa học phôi hàn cho trong bảng 1.

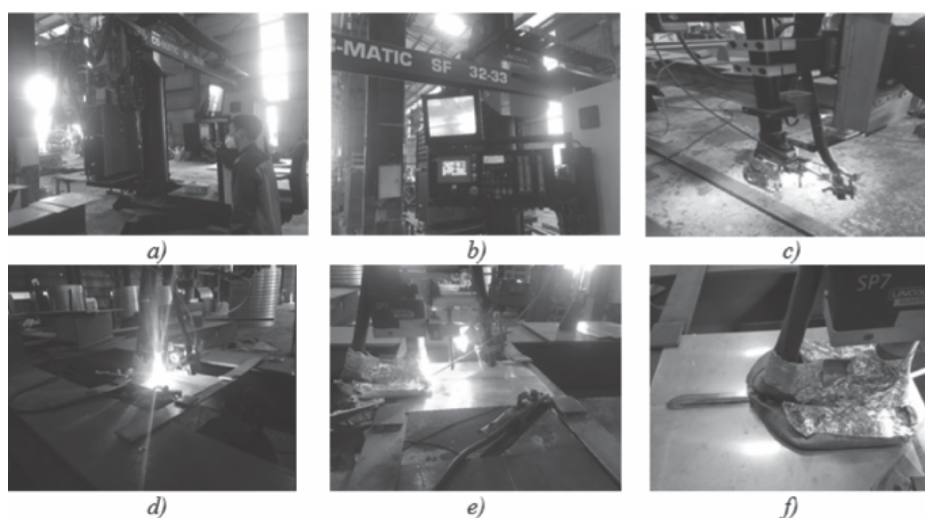
Bảng 1. Thành phần hóa học thép tấm SUS 304 [2].

Mác thép	Hàm lượng các nguyên tố chính, % kh.lg	Đặc tính hàn, lĩnh vực ứng dụng
304	$\leq 0,08$ C; $\leq 1,0$ Si; $\leq 2,0$ Mn; $18 \div 20$ Cr; $8 \div 12$ Ni	Có tính hàn tốt, thường được liên kết trong thiết bị các ngành công nghiệp hóa chất và thực phẩm

- Kết cấu mối hàn: ghép nối hai mảnh phôi theo đường thẳng và ở vị trí hàn bằng. Tại vị trí 4 góc được định vị bằng ngàm kẹp và chốt nêm để dễ tháo gỡ phôi sau khi hàn (hình 1, f).



Hình 1. Ảnh tổng quát thiết bị thí nghiệm hàn plasma LINCOLN C3-MATIC 32-33 (mô-đen 450+/Plasma-SP7 Turnmatic TT) (a); cụm cài đặt chương trình hàn tự động và giám sát trực tuyến phía trước mỗi hàn (b); bộ phận cấp khí tạo plasma (c); bộ phận cấp dây bù tự động (d); cụm đồ gá hàn tự động (e); cách gá lắp mẫu thí nghiệm trên đồ gá hàn (f)



Hình 2. Hình ảnh mô tả quá trình thí nghiệm hàn plasma ghép nối thép SUS 304 tấm mỏng: Cài đặt chế độ hàn theo chương trình tự động (a, b); Một số thời điểm trong quá trình hàn tự động phía trước mỗi hàn (c, d, e); Quá trình hình thành liên kết phía sau mỗi hàn (f)

- Ảnh thể hiện một số bộ phận chính của thiết bị hàn plasma C3-MATIC 32-33 sử dụng để tiến hành thí nghiệm cho trên hình 1, quá trình thực hiện thí nghiệm thể hiện trên hình 2 trên đây. Theo đó: thực hiện việc cài đặt các thông số đầu vào được lựa chọn theo chương trình điều khiển máy như bảng 2 và theo dõi trên màn hình giám sát trực tuyến từ thời điểm phát dòng xung plasma và trong suốt quá trình hàn tự động (hình 2, a, b).

- Một số thời điểm trong quá trình hàn được giám sát từ phía trước mỗi hàn (hình 2, c, d, e).

- Sự hình thành liên kết kim loại giữa hai tấm phôi ở phía sau mỗi hàn (hình 2, f).

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Đánh giá chất lượng mối hàn thông qua tiêu chí hình thái bề mặt

Qua tham khảo một số tài liệu về hàn plasma, microplasma đối với thép không gỉ [1]

÷ [4] để thăm dò định hướng khi thực nghiệm hàn giáp mối các tấm thép không gỉ SUS 304 có chiều dày như trên, sơ bộ chọn miền điều chỉnh của chúng thay đổi trong khoảng các giá trị như sau: 1) Cường độ dòng xung plasma mức tín hiệu trên: $I_h = 80 \div 100 \text{ A}$; 2) Cường độ dòng xung plasma mức tín hiệu dưới: $I_b = 50 \div 60 \text{ A}$; 3) Tốc độ di chuyển đầu hàn dọc mối ghép nối (tốc độ hàn) $v_h = 25 \div 40 \text{ cm/ph}$; 4) Tốc độ cấp dây vật liệu bù với đường kính $d_b = 1,0 \text{ mm}$ là $v_{c,dh} = 80 \div 90 \text{ cm/ph}$; 5) Lưu lượng cấp khí: $\text{Ar} + 5\% \text{H}_2$.

Một số chế độ hàn plasma trên cơ sở khuyến cáo của nhà cung cấp thiết bị hàn plasma [1] được cài đặt theo chương trình điều khiển tự động làm thí nghiệm cho trong bảng 2.

Trên hình 3, hình 4 dưới đây là ảnh chụp hình thái bề mặt các mối hàn ở trạng thái sau khi làm nguội trong môi trường không khí tĩnh lặng. Lấy ký hiệu các mẫu thí nghiệm được chụp ảnh ở bề mặt phía trên có chữ “T”, còn ở phía dưới là chữ “D” để dễ phân biệt. 

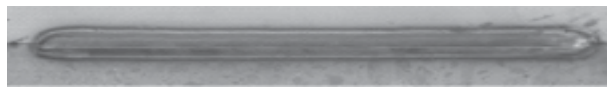
Bảng 2. Cài đặt các chế độ hàn plasma tự động cho thí nghiệm:

Ký hiệu mẫu	Các thông số công nghệ hàn khảo sát					Đường kính dây bù, d_b , mm	Chiều dài phôi hàn, δ , mm	Chiều rộng mối hàn phía trên, b_T , mm	Chiều rộng mối hàn phía dưới, b_D , mm
	I_h , A	I_b , A	v_h , cm/ph	$v_{c,dh}$, cm/ph	$G_{k,p}$, l/ph				
01	100	60	34	80	2	1,0	2,0	6,73	4,30
02	80	50	40	90	2	1,0	2,0	4,90	3,28
03	90	50	30	80	2	1,0	2,0	5,05	4,38
04	90	50	25	80	2	1,0	2,0	5,13	4,15
05	90	50	30	90	2	1,0	2,0	4,85	3,25
06	90	50	28	90	2	1,0	2,0	5,32	4,80
07	95	50	32	90	2	1,0	2,0	5,41	3,62
08	95	50	30	90	2	1,0	2,0	5,69	3,89
09	100	50	30	90	2	1,0	2,0	5,40	3,46

Phân tích số liệu thí nghiệm trong bảng 2, bảng 3 và các ảnh trên hình 3 và hình 4 cho thấy:

- Mẫu số 01: quan sát bề mặt ở phía trên của mẫu thí nghiệm này cho thấy mối hàn có kích thước chiều rộng ($b_T = 6,73$ mm) dọc theo đường hàn, phân bố rất đồng đều và độ nhấp nhô bề mặt khá mịn (hình 3, a), còn ở phía

dưới mối hàn chiều rộng của nó là $b_D = 4,3$ mm, phân bố chưa thật đồng đều dọc theo đường hàn (hình 3, b). Không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mối hàn. Tỷ lệ giữa chiều rộng mối hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,565$. Chế độ hàn ở mẫu số 01 có thể cho rằng đảm bảo được chất lượng mối hàn đạt mức tốt;



a) Mẫu 01 T



b) Mẫu 01 D



c) Mẫu 02 T



d) Mẫu 02 D



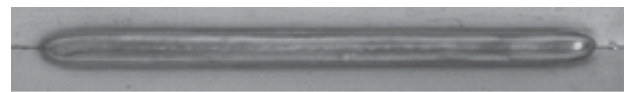
e) Mẫu 03 T



f) Mẫu 03 D



g) Mẫu 04 T



h) Mẫu 04 D



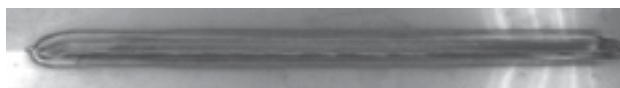
k) Mẫu 05 T



l) Mẫu 05 D

Hướng hàn dọc theo đường ghép nối →

Hình 3. Ảnh hình thái bề mặt mối hàn phụ thuộc vào các chế độ hàn thực nghiệm khác nhau (thép SUS 304, chiều dày 2,0 mm)



a) Mẫu 06 T



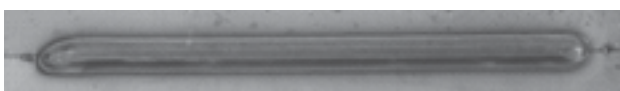
b) Mẫu 06 D



c) Mẫu 07 T



d) Mẫu 07 D



e) Mẫu 08 T



f) Mẫu 08 D



g) Mẫu 09 T



h) Mẫu 09 D

Hướng hàn dọc theo đường ghép nối →

Hình 4. Ảnh hình thái bề mặt mối hàn phụ thuộc vào các chế độ hàn thực nghiệm khác nhau (thép SUS 304, chiều dày 2,0 mm)



- Mẫu số 02: bề mặt phía trên mỗi hàn dọc theo đường hàn có các đoạn vật liệu mỗi hàn nóng chảy và kết tinh lại với hình dạng nhỏ giọt có kích thước lớn nhất $b_T = 4,9$ mm, liên kết giữa chúng tương đối cách đều và liên sát với nhau, nên khó phân biệt được khuyết tật dạng không hàn (hình 3, c). Tuy nhiên, ở phía dưới mỗi hàn cũng phát hiện thấy các giọt vật liệu mỗi hàn có kích thước nhỏ hơn nhiều ($b_D = 3,28$ mm) so với bề mặt phía trên, đồng thời rất dễ nhận thấy có các đoạn không hàn giữa chúng dọc theo liên kết đường hàn (hình 3, d). Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,493$. Chế độ hàn ở mẫu thí nghiệm số 02 được cho là chưa đạt yêu cầu;

- Mẫu số 03: mỗi hàn ở phía trên của mẫu thí nghiệm này có kích thước chiều rộng dọc theo đường hàn khá đồng đều, có giá trị là $b_T = 5,05$ mm và độ nhấp nhô bề mặt khá mịn (hình 3, e), còn ở phía dưới mỗi hàn chiều rộng của nó là $b_D = 4,38$ mm, tương đối đồng đều dọc theo đường hàn (hình 3, f). Ta nhận thấy kích thước trên mỗi hàn nhỏ hơn so với mẫu số 01, ở đây cũng không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mỗi hàn, hình thái bề mặt tương đối đẹp. Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,153$. Chế độ hàn ở mẫu số 03 cũng được cho là đảm bảo được chất lượng mỗi hàn đạt mức tốt;

- Mẫu số 04: mỗi hàn bề mặt ở phía trên của mẫu thí nghiệm này có kích thước chiều rộng dọc theo đường hàn có giá trị là $b_T = 5,13$ mm, phân bố khá đồng đều, và độ nhấp nhô bề mặt khá mịn (hình 3, g), còn ở phía dưới mỗi hàn chiều rộng của nó là $b_D = 4,15$ mm, tương đối đồng đều dọc theo đường hàn (hình 3, h). Ta nhận thấy kích thước trên mỗi

hàn trên mẫu số 04 so với mẫu số 03 đã giảm đáng kể, ở đây cũng không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mỗi hàn, hình thái bề mặt khá đẹp. Điều đó dẫn đến kích thước các vùng HAZ giảm. Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,236$. Chế độ hàn ở mẫu số 04 được cho là đảm bảo được chất lượng mỗi hàn đạt mức tốt;

- Mẫu số 05: mỗi hàn bề mặt ở phía trên của mẫu thí nghiệm này có kích thước chiều rộng dọc theo đường hàn có giá trị là $b_T = 4,85$ mm, phân bố khá đồng đều, và độ nhấp nhô bề mặt khá mịn (hình 3, k), còn ở phía dưới mỗi hàn chiều rộng của nó là $b_D = 3,25$ mm, tương đối đồng đều dọc theo đường hàn (hình 3, l). Ta nhận thấy kích thước trên mỗi hàn trên mẫu số 05 so với mẫu số 04 còn giảm khá nhiều, ở đây cũng không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mỗi hàn, hình thái bề mặt rất đẹp. Điều đó dẫn đến kích thước các vùng HAZ giảm đáng kể. Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,492$. Chế độ hàn ở mẫu số 05 được cho là đảm bảo được chất lượng mỗi hàn đạt mức tốt;

- Mẫu số 06: mỗi hàn bề mặt ở phía trên của mẫu thí nghiệm này có kích thước chiều rộng dọc theo đường hàn có giá trị là $b_T = 5,32$ mm, phân bố khá đồng đều, và độ nhấp nhô bề mặt rất mịn (hình 4, a), còn ở phía dưới mỗi hàn chiều rộng của nó là $b_D = 4,8$ mm, tương đối đồng đều dọc theo đường hàn (hình 4, b). Kích thước trên mỗi hàn trên mẫu số 06 so với mẫu số 05 có tăng lên đáng kể và ở đây không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mỗi hàn, hình thái bề mặt rất đẹp. Điều đó dẫn đến kích thước các vùng HAZ có thể tăng lên một

ít. Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,108$. Chế độ hàn ở mẫu số 06 được cho là đảm bảo được chất lượng mỗi hàn đạt mức tốt, tương đương như mẫu số 05;

- Mẫu số 07: mỗi hàn bề mặt ở phía trên của mẫu thí nghiệm này có kích thước chiều rộng dọc theo đường hàn có giá trị là $b_T = 5,41$ mm, phân bố khá đồng đều, và độ nhấp nhô bề mặt rất mịn (hình 4, c), còn ở phía dưới mỗi hàn chiều rộng của nó là $b_D = 3,62$ mm, tương đối đồng đều dọc theo đường hàn (hình 4, d). Kích thước trên mỗi hàn trên mẫu số 07 tương đương với mẫu số 06 và ở đây không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mỗi hàn, hình thái bề mặt rất đẹp. Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,494$. Chế độ hàn ở mẫu số 07 được cho là đảm bảo được chất lượng mỗi hàn đạt mức tốt, tương đương như mẫu số 06;

- Mẫu số 08: mỗi hàn bề mặt ở phía trên của mẫu thí nghiệm này có kích thước chiều rộng dọc theo đường hàn có giá trị là $b_T = 5,69$ mm, phân bố khá đồng đều, và độ nhấp nhô bề mặt rất mịn (hình 4, e), còn ở phía dưới mỗi hàn chiều rộng của nó là $b_D = 3,89$ mm, tương đối đồng đều dọc theo đường hàn (hình 4, f). Kích thước trên mỗi hàn trên mẫu số 08 tương đương với mẫu số 07 và ở đây không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mỗi hàn, hình thái bề

mặt rất đẹp. Kích thước các vùng HAZ có giá trị tương đương mẫu số 06 đã xét. Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,462$. Chế độ hàn ở mẫu số 08 được cho là đảm bảo được chất lượng mỗi hàn đạt mức tốt, tương đương như mẫu số 07;

- Mẫu số 09: mỗi hàn bề mặt ở phía trên của mẫu thí nghiệm này có kích thước chiều rộng dọc theo đường hàn có giá trị là $b_T = 5,4$ mm, phân bố khá đồng đều, và độ nhấp nhô bề mặt rất mịn (hình 3, g), còn ở phía dưới mỗi hàn chiều rộng của nó là $b_D = 3,46$ mm, tương đối đồng đều dọc theo đường hàn (hình 3, h). Kích thước trên mỗi hàn trên mẫu số 09 tương đương với mẫu số 08 và ở đây không phát hiện thấy các khuyết tật dạng không hàn trên toàn bộ chiều dài mỗi hàn, hình thái bề mặt rất đẹp. Kích thước các vùng HAZ có giá trị tương đương mẫu số 06 đã xét. Tỷ lệ giữa chiều rộng mỗi hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $b_T/b_D = 1,56$. Chế độ hàn ở mẫu số 09 được cho là đảm bảo được chất lượng mỗi hàn đạt mức tốt, tương đương như mẫu số 08.

3.2. Đánh giá đặc tính mỗi hàn thông qua tiêu chí biến dạng nhiệt kết cấu sau khi hàn

Kết quả đo độ uốn vòng lớn nhất do biến dạng nhiệt của các mẫu thí nghiệm sau khi hàn và làm nguội trong môi trường không khí tĩnh lặng cho trong bảng 3.



Bảng 3. Kết quả đo biến dạng lớn nhất tính trên chiều dài 100 mm của kết cấu mối hàn plasma:

Ký hiệu mẫu	Kích thước hình học và hình thái mối hàn, mm			Độ uốn võng lớn nhất tính trên 100 mm theo chiều dọc và chiều ngang mối hàn, mm						Trung bình $f_{T.B}^D + f_{T.B}^N$, $f_{T.B}^i$
	Dài, L_h	Tỷ lệ b_τ/b_d	Ảnh minh họa bề mặt	Theo chiều dọc mối hàn			Theo chiều ngang mối hàn			
				f_1^D	f_2^D	$f_{T.B}^D$	f_1^N	f_2^N	$f_{T.B}^N$	
01	280,0	1,565	Hình 3, a,b	3,3000	2,9500	3,1250	3,1500	3,9000	3,5250	3,3250
02	360,0	1,493	Hình 3, c,d	1,7300	1,3250	1,5275	2,4730	3,2700	2,8715	2,1995
03	320,0	1,153	Hình 3, e,f	3,7800	3,9050	3,8425	3,3000	3,3300	3,3150	3,5787
04	300,0	1,236	Hình 3, g,h	4,0500	3,5250	3,7875	3,7733	4,2700	4,0216	3,9040
05	300,0	1,236	Hình 3, k,l	1,2475	1,1975	1,2225	5,1700	5,4166	5,2933	3,2579
06	340,0	1,108	Hình 4, a,b	3,9975	3,8475	3,9225	3,5666	3,7733	3,6699	3,7962
07	340,0	1,494	Hình 4, c,d	1,9925	1,4250	1,7087	4,4000	4,5100	4,4550	3,0818
08	310,0	1,462	Hình 4, e,f	3,8975	3,2200	3,5587	3,4033	3,7000	3,5516	3,5551
09	300,0	1,560	Hình 4, g,h	2,9250	2,8250	2,8750	3,8733	4,1600	4,0166	3,4458

Phân tích các số liệu thống kê toán học thực nghiệm trong bảng 3 trên đây cho thấy: trong trường hợp hàn giáp mối dạng phẳng và vị trí hàn bằng, độ uốn võng lớn nhất do biến dạng nhiệt tính trên 100 mm chiều dài mối hàn theo hướng chiều dọc và chiều ngang mối hàn tùy thuộc vào các chế độ hàn khác nhau, có giá trị trung bình trong khoảng $2,1995 \div 3,904$ mm, tức gần bằng $1,1 \div 1,952$ lần chiều dày tấm thép hàn. Điều đó cho phép dự báo được biến dạng của kết cấu mối hàn trong không gian 2 chiều

so với mặt phẳng trước khi hàn cần kể đến khi thiết kế cách gá kẹp mẫu sao cho giảm thiểu biến dạng nhiệt trên sản phẩm chế tạo.

4. KẾT LUẬN

1) Thiết bị hàn plasma LINCOLN C3-MATIC 32-33 (mô-đen 450+/Plasma –SP7 Turnmatic TT) cho phép cài đặt chương trình hàn tự động theo các chế độ hàn khác nhau và giám sát trực tuyến phía trước mối hàn qua

đánh giá bởi tiêu chí hình thái bề mặt và độ uốn võng do biến dạng nhiệt hoàn toàn đảm bảo chất lượng các mối hàn giáp mối thép không gỉ tấm mỏng SUS 304 có chiều dày 2 mm ở mức rất tốt và ổn định. Tỷ lệ giữa chiều rộng mối hàn phía trên so với phía dưới có giá trị là $= 1,108 \div 1,565$. Hình thái bề mặt phía trên và phía dưới của đa số các mối hàn đều đẹp, đảm bảo chất lượng liên kết giáp mối tốt.

2) Do khuôn khổ hạn hẹp theo quy định chung của Tạp chí, đặc tính bền cơ học và đặc điểm tổ chức tế vi của mối hàn plasma thép không gỉ tấm mỏng SUS 304 khảo sát trên các mẫu thí nghiệm trên đây sẽ được nhóm nghiên cứu công bố trong một số bài báo khác ở những số ra tiếp sau số này. ❖

Ngày nhận bài: **10/5/2022**

Ngày phản biện: **18/5/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Automation catalogue-eng.
- [2]. www.airliquidewelding.com: Tài liệu kỹ thuật thiết bị hàn plasma của hãng LINCOLN (Mỹ) C3 MATIC SF 32-33/PILOT PRO, N450+Plasma SP7 Turnmatic TT.
- [3]. Kondapalli Siva Prasad, Ch. Srinivasa Rao, D. Nageswara Rao, (2011), Prediction of Weld Pool Geometry in Pulsed Current Micro Plasma Arc Welding of SS304L Stainless Steel Sheets, International Transaction Journal of Engineering, Management & Applied Sciences & Technologies, Volume 2 No.3, pp.325-336.
- [4]. Kondapalli Siva Prasad, Ch. Srinivasa Rao, D. Nageswara Rao, (2011), A Study on Weld Quality Characteristics of Pulsed Current Micro Plasma Arc Welding of SS304L Sheets, International Transaction Journal of Engineering, Management & Applied Sciences & Technologies, Volume 2 No.3, pp.437-446.