

Xác định dải năng lượng đường phù hợp cho liên kết giáp mối thép không gỉ chịu nhiệt SUS316L bằng mô phỏng số

Determining the Suitable Heat Input Range for Butt Joint Made by Heat Resistance Stainless Steel SUS316L by Using the Numerical Simulation

Đỗ Văn Long¹, Vũ Đình Toại^{2*}

¹ Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải Trung ương 2, Hải Phòng, Việt Nam

² Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

*Email: toai.vudinh@hust.edu.vn

Tóm tắt

Một trong những biện pháp giảm giá thành sản phẩm để tăng tính cạnh tranh là hạn chế được tối đa phế phẩm cũng như chi phí sản xuất thử nghiệm và mô phỏng số là công cụ hữu ích để giải quyết nhiệm vụ đó. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm SYSWELD để tính toán xác định trước dải năng lượng đường phù hợp để hàn các lớp cụ thể trong liên kết hàn giáp mối bằng thép không gỉ chịu nhiệt ứng dụng trong các nhà máy hóa chất, dầu khí và năng lượng. Tính toán chỉ ra rằng với liên kết giáp mối thép SUS316L dày 8 mm, hàn 2 lớp bằng quá trình hàn MIG thì năng lượng đường phù hợp của lớp lót là $506 \text{ J/mm} \leq q_{dl} \leq 650 \text{ J/mm}$ và năng lượng đường phù hợp với lớp phủ là $754 \text{ J/mm} \leq q_{dl} \leq 1066 \text{ J/mm}$.

Từ khóa: thép SUS316L, Sysweld, năng lượng đường phù hợp, hàn MIG

Abstract

One of the methods for reducing the production costs to increase competitiveness is to minimize waste products as well as the cost of testing products, and numerical simulation is a useful tool to solve this task. In this study, the authors use SYSWELD software to compute in advance the suitable heat input range to weld specific layers in heat-resistant stainless steel butt welded joints in chemical plants, oil and gas, and energy. The simulation results show that with the butt-welded joint made by SUS316L steel in 8 mm thick and welded by the MIG welding process, the appropriate heat input of the root pass is $506 \text{ J/mm} \leq q_{dl} \leq 650 \text{ J/mm}$ and the heat input suitable for cap pass is $754 \text{ J/mm} \leq q_{dl} \leq 1066 \text{ J/mm}$.

Keywords: SUS316L steel, Sysweld, suitable heat input, MIG welding

1. Giới thiệu

Đối với mỗi vật liệu cụ thể cùng với một dạng liên kết xác định thì sẽ có một dải chế độ hàn phù hợp, đặc trưng trực tiếp bởi năng lượng đường. Nếu hàn với năng lượng đường thấp thì liên kết sẽ có ứng suất dư và biến dạng nhiệt nhỏ. Tuy nhiên, nếu năng lượng đường mà nhỏ hơn mức cần thiết thì sẽ dẫn tới hàng loạt khuyết tật như: hàn không ngấu, liên kết nguội nhanh dẫn đến hình thành các tổ chức kim loại cứng, giòn, dễ nứt. Mặt khác, nếu hàn với năng lượng đường lớn hơn mức cho phép thì liên kết hàn sẽ bị chảy xệ hoặc cháy thủng, vùng ảnh hưởng nhiệt lớn, ứng suất dư và biến dạng hàn lớn làm giảm khả năng làm việc của kết cấu. Như vậy, việc thực hiện hàn ở một giá trị năng lượng đường hợp lý là tối quan trọng nên việc xác định dải năng lượng đường phù hợp với liên kết và vật liệu cụ thể là rất cần thiết. Trong thực tế có 3 cách xác định dải năng lượng đường phù hợp đối với một liên kết hàn cụ thể đó là: 1) tính toán theo lý thuyết, 2) thực nghiệm và 3) mô phỏng số. Việc tính toán theo lý thuyết có độ chính xác thấp và rất phức tạp do trong

bài toán hàn thì các tính chất của vật liệu là hàm số của cả nhiệt độ và tổ chức kim loại. Việc xác định dải năng lượng đường phù hợp bằng thực nghiệm cho kết quả thực tế và chính xác nhất nhưng lại mất rất nhiều thời gian và đặc biệt là rất tốn kém. Nhờ sự phát triển vượt bậc của máy tính điện tử và các phương pháp toán số mà ngày nay người ta đã xây dựng được các phần mềm mô phỏng có độ chính xác khá cao, đáp ứng được các đòi hỏi của thực tế. Lợi thế của mô phỏng số là cho ta biết trước được các sự kiện sẽ xảy ra trong thực nghiệm, các kết quả trực quan, giảm được rất nhiều thời gian và chi phí thực nghiệm. Từ những lý do đó mà nhóm tác giả lựa chọn phương pháp mô phỏng số để tính toán xác định dải năng lượng đường phù hợp cho liên kết hàn giáp mối thép không gỉ chịu nhiệt SUS316L.

2. Xây dựng bài toán mô phỏng

2.1. Mô hình phần tử hữu hạn

Mô hình nghiên cứu là liên kết hàn giáp mối bằng thép không gỉ chịu nhiệt SUS316L với chiều dày 8 mm

và thực hiện bằng quá trình hàn MIG. Theo quy phạm AWS D1.6 [1] thì mỗi tấm phôi phải có kích thước tối thiểu là (Dài x Rộng x Dày) = 150 x 350 x 8 (mm) và liên kết hàn này được vát mép dạng chữ V với các thông số cụ thể như sau: khe đáy $R = 2\text{mm}$, mặt đáy $f = 2\text{ mm}$, góc rãnh hàn $\alpha = 60^\circ$. Áp dụng các công thức trong tài liệu [2] ta xác định được số lớp hàn của liên kết hàn này là $n = 2$. Sử dụng mô đun Visual-Mesh của phần mềm SYSWELD để xây dựng mô hình 3D và chọn loại phần tử 6 mặt 18 nút để chia lưới ta được kết quả biểu diễn trên hình 1.

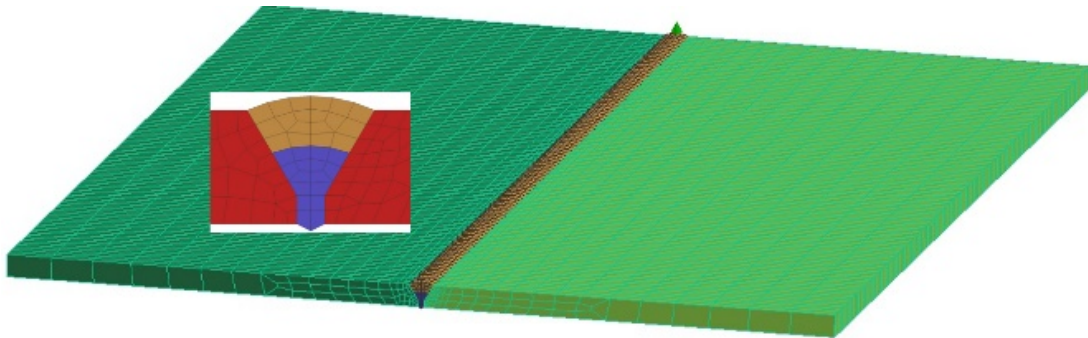
2.2. Mô hình nguồn nhiệt hàn

Vật liệu nghiên cứu là thép không gỉ SUS316L nên tác giả chọn quá trình hàn MIG để thực hiện và áp

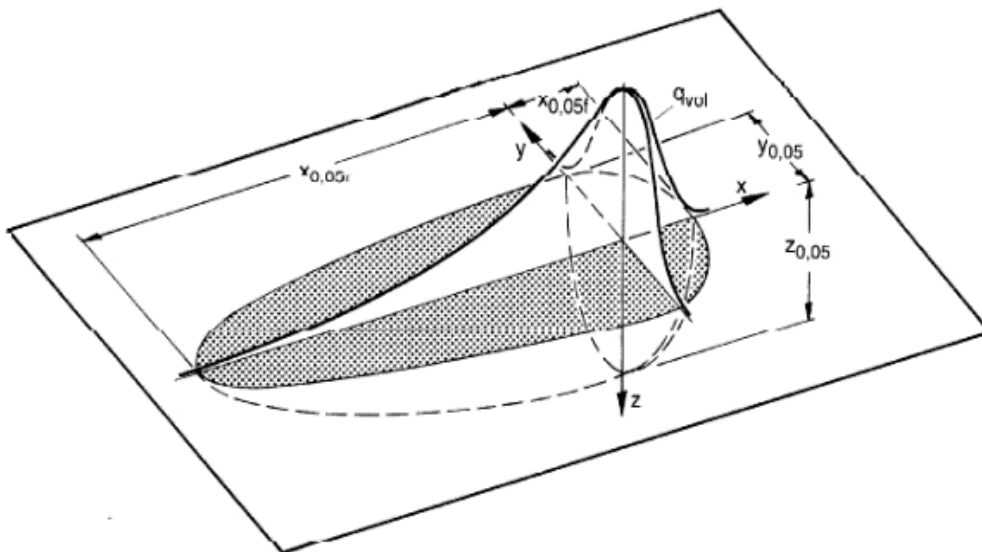
dụng mô hình nguồn nhiệt hồ quang di động của tác giả Radaj như trên hình 2. Mô hình nguồn nhiệt này được tích hợp sẵn trong mô đun Visual-Weld của phần mềm SYSWELD.

2.3. Các thông số vật liệu

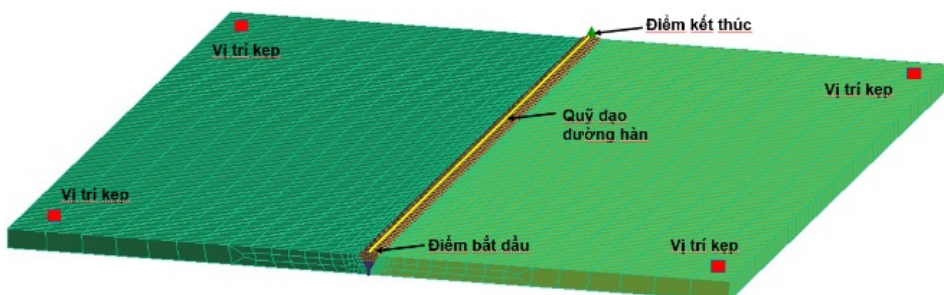
Một bộ thông số đầy đủ về cơ - nhiệt - kim loại học là hàm số của cả nhiệt độ và tổ chức kim loại của thép không gỉ chịu nhiệt SUS316L, được xác định bằng lý thuyết nhiệt động - kim loại học và đo đạc bằng thực nghiệm, được tích hợp sẵn trong ngân hàng dữ liệu vật liệu trong phần mềm SYSWELD [4]. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng bộ thông số cơ - nhiệt - kim loại học của thép SUS316 sẵn có trong ngân hàng dữ liệu của SYSWELD.



Hình 1. Mô hình PTHH của liên kết giáp mối 2 lớp



Hình 2. Mô hình nguồn nhiệt hồ quang di động của Radaj [3]



Hình 3. Vị trí kẹp phôi và quỹ đạo đường hàn

2.4. Điều kiện biên và điều kiện đầu

Vỏ của mô hình, nơi diễn ra quá trình đối lưu và bức xạ nhiệt từ mô hình ra môi trường là những phần tử 2D đã được xây dựng và gắn vào các phần tử 3D trên hình 1. Hàm truyền nhiệt này được xác định bằng thực nghiệm và được nhập vào phần mềm SYSWELD để tính toán.

Trước khi tính toán, vị trí và kiểu gá kẹp trên mô hình phải được mô tả đúng với thực tế. Trong nghiên cứu này, tác giả kẹp chặt mô hình ở 4 góc như thể hiện trên hình 3.

Ở bài toán này, nhiệt độ tại thời điểm trước khi hàn của toàn bộ mô hình bằng đúng nhiệt độ của môi trường và bằng 30 °C.

2.5. Thiết lập các thông số tính toán

Mô phỏng yêu cầu phải mô tả đúng với thực tế và trong nghiên cứu này tác giả đã xây dựng 2 quỹ đạo đường hàn thẳng, không dao động ngang, theo đúng yêu cầu của hàn thép không gỉ. Vị trí bắt đầu của hồ quang cũng nằm ở một đầu của mép hàn và điểm kết thúc hồ quang cũng nằm ở cuối mép hàn như trình bày trên hình 3. Tốc độ hàn được giữ cố định như tính toán sơ bộ (tốc độ lớp lót = 5 mm/s, tốc độ lớp phủ = 4 mm/s).

Để tính toán xác định dải năng lượng đường phù hợp đối với liên kết hàn nghiên cứu, tác giả tiến hành tính toán ở nhiều dự án với các năng lượng đường khác nhau như mô tả trong bảng 1 dưới đây. Xuất phát từ năng lượng đường sơ bộ tính theo lý thuyết (ở PA4), tiến hành mô phỏng lần lượt với các năng lượng đường giảm dần cho đến khi không đủ ngấu liên kết nữa thì dừng lại (PA1). Tiếp tục thực hiện tương tự theo hướng tăng năng lượng đường cho đến khi liên kết hàn bị cháy thủng thì dừng lại (PA6).

Bảng 1. Các thông số tính toán mô phỏng

Dự án	Năng lượng đường lớp lót q_{dl} [J/mm]	Năng lượng đường lớp phủ q_{dp} [J/mm]
PA1	440	702
PA2	506	754
PA3	552	910
PA4	600	1066
PA5	650	1118
PA6	702	1170

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

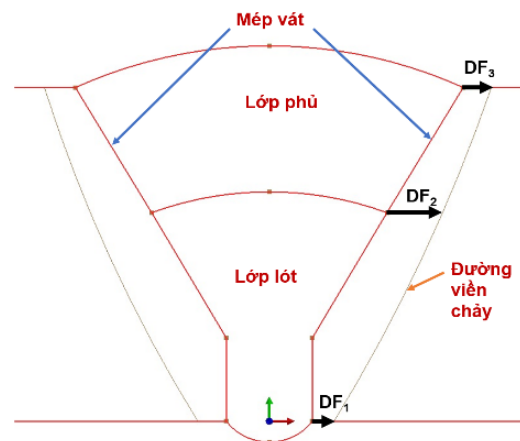
3.1. Xác định tiêu chuẩn đánh giá

Giả sử ký hiệu chiều sâu chảy ở đáy liên kết là DF_1 , ở chỗ tiếp giáp 2 lớp hàn là DF_2 và ở mặt trên là DF_3 (hình 4) thì điều kiện tiên quyết đảm bảo việc hình thành được liên kết hàn (hàn ngấu) là cả 3 chiều sâu chảy này đều lớn hơn 0 - nghĩa là các mép vát đã được

nung chảy hoàn toàn. Mặt khác theo tài liệu [5], đối với thép không gỉ, nếu chiều sâu chảy ở đáy liên kết (DF_1) mà lớn hơn 1,4 mm thì mối hàn sẽ bị khuyết tật chảy xệ, thậm chí là chảy thủng. Đồng thời nếu chiều sâu chảy ở mặt trên (DF_3) mà lớn hơn 1,7 mm thì mối hàn bị khuyết tật cháy cạnh. Như vậy, để bảo đảm liên kết hàn được hình thành và tránh được 2 loại khuyết tật trên thì liên kết hàn phải có:

$$0 < DF_1 < 1,4 \text{ mm}; \quad 0 < DF_2; \quad 0 < DF_3 < 1,7 \text{ mm}$$

Gốc để xác định DF là bề mặt mép vát và quy ước DF theo chiều mũi tên trên hình 4 có giá trị dương còn theo chiều ngược lại có giá trị âm.



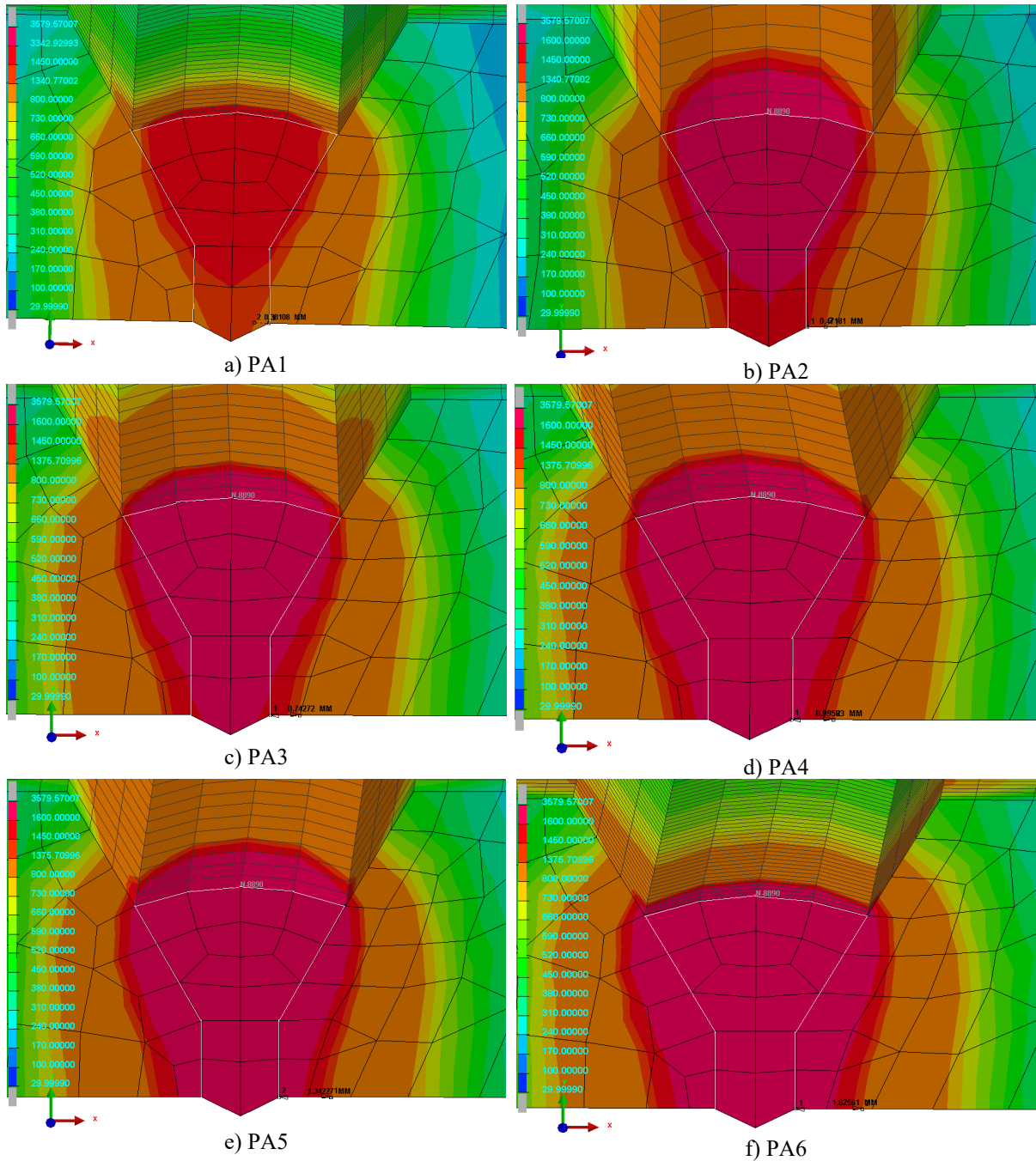
Hình 4. Quy ước chiều sâu chảy ở các vùng

Sau khi xây dựng mô hình 3D, chia lưới, tạo vỏ trao đổi nhiệt, đặt điều kiện gá kẹp, tạo các đường hàn, gán các thuộc tính vật liệu, gán mô hình nguồn nhiệt và đặt tải lên mô hình là các năng lượng đường trong bảng 1 rồi tiến hành tính toán ta thu được các kết quả trong các mục 3.2 và 3.3 dưới đây:

3.2. Trường nhiệt khi hàn lớp lót

Theo tài liệu [5] nhiệt độ nóng chảy của thép SUS316L là 1450 °C và nhiệt độ bắt đầu chuyển biến pha của thép này là 800 °C. Sử dụng thang đo biểu diễn các đường đẳng nhiệt có chứa 2 giá trị quan trọng là 1450 °C (màu đỏ) và 800 °C (màu cam nhạt) và tiến hành cắt ngang liên kết hàn tại vị trí tâm hồ quang ta được các kết quả thể hiện trên hình 5.

Các kết quả tính toán mô phỏng bằng phần mềm SYSWELD cho biết rằng: Khi hàn lớp lót với năng lượng đường $q_{dl} = 440$ J/mm, sử dụng công cụ Measure của mô-đun Visual-Viewer ta đo được chiều sâu chảy ở đáy liên kết $DF_1 = -0,38$ mm và ở mặt trên lớp lót $DF_2 < 0$ (hình 5a) - điều này có nghĩa là liên kết hàn không ngấu. Từ đây suy ra rằng nếu hàn lớp lót với năng lượng đường từ 440 J/mm trở xuống thì chắc chắn không tạo được lớp hàn lót cho liên kết hàn giáp mối thép SUS316L dày 8mm. Khi hàn với năng lượng đường $q_{dl} = 506$ J/mm thì đo được $DF_1 = 0,42$ mm và đồng thời $DF_2 > 0$ (hình 5b) - như vậy chế độ hàn với năng lượng đường 506 J/mm thì liên kết đã bắt đầu đủ ngấu đường hàn lót.



Hình 5. Phân bố nhiệt độ trên tiết diện ngang liên kết hàn khi hàn lớp lót.

Tiếp tục tăng giá trị của năng lượng đường theo các dự án PA3, PA4 và PA5 như mô tả trong bảng 1 thì thu được các kết quả tương ứng trên hình 5c, 5d và 5e. Ta nhận thấy rằng khi tăng năng lượng đường thì các chiều sâu chảy DF_1 và DF_2 đều tăng lên, nghĩa là điều kiện nguội của đường hàn lót được bảo đảm. Ở phương án PA5 với năng lượng đường $q_{dl} = 650 \text{ J/mm}$ thì $DF_1 = 1,342 \text{ mm}$ - tiệm cận với điều kiện xuất hiện khuyết tật chảy xệ đáy liên kết. Khi hàn với năng lượng đường $q_{dl} = 702 \text{ J/mm}$ (dự án PA6) thì đo được chiều sâu chảy đáy liên kết $DF_1 = 1,626 \text{ mm}$ (hình 5f)- vượt điều kiện cho phép như đã dẫn ở mục 3.1. Như vậy nếu hàn ở năng lượng đường 702 J/mm trở lên thì chắc chắn liên kết hàn sẽ bị khuyết tật chảy xệ đáy, thậm chí

là chảy thủng. Dựa vào các kết quả tính toán cho lớp lót này ta tìm ra được dải năng lượng đường phù hợp để hàn lớp lót cho liên kết hàn giáp môi thép không gỉ chịu nhiệt SUS316L dày 8mm là $506 \text{ J/mm} \leq q_{dl} \leq 650 \text{ J/mm}$.

3.3. Trường nhiệt khi hàn lớp phủ

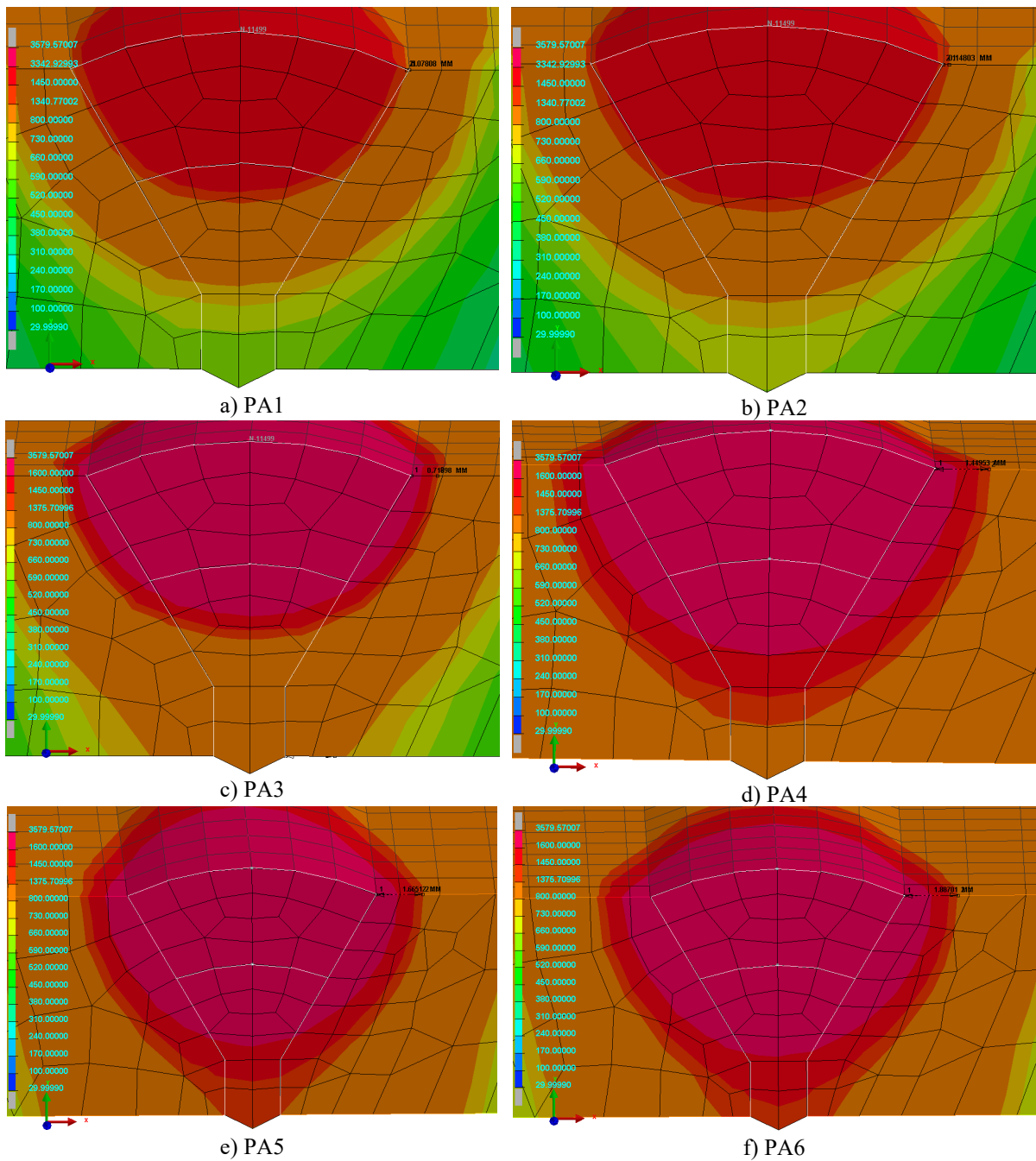
Sau khi hàn xong lớp lót, tiếp tục tiến hành hàn lớp phủ với dải năng lượng đường q_{dp} như mô tả trong bảng 1 ta nhận được kết quả trường nhiệt độ theo tiết diện ngang liên kết thể hiện trên hình 6.

Khi hàn lớp phủ với năng lượng đường $q_{dp} = 702 \text{ J/mm}$ (PA1) thì chiều sâu chảy

$DF_3 = -0,078$ mm và không nấu chảy hết toàn bộ bề mặt đường hàn lót cũng như bề mặt mép vát (hình 6a). Trường hợp này mắc đồng thời 2 khuyết tật là không ngẫu mép liên kết và không ngẫu giữa các lớp hàn. Khi hàn với năng lượng đường $q_{đp} = 754$ J/mm (PA2) thì $DF_3 = 0,115$ mm và vừa đủ ngẫu hết cả mép vát lẫn bề mặt đường hàn lót (hình 6b). Nghĩa là năng lượng đường này vừa đủ để hình thành lớp hàn phủ. Tiếp tục tính toán với giá trị $q_{đp}$ tăng dần trong các dự án PA3, PA4, PA5 (bảng 1) ta nhận được các kết quả tương ứng trên hình 6c, 6d và 6e. Ta thấy rằng khi tăng $q_{đp}$ thì chiều sâu chảy DF_3 tăng lên và mép vát cũng như lớp hàn lót bị nấu chảy nhiều hơn, nghĩa là điều kiện hình thành đường hàn phủ được bảo đảm. Ở dự án PA5 với

$q_{đp} = 1118$ J/mm thì $DF_3 = 1,665$ mm - tiệm cận với điều kiện bị khuyết tật cháy cạnh, nhưng lớp phủ đã nấu chảy gần hoàn toàn lớp lót nên không phù hợp. Khi hàn với $q_{đp} = 1170$ J/mm (PA6) thì $DF_3 = 1,878$ mm - liên kết bị khuyết tật cháy cạnh và đường hàn phủ đã nấu chảy toàn bộ đường hàn lót (hình 6f).

Từ các kết quả tính toán cho lớp phủ ta tìm ra được dải năng lượng đường phù hợp để hàn lớp phủ cho liên kết giáp mối thép SUS316L dày 8 mm là $754 \text{ J/mm} \leq q_{đp} \leq 1066 \text{ J/mm}$. Tổng hợp các kết quả tính toán chiều sâu chảy cho các lớp lót và lớp phủ được trình bày trong bảng 2.



Hình 6. Phân bố nhiệt độ trên tiết diện ngang liên kết hàn khi hàn lớp phủ.

Bảng 2. Chiều sâu chảy khi hàn ở các phương án

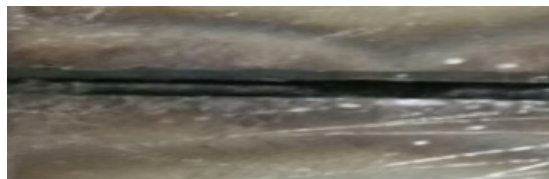
Dự án	DF_1 [mm]	DF_2 [mm]	DF_3 [mm]
PA1	-0,38	< 0	- 0,078
PA2	0,42	> 0	0,115
PA3	0,743	> 0	0,719
PA4	0,995	> 0	1,45
PA5	1,342	> 0	1,665
PA6	1,626	> 0	1,878

Kết quả thực nghiệm hàn liên kết giáp mối thép không gỉ 316L với các năng lượng đường khác nhau ở

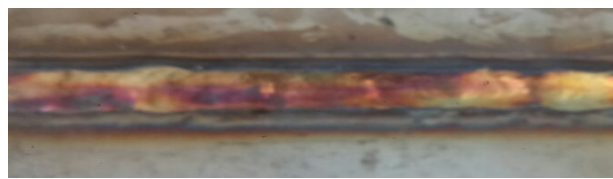
bảng 1 được trình bày trong hình 7 dưới đây. Khi hàn theo PA1 với năng lượng đường khá nhỏ thì lớp hàn lót không ngẫu hai mép chân, đường hàn phủ cũng bị hạt kích thước (lỗ) bề mặt.

Khi hàn theo PA2 với năng lượng đường lớn hơn PA1 thì lớp lót đã đủ ngẫu, lớp phủ cũng ngẫu đủ sang hai bên mép. Bề mặt mỗi hàn không được đều có thể là do nhiệt độ vùng kim loại lỏng chưa đủ cao để tăng tính chảy loãng cần thiết cho KLMH.

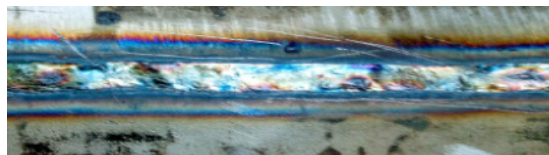
Khi hàn theo PA3 với năng lượng đường lớn hơn PA2 thì liên kết hàn nhận được có ngoại dạng khá đẹp. Chân mối hàn ngẫu hết và có độ lồi đều đặn. Bề mặt mỗi hàn cũng ngẫu đủ sang hai bên mép và có bề rộng đều đặn.



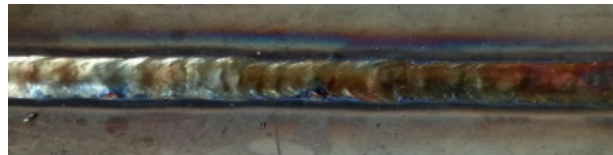
a) PA1 - mặt đáy



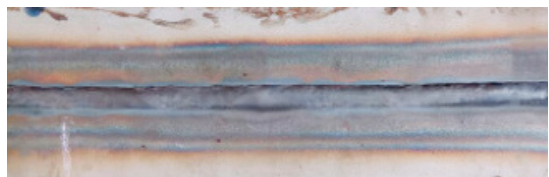
b) PA1 - mặt trên



c) PA2 - mặt đáy



d) PA2 - mặt trên



e) PA3 - mặt đáy



f) PA3 - mặt trên



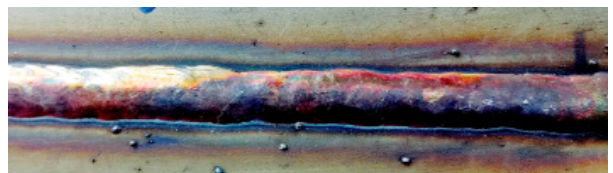
g) PA4 - mặt đáy



h) PA4 - mặt trên



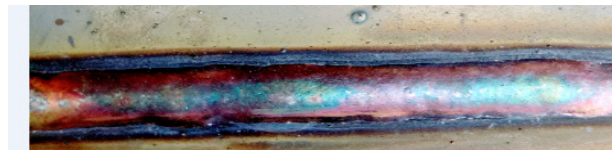
i) PA5 - mặt đáy



j) PA5 - mặt trên



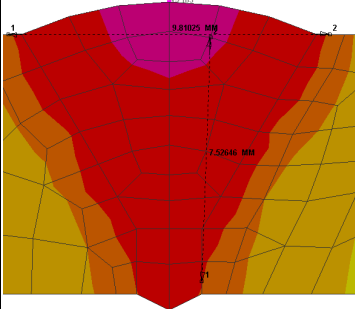

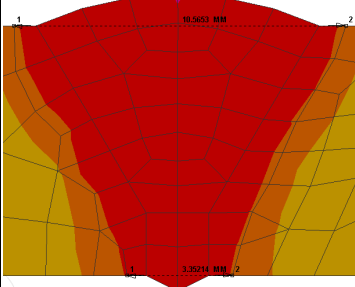
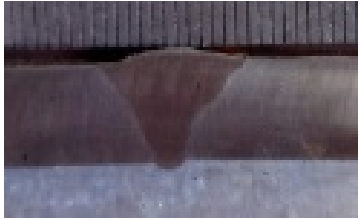
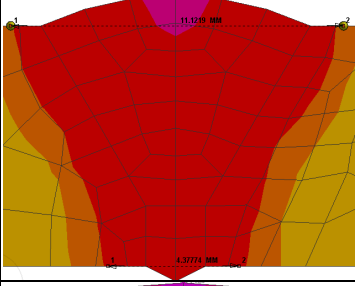

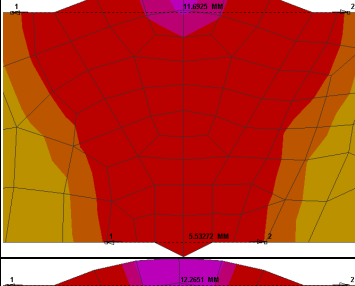

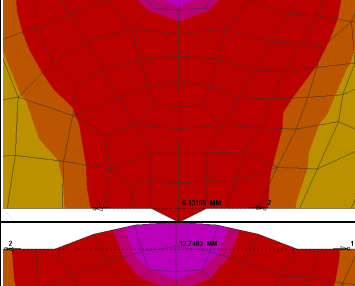

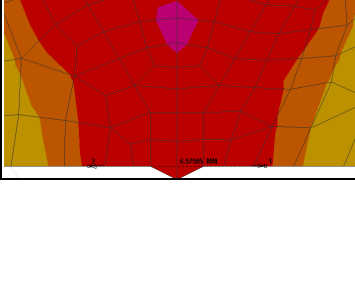

k) PA6 - mặt đáy



l) PA6 - mặt trên

Hình 7. Hình ảnh ngoại dạng của liên kết hàn khi hàn ở các phương án

Bảng 3. So sánh kích thước mối hàn giữa mô phỏng và thực nghiệm

TT	Hình ảnh mô phỏng	Kích thước theo mô phỏng	Hình ảnh Macro	Kích thước đo thực tế
PA1		Mối hàn bị lõm mặt, đáy không thấu. $B = 9,81 \text{ mm}$, $h = 7,53 \text{ mm}$		Mối hàn bị lõm mặt, đáy không thấu. $B = 11,5 \text{ mm}$, $h = 7,3 \text{ mm}$
PA2		Mối hàn ngẫu hoàn toàn. $B = 10,6 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$ $b = 3,35 \text{ mm}$		Mối hàn ngẫu hoàn toàn. $B = 12,5 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$, $b = 3 \text{ mm}$
PA3		Mối hàn ngẫu hoàn toàn. $B = 11,2 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$ $b = 4,38 \text{ mm}$		Mối hàn ngẫu hoàn toàn. $B = 13,5 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$, $b = 4 \text{ mm}$
PA4		Mối hàn ngẫu hoàn toàn. $B = 11,7 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$ $b = 5,5 \text{ mm}$		Mối hàn ngẫu hoàn toàn. $B = 14 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$, $b = 4,5 \text{ mm}$
PA5		Mối hàn chảy xệ. $B = 12,3 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$ $b = 6,13 \text{ mm}$		Mối hàn chảy xệ. $B = 14,5 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$, $b = 5,5 \text{ mm}$.
PA6		Mối hàn chảy xệ. $B = 12,7 \text{ mm}$ $h = 8 \text{ mm}$ $b = 6,6 \text{ mm}$		Mối hàn chảy xệ. $B = 15 \text{ mm}$ $h = 8 \text{ mm}$ $b = 6 \text{ mm}$

Khi hàn theo PA4 với năng lượng đường lớn hơn so với PA3, kết quả nhận được liên kết hàn ngấu hết lớp lót, tuy nhiên độ lồi đáy của liên kết khá cao. Điều này có thể hiểu là do độ chảy loãng của kim loại vũng hàn khá cao và chiều sâu chảy ở phía chân mỗi hàn lớn nên kim loại ở lớp lót bị chảy xệ. Hình dáng của lớp phủ trong trường hợp này cũng đều và đẹp tương tự PA3, tuy nhiên bề mặt mỗi hàn có màu sẫm hơn so với PA3. Khi hàn theo PA5 với năng lượng đường cao hơn so với PA4, kết quả nhận được lớp lót bị chảy xệ quá nhiều, độ lồi đáy nằm trong phạm vi 2 - 4 mm và bề rộng đáy không đều. Điều này là do nhiệt độ vũng hàn quá lớn làm tăng tính chảy loãng và chiều sâu chảy hai bên mép đáy. Hình dáng bề mặt mỗi hàn vẫn đẹp, ngấu sang hai bên mép vát nhiều hơn, bề rộng mặt mỗi hàn tương đối đều như PA4 nhưng màu sắc kim loại ở bề mặt bị đổi sang đỏ - nâu. Điều này có thể hiểu là kim loại mỗi hàn bắt đầu có hiện tượng quá nhiệt.

Khi hàn theo PA6 với năng lượng đường tăng hơn so với PA5, kết quả nhận được liên kết hàn có lớp lót bị lồi quá mức, một vài chỗ xuất hiện cháy thủng. Có thể khẳng định rằng hàn với năng lượng đường lớp lót của PA6 là không đạt yêu cầu. Ở phía trên, bề mặt mỗi hàn nhận được tuy đều về bề rộng và độ lồi, nhưng hai bên mép chân bị cháy đen do quá nhiệt. Bề mặt mỗi hàn cũng bị chuyển sang màu nâu - đen. Tổng hợp các đặc điểm nêu trên có thể khẳng định chế độ hàn theo PA6 là không phù hợp với liên kết hàn nghiên cứu.

Kết quả thực nghiệm của cả 6 phương án trên hình 7 cũng phản ánh đúng với các kết quả tính toán mô phỏng trên các hình 5 và 6, điều này chứng tỏ rằng mô hình cũng như các điều kiện tính toán đã sử dụng trong nghiên cứu này là phù hợp và đạt độ chính xác cần thiết.

Bảng 3 trình bày kết quả đo đạc thực nghiệm kích thước mỗi hàn so với tính toán mô phỏng. Ta dễ nhận thấy rằng quy luật thay đổi kích thước mỗi hàn giữa mô phỏng và thực nghiệm đều diễn tả đúng với lý thuyết hàn, tuy nhiên giá trị các thông số đo được có sự sai khác do sai số của phép đo và điều kiện thí nghiệm thực tế không lý tưởng như mô phỏng. Mặt khác sự sai khác này là không lớn nên có thể chấp nhận được trong phạm vi kỹ thuật.

4. Kết luận

Sử dụng máy tính điện tử và phần mềm tính toán mô phỏng sẽ cho biết và dự đoán trước được các sự kiện sẽ xảy ra trong thực nghiệm, từ đó giúp chúng ta

tìm ra được dải thông số công nghệ thích hợp nhất để áp dụng trong thực tế. Mô phỏng sẽ giúp cho quá trình thực nghiệm nhanh hội tụ đến đích và giảm được rất nhiều chi phí do không phải thực nghiệm ở vùng thông số không thích hợp. Đối với các bài toán mới, nếu chỉ tiến hành nghiên cứu thực nghiệm đơn thuần thì sẽ mất rất nhiều thời gian và đặc biệt là chi phí thí nghiệm (Số lượng thí nghiệm có thể phải lên tới hàng chục, thậm chí tới hàng trăm - gây ra một sự tốn kém và lãng phí rất lớn).

Nghiên cứu này đã xây dựng được cách thức xác định dải năng lượng đường phù hợp với loại liên kết hàn và vật liệu cụ thể bằng phương pháp mô phỏng số nhằm mục đích giảm chi phí sản xuất thử nghiệm, giảm khuyết tật hàn, tiết kiệm thời gian, giảm phế phẩm để có thể hạ giá thành sản xuất.

Đối với liên kết hàn giáp mối bằng thép không gỉ chịu nhiệt SUS316L dày 8mm thì khi hàn lớp lót chỉ được thực hiện với năng lượng đường thuộc dải là $506 \text{ J/mm} \leq q_{dl} \leq 650 \text{ J/mm}$. Đối với lớp phủ thì dải năng lượng đường phù hợp là $754 \text{ J/mm} \leq q_{dp} \leq 1066 \text{ J/mm}$.

Việc xác định dải năng lượng đường phù hợp đối với các lớp hàn là tiền đề quan trọng để tiên tối ưu hóa chế độ công nghệ hàn và sẽ được trình bày trong bài báo tiếp theo.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã cung cấp tài chính cho đề tài T2018-PC-033 để nghiên cứu này thực hiện thành công.

Tài liệu tham khảo

- [1] American Welding Society, AWS D1.6 : 2015 - Structural Welding Code - Stainless steel. 550N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126.
- [2] Ngô Lê Thông, Công nghệ hàn điện nóng chảy. Tập 1 - Cơ sở lý thuyết, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội 2007.
- [3] Radaj, D. (1999), Schweißprozess- Simulation Grundlagen und Anwendungen. Fachbuchreihe Schweisstechnik, DVS Verlag, 1999.
- [4] ESI Group, Sysweld 2017 Reference Manual, January 2017.
- [5] Ngô Lê Thông, Công nghệ hàn điện nóng chảy. Tập 2 - Ứng dụng, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội 2008.