



MÔ PHỎNG VÀ TÍNH TOÁN BIẾN DẠNG CỦA LIÊN KẾT HÀN GIÁP MỐI HỢP KIM NHÔM

Ngô Thị Thảo^{1,*}, Vũ Văn Linh^{1,2}, Thân Văn Thế¹

¹Trường Đại học Sư Phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Cơ khí động lực- Trường cao đẳng kinh tế kỹ thuật Tô Hiệu Hưng Yên

E-mail: ngothaohnt@gmail.com; vulinhhungyen@gmail.com; thanthe.ck@gmail.com

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 10/10/2019

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 30/10/2019

Ngày bài báo được duyệt đăng: 16/11/2019

Tóm tắt:

Biến dạng là một hiện tượng không thể tránh khỏi trong mọi quá trình hàn, ảnh hưởng đến chất lượng của kết cấu, tính thẩm mỹ cũng như hiệu quả kinh tế của sản phẩm hàn. Trong nghiên cứu này sẽ ứng dụng phần mềm Comsol Multiphysics để mô phỏng biến dạng của liên kết giáp mối hợp kim nhôm A1060 với các chế độ hàn khác nhau. Biến dạng của liên kết hàn giáp mối bao gồm biến dạng do co dọc, biến dạng do co ngang và biến dạng góc được tính toán lý thuyết dựa vào mô hình thực nghiệm. So sánh kết quả biến dạng mô phỏng và tính toán cho thấy có sự tương thích cao, điều này chứng tỏ phương pháp mô phỏng phù hợp rất tốt với lý thuyết tính toán. Ngoài ra, ảnh hưởng của cường độ dòng điện hàn đến biến dạng của liên kết hàn cũng được nghiên cứu. Kết quả cho thấy biến dạng hàn tăng khi cường độ dòng điện hàn tăng và ngược lại. Mô hình phân tích ở đây có thể dự đoán được biến dạng của liên kết hàn với các chế độ hàn khác nhau và là cơ sở cho việc lựa chọn được chế độ hàn hợp lý giúp giảm biến dạng.

Từ khóa: Liên kết hàn giáp mối; biến dạng; Comsol; hợp kim nhôm.

1. Giới thiệu

Biến dạng hàn là hiện tượng xảy ra do sự co ngót không đều giữa kim loại mối hàn và kim loại cơ bản trong quá trình nung nóng và làm nguội. Biến dạng có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của sản phẩm do vậy ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng làm việc của kết cấu hàn. Ngoài ra, biến dạng có thể gây phát sinh chi phí và thời gian sửa chữa, giảm tính thẩm mỹ của sản phẩm. Vì vậy, dự đoán được biến dạng hàn và giảm thiểu được ảnh hưởng của biến dạng đến khả năng làm việc của kết cấu hàn đóng vai trò quan trọng trong chế tạo kết cấu cơ khí.

Gần đây có rất nhiều nghiên cứu được thực hiện để tìm hiểu về biến dạng hàn và ảnh hưởng của chúng đến độ bền cũng như khả năng làm việc của kết cấu. Thân Văn Thế và các cộng sự [1] đã ứng dụng phần mềm ANSYS để mô phỏng và dự đoán nhiệt độ, biến dạng và ứng suất khi hàn liên kết giáp mối tấm và giáp mối ống bằng

các phương pháp GMAW và GTAW, qua đó đánh giá ảnh hưởng của các thông số chế độ hàn đến nhiệt độ, ứng suất và biến dạng hàn. Trạng thái ứng suất và biến dạng trong liên kết chữ T cũng được nghiên cứu thông qua phương pháp phần tử hữu hạn [2]. Bên cạnh đó, cũng có rất nhiều nhà nghiên cứu đã áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích những mô hình thực nghiệm, đề xuất các công thức tính toán biến dạng hàn theo mô hình thực nghiệm. Roger William O'Brien [3] đã tổng hợp nhiều mô hình tính toán biến dạng co dọc, biến dạng co ngang và biến dạng góc, so sánh chúng với nhau và so sánh với kết quả đo thực nghiệm, từ đó đưa ra các kết luận và đánh giá các kết quả. Ngoài ra, A.S. Gangwar và cộng sự [4] đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của chiều dày đến biến dạng khi hàn giáp mối thép tấm cacbon thấp bằng phương pháp thực nghiệm. Một phân tích về biến dạng hàn dựa trên kết quả khảo sát và thực nghiệm được thực hiện bởi Filipe D.S.

Cordeiro [5]. Trong nghiên cứu này ảnh hưởng của các thông số chế độ và đặc tính của vật liệu cơ bản đến biến dạng hàn được trình bày và đồng thời đưa ra các biện pháp ngăn ngừa biến dạng hàn xảy ra. N.R. Mandal và C.V.N. Sundar [6] đã trình bày cơ sở lý thuyết về biến dạng co ngang trong liên kết hàn giáp mối và ảnh hưởng của nó tới độ bền, khả năng làm việc của kết cấu hàn.

Có thể thấy biến dạng hàn luôn tồn tại trong các kết cấu hàn, thông thường phương pháp mô phỏng sẽ được thực hiện trước để dự đoán tình trạng biến dạng của liên kết hàn, từ đó có được phương án hàn hợp lý, tránh được trạng thái biến dạng quá mức và giảm được số lần hàn thực nghiệm. Trong nghiên cứu này, phần mềm COMSOL được lựa chọn để mô phỏng trường nhiệt độ, biến dạng của liên kết hàn giáp mối hợp kim nhôm. Kết quả biến dạng dự đoán được kiểm chứng thông qua kết quả biến dạng tính toán theo lý thuyết.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Cơ sở lý thuyết tính toán biến dạng của liên kết hàn giáp mối

Với yêu cầu chính xác ngày càng cao trong các quy trình chế tạo, việc định lượng mức độ biến dạng hàn đã trở nên cần thiết. Tuy nhiên một mô hình đơn giản không thể dự đoán được biến dạng bởi nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố và các quá trình hàn khác nhau. Bảng 1 đến 3 chỉ ra một số mô hình dự đoán lý thuyết. Các mô hình được đề cập dưới đây là cơ sở để so sánh với kết quả mô phỏng sẽ được thực hiện cụ thể trong phần tiếp theo.

Bảng 1. Tính toán biến dạng do co ngang [3]

| Tên mô hình | Biến dạng do co ngang |
|-------------|---|
| Guiaux | $\delta_{tr} = 0,18 \cdot b_w$ (1) |
| Okerblom | $\delta_{tr} = 0,293 \frac{\alpha q 1}{\rho c v t}$ (2) |
| Malisius | $\delta_{tr} = 1,3 \cdot \left(0,6 \cdot \alpha_{pl} \cdot \Delta T \cdot C \cdot \frac{A_w}{t} + \alpha_w \cdot \Delta T \cdot b_w \right)$ (3) |
| Guyot | $\delta_{tr} = 0,1716 \cdot \frac{A_w}{t} + 0,0121 b_w$ (4) |
| Leggatt | $\delta_{tr} = (1 + v) \eta \frac{\alpha q 1}{\rho c v t}$ (5) |
| Capel | $\delta_{tr} = C \cdot \frac{q 1}{v t_w}$ (6) |

| | |
|----------------|--|
| Blodgett | $\delta_{tr} = 0,1 \cdot \frac{A_w}{t}$ (7) |
| Gilde | $\delta_{tr} = \eta \frac{q}{vt} \alpha \frac{\kappa}{\lambda} = \eta \frac{\alpha q 1}{\rho c v t}$ (8) |
| Hansen | $\delta_{tr} = 1 + 0,044t$ (9) |
| Watanabe-Satoh | $\delta_{tr} = \left(\frac{\eta v}{\phi^{0,25}} \right)^2 \left(\frac{1}{t \sqrt{v}} \right)^2$ (10) |

Bảng 2. Tính toán biến dạng do co dọc [3]

| Tên mô hình | Biến dạng do co dọc |
|------------------|---|
| Thumb | $\delta_l = 0,001 \cdot L$ (11) |
| Okerblom | $\delta_l = 0,335 \frac{\alpha q 1}{\rho c v A} L$ (12) |
| Okerblom-Wells | $\delta_l = 0,35 \frac{\alpha q 1}{\rho c v A} L - 0,8 \frac{\kappa t}{v A} L$ (13) |
| Horst Plufg | $\delta_l = 42 \frac{\sigma_y}{E} \frac{A_w}{A - A_w} L$ (14) |
| White và cộng sự | $\delta_l = \frac{160 q 1}{E} \frac{1}{v A} L$ (15) |
| Guyot | $\delta_l = 0,025 \frac{A_w}{A} \cdot L$ (16) |

Bảng 3. Tính toán biến dạng góc [3]

| Tên mô hình | Biến dạng góc |
|-------------|--|
| Okerblom | $\beta_f = C \cdot \eta_m \cdot \frac{q}{vt_c^2}$ (17) |
| Leggatt | $\beta_f = 0,22 \frac{q 1}{v t_c^2}$ (18) |
| Blodgett | $\beta_f = 0,053 \frac{b_f \cdot a^{1,3}}{t_f^2}$ (19) |

Các công thức (1-19) bao gồm các hằng số ứng với phương pháp hàn GMAW và vật liệu nhôm như sau: Hiệu suất $\eta = 0,8$; hệ số giãn nở nhiệt $\alpha = 24 \cdot 10^{-6} K^{-1}$; khối lượng riêng $\rho = 2,7 g/cm^3$; nhiệt dung riêng $c = 0,22 Cal/(g.K)$. δ_{tr} , δ_l và β_f lần lượt tương ứng với biến dạng co ngang, biến dạng co dọc và biến dạng góc. Tỉ số $\frac{q}{v}$ đặc trưng cho năng lượng đường; t và L là chiều dày vật hàn và chiều dài đường hàn (cm); b_w thể hiện bề rộng mối hàn (cm); A và A_w lần lượt là tiết diện ngang của liên kết và tiết diện ngang của mối hàn tính bằng (cm²). $\alpha_{pl} \cdot \Delta T$ là hệ số giãn nở nhiệt tuyến tính của thép tấm.

2.2. Phương pháp hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (GMAW)

a. Nguồn nhiệt sinh ra trong quá trình hàn GMAW

Nguồn nhiệt sinh ra trong quá trình hàn GMAW ở dạng hai bán elip, một nửa nhỏ hơn nằm ở phía trước tâm cột hồ quang, và nửa lớn hơn ở phía sau. Kích thước bán trục lớn, bán trục nhỏ, và chiều sâu của bán elip trước và sau tương ứng là (a_1, b, c) và (a_2, b, c) . Mật độ năng lượng phân bố trong nguồn nhiệt bán elip phía trước và phía sau có thể được viết [7]:

$$Q = \frac{6\sqrt{3}f_i P \eta}{\pi \sqrt{\pi} a_i b c} \cdot \exp\left(-\frac{3x^2}{a_i^2} - \frac{3y^2}{b^2} - \frac{3z^2}{c^2}\right) \quad (20)$$

Trong đó, $i = 1$ hoặc 2 , tương ứng với nguồn nhiệt phía trước hoặc phía sau; $\eta = 0,8$ là hiệu suất quá trình hàn; P là năng lượng hồ quang. Trong quá trình tính toán biến dạng, năng lượng đường được sử dụng công thức sau:

Bảng 4. Thành phần hoá học và cơ tính của vật liệu A1060 [8]

| Vật liệu | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Al |
|----------|----------------------|-----|---------------------|---------------------------|------|---------------------|---------|
| A1060 | 0.25 | 0.4 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | Còn lại |
| | Môđun đàn hồi GPa | | Giới hạn bền MPa | Độ dẫn dài tương đối % | | Độ thắt tỉ đối % | |
| | 70-80 | | 78 - 108 | 40 | | 80 | |

Bảng 5. Bảng thông số chế độ hàn giáp mối nhôm [9]

| Chế độ hàn | Dòng điện hàn I_h (A) | Điện áp hàn U_h (V) | Tốc độ hàn V_h (cm/s) | Năng lượng đường q_d (cal/cm) |
|--------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Chế độ hàn 1 | 120 | 20 | 1.25 | 368,64 |
| Chế độ hàn 2 | 135 | 20 | 1.25 | 414,72 |
| Chế độ hàn 3 | 150 | 20 | 1.25 | 460,8 |

3. Mô phỏng số dự đoán biến dạng liên kết hàn giáp mối

Phần mềm Comsol Multiphysics được ứng dụng để mô phỏng dự đoán nhiệt độ và biến dạng. Liên kết hàn giáp mối tấm hợp kim nhôm không vát mép, không khe hở được chuẩn bị như Hình 1. Các điều kiện biên gồm quá trình đối lưu, bức xạ và điều kiện ban đầu cũng như nguồn nhiệt hàn cũng được thiết lập như Hình 1. Theodore L. Bergman và cộng sự [10] đã đưa ra công thức tính hệ số đối lưu như sau:

$$\frac{q}{v} = \frac{0,24 \cdot U_h \cdot I_h \cdot \eta}{v} \quad (21)$$

Qua đó ta thấy các thông số chế độ hàn ảnh hưởng chính đến năng lượng đường, chế độ nhiệt do đó ảnh hưởng lớn đến biến dạng của liên kết hàn.

b. Lựa chọn vật liệu nghiên cứu

Vật liệu chọn trong nghiên cứu này là hợp kim nhôm A1060 (ký hiệu theo tiêu chuẩn ASTM) có thành phần nhôm là 99,6%. Thành phần hóa học và cơ tính của hợp kim nhôm được thể hiện trong Bảng 4. Hai tấm phôi có kích thước 200x500x3mm được hàn với nhau sử dụng chế độ hàn như trong Bảng 5. Trong nghiên cứu này, 3 chế độ hàn được sử dụng có điện áp và tốc độ hàn không đổi, cường độ dòng điện hàn được thay đổi ở ba mức để xem xét ảnh hưởng của nó đến biến dạng hàn.

$$h_t = \frac{2k}{w} 0,15 Ra_L^{1/3} \text{ cho mặt trên của tấm} \quad (22a)$$

$$h_b = \frac{2k}{w} 0,52 Ra_L^{1/5} \text{ cho dưới của các tấm} \quad (22b)$$

$$\text{Và } Ra_L = g\beta(T_s - T_\infty)L^3 / \nu\alpha \quad (22c)$$

trong các công thức trên, k là hệ số dẫn nhiệt của không khí, w là bề rộng của tấm; $g = 9,8 m/s^2$; $\beta = 0,0033 K^{-1}$; T_s là nhiệt độ trên bề mặt; T_∞ là nhiệt độ môi trường; $L = A_s / P_1$; A_s là diện tích mặt; P_1 là chu vi bề mặt;

Khi có hệ số đối lưu (h_r hoặc h_b), lượng nhiệt được tiêu tán ra môi trường thông qua quá trình đối lưu được tính như sau:

$$q_c = h(T - T_\infty) \tag{23}$$

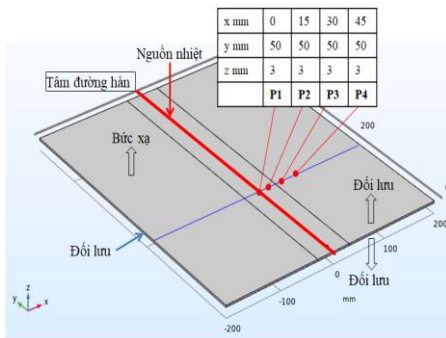
Bên cạnh đối lưu ra không khí, hiện tượng bức xạ cũng phải được xem xét trong quá trình xây dựng mô hình nhiệt. Bức xạ nhiệt ra môi trường được tính như sau [10]:

$$q_r = \sigma \varepsilon (T^4 - T_\infty^4) \tag{24}$$

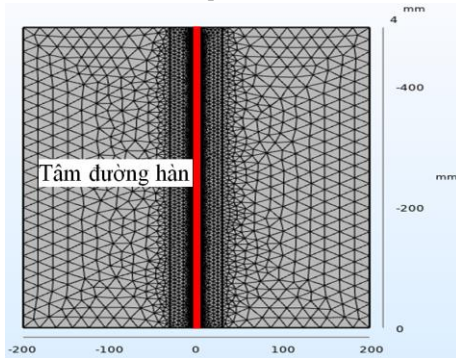
Trong công thức (24),

$$\varepsilon = 0.3; \sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W / m}^2 \text{K}^4 \text{)}.$$

Nguồn nhiệt Q được thiết lập chạy dọc theo tâm đường hàn tương ứng với vận tốc hàn (Hình 1). Tại thời điểm ban đầu nhiệt độ của phôi sẽ bằng nhiệt độ môi trường T_∞ . Bốn điểm ở trên mặt phôi dọc theo mặt cắt ngang cũng được thiết lập để trích xuất nhiệt độ giúp cho quá trình đánh giá trường nhiệt độ.



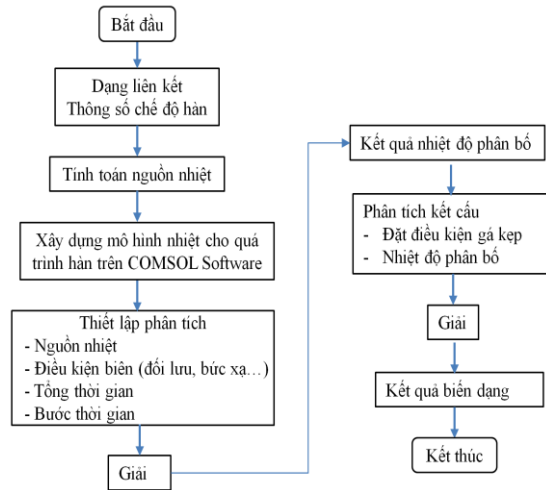
Hình 1. Mô hình hóa quá trình hàn trên Comsol



Hình 2. Mô hình chia lưới

Việc chia lưới trong các mô hình phân tích ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn thường có ảnh hưởng tới độ chính xác cũng như thời gian tính toán. Trong nghiên cứu, các vùng gần tâm mỗi hàn được chia mịn và thô hơn khi xa tâm

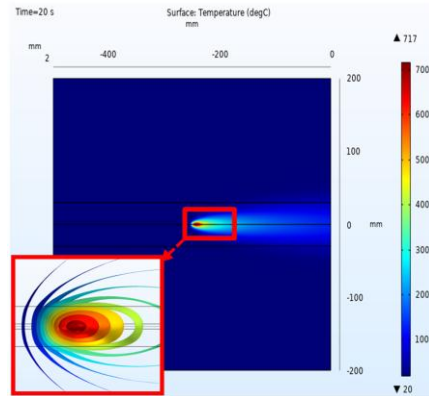
đường hàn để đảm bảo độ chính xác của quá trình phân tích truyền nhiệt (Hình 2); đồng thời cũng làm giảm thời gian phân tích (số lượng phần tử, nút giảm). Trình tự thiết lập và mô phỏng quá trình hàn bằng phần mềm số được tổng hợp như sơ đồ khối Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối trình tự mô phỏng

4. Kết quả và thảo luận

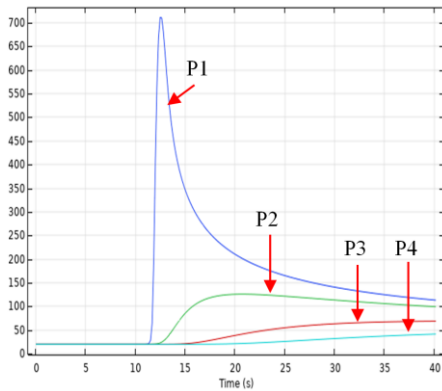
Hình 4 thể hiện nhiệt độ phân bố trên liên kết hàn ở 20s có giá trị lớn nhất $T_{max} = 717^\circ\text{C}$ nằm ở tâm của bể hàn, càng xa tâm nguồn nhiệt nhiệt độ càng giảm.



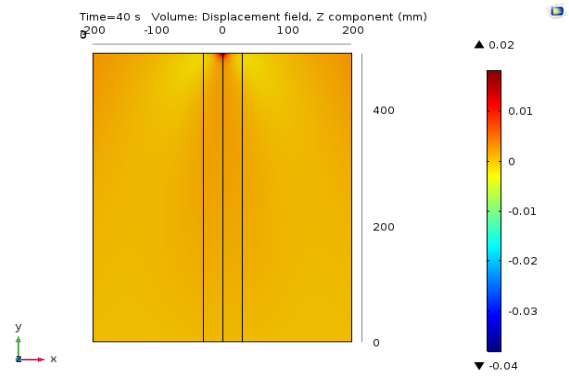
Hình 4. Trường nhiệt độ phân bố ở 20s ở chế độ hàn I với $I_h = 120A$

Bên cạnh đó, các đường đẳng nhiệt cũng được quan sát rõ ràng. Sự phân bố của các đường đẳng nhiệt phía trước và sau nguồn nhiệt không đều và bị kéo dài ở phía sau. Hiện tượng này do sự truyền nhiệt không đều, phía trước nguồn nhiệt mức độ truyền nhiệt nhanh hơn trong khi đó ở phía sau do phôi hàn đã bị nóng lên nên mức độ truyền nhiệt nhỏ hơn.

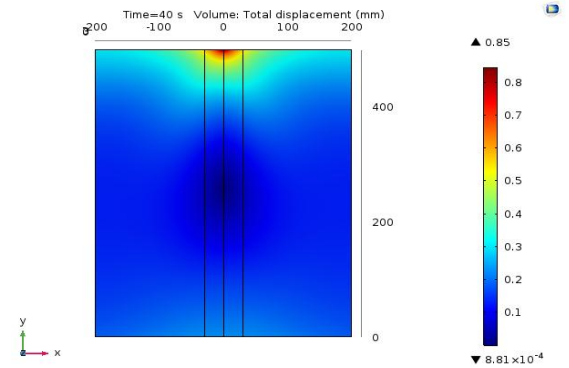
Nhiệt độ của một số điểm **P1**, **P2**, **P3** và **P4** (Hình 1) cũng được mô tả như trên Hình 5. Ta thấy rằng nhiệt độ sẽ tăng dần theo thời gian và đạt giá trị lớn nhất khi nguồn nhiệt đi ngang qua vị trí đó. Sau đó nhiệt độ sẽ bị giảm dần trong quá trình nguội. Nhiệt độ tại vị trí hàn **P1** đạt được cao nhất sau đó giảm dần lần lượt khi các điểm đo càng xa tâm đường hàn (**P2**, **P3** và **P4**).



Hình 5. Nhiệt độ tại một số điểm theo phương ngang



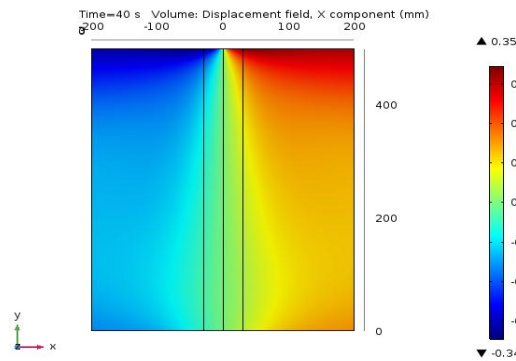
c. Biến dạng theo phương Z



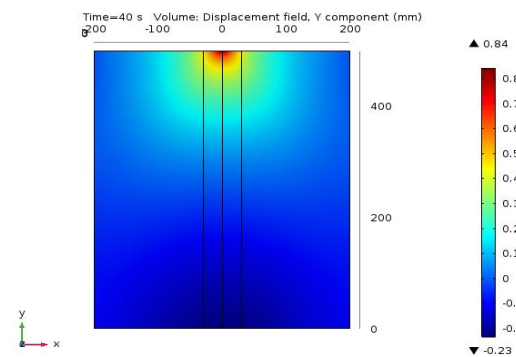
d. Biến dạng tổng

Hình 6. Biến dạng của liên kết hàn

Hình 6 thể hiện biến dạng thành phần và biến dạng tổng của chi tiết hàn ở chế độ hàn 1 với $I_h = 120(A)$. Giá trị biến dạng tự do lớn nhất là 0,85mm (Hình 6d). Biến dạng theo các phương X, Y, Z thể hiện ở Hình 6a, b, và c với giá trị lớn nhất là tương ứng 0,35mm; 0,84mm và 0,02mm. Quan sát ta thấy biến dạng nhiều nhất dọc theo đường hàn (phương Y).



a. Biến dạng theo phương X



b. Biến dạng theo phương Y

Biến dạng do co ngang có giá trị lớn khi hàn các liên kết có vát mép. Trong nghiên cứu này, biến dạng ngang theo phương Z có giá trị 0,02mm nhỏ hơn biến dạng co dọc do thổi không được vát mép.

Biến dạng góc được tính toán theo độ co ngang

$$\beta_f = 2 \cdot \arctan\left(\frac{\delta_{tr}}{2.t}\right) = 2 \cdot \arctan\left(\frac{0,35}{2.3}\right) = 7,63^\circ \quad (25)$$

Kết quả mô phỏng gồm biến dạng do co dọc, biến dạng do co ngang và biến dạng góc được tổng hợp trong Bảng 6 khi sử dụng chế độ hàn 1. Đồng thời Bảng 6 cũng thể hiện các biến dạng tính toán theo các mô hình thực nghiệm và so sánh các kết quả này với các biến dạng mô phỏng.

Với biến dạng do co dọc (độ co dọc), so sánh kết quả tính toán theo các mô hình với kết quả mô phỏng ta thấy sai số giữa các kết quả này dao động trong khoảng (2,38-17,98)%. Sai số nhỏ nhất tương ứng với mô hình của Okerblom 2,38%, tiếp sau là 4,64% tương ứng với mô hình của Okerblom – Wells. Các mô hình còn lại cho ra các sai số tương đối cao do mô hình của Thumb không xét đến toàn bộ quá trình hàn và các tham số vật liệu; mô hình của Horst Plufg dựa trên mô hình của Okerblom nhưng vùng biến dạng dẻo được thay bằng biểu thức liên quan đến vùng hàn và biểu thức này chưa được thể hiện rõ ràng; mô hình của White và cộng sự chưa xét đến ảnh hưởng của hiệu suất quá trình như trong mô hình của Okerblom.

So sánh với kết quả độ co ngang cho thấy, mô hình của Guyot và của Guiaux với sai số lần lượt là 1,14% và 2,85%. Trong khi đó, mô hình

của Okerblom cho ra biến dạng lớn hơn vì mô hình này phù hợp áp dụng cho liên kết hàn có vát mép chữ V. Các mô hình còn lại sử dụng kim loại cơ bản không phải là nhôm và hợp kim nhôm nên cũng có sai số so với biến dạng mô phỏng khá cao. Từ đó có thể thấy mô hình tính toán ra biến dạng do co ngang phù hợp nhất với biến dạng mô phỏng là mô hình Guyot.

Đối với biến dạng góc, các mô hình được trình bày ở Bảng 3 áp dụng đặc biệt cho những liên kết hàn có vát mép. Trong nghiên cứu này, dạng liên kết áp dụng là liên kết giáp mối không vát mép nên sai số giữa biến dạng góc mô phỏng và biến dạng góc tính toán theo các mô hình là tương đối lớn. Tuy nhiên mô hình của Okerblom cho ra biến dạng góc có sai số 7.86% (<10%) và thấp hơn nhiều so với mô hình của Leggatt.

Bảng 6. So sánh kết quả biến dạng với chế độ hàn 1

| Chế độ hàn 1 Ih = 120 A | Biến dạng mô phỏng | Biến dạng tính toán | Độ sai lệch % | |
|--|---------------------------|----------------------------|----------------------|-------|
| Độ co dọc (mm) | 0,84 | (Thumb) | 0,945 | 12,5 |
| | | (Okerblom) | 0,842 | 2,38 |
| | | (Okerblom - Wells) | 0,801 | 4,64 |
| | | (Horst Plufg) | 0,75 | 10,71 |
| | | (White và cộng sự) | 0,689 | 17,98 |
| | | (Guyot) | 0,354 | 1,14 |
| Độ co ngang (mm) | 0,35 | (Guiaux) | 0,36 | 2,85 |
| | | (Okerblom) | 0,315 | 11,43 |
| | | (Malisius) | 0,384 | 8,57 |
| | | (Leggatt) | 0,389 | 11,42 |
| | | (Capel) | 0,37 | 5,71 |
| | | (Blodgett) | 0,375 | 7,14 |
| | | (Okerblom) | 7,03 | 7,86 |
| Biến dạng góc (deg) | 7,63 | (Leggatt) | 9,01 | 18,08 |

Tương tự Bảng 7 và Bảng 8 thể hiện kết quả so sánh biến dạng mô phỏng và biến dạng tính toán tương ứng với chế độ hàn 2 và 3. Kết quả cũng chỉ ra được sự tương thích giữa kết quả mô

phỏng và kết quả tính toán cho biến dạng do co dọc, biến dạng do co ngang và biến dạng góc. Ở chế độ hàn 2, có 3 mô hình tính toán cho biến dạng co dọc có sai số là: Thumb (0,53%),

Okerblom (2,74%) và Okerblom – Wells (1,79%).
Biến dạng mô phỏng do co ngang cũng cho kết
quả sai số thấp so với mô hình tính toán, ví dụ:

Guyot (0,51%). Đối với biến dạng góc, mô hình
của Okerblom vẫn cho sai số nhỏ hơn (4,77%).

Bảng 7. So sánh kết quả biến dạng với chế độ hàn 2

| Chế độ hàn 2 $I_h = 135 \text{ A}$ | Biến dạng mô phỏng | Biến dạng tính toán | Độ sai lệch % | |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-------|
| Độ co dọc (mm) | 0,95 | (Thumb) | 0,945 | 0,53 |
| | | (Okerblom) | 0,924 | 2,74 |
| | | (Okerblom - Wells) | 0,967 | 1,79 |
| | | (Horst Plufg) | 0,842 | 11,37 |
| | | (White và cộng sự) | 0,781 | 17,79 |
| Độ co ngang (mm) | 0,39 | (Guiaux) | 0,396 | 1,54 |
| | | (Okerblom) | 0,358 | 8,21 |
| | | (Malisius) | 0,426 | 9,23 |
| | | (Guyot) | 0,392 | 0,51 |
| | | (Leggatt) | 0,404 | 3,59 |
| | | (Capel) | 0,4 | 2,56 |
| | | (Blodgett) | 0,45 | 15,38 |
| Biến dạng góc (deg) | 8,39 | (Okerblom) | 8,79 | 4,77 |
| | | (Leggatt) | 10,14 | 17,3 |

Bảng 8. So sánh kết quả biến dạng với chế độ hàn 3

| Chế độ hàn 3 $I_h = 150 \text{ A}$ | Biến dạng mô phỏng | Biến dạng tính toán | Độ sai lệch (%) | |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|-------|
| Độ co dọc (mm) | 1,05 | (Thumb) | 0,945 | 10,00 |
| | | (Okerblom) | 1,04 | 0,95 |
| | | (Okerblom - Wells) | 1,23 | 17,14 |
| | | (Horst Plufg) | 0,989 | 5,81 |
| | | (White và cộng sự) | 0,863 | 17,81 |
| Độ co ngang (mm) | 0,43 | (Guiaux) | 0,45 | 4,65 |
| | | (Okerblom) | 0,401 | 6,74 |
| | | (Malisius) | 0,479 | 15,58 |
| | | (Guyot) | 0,439 | 2,09 |
| | | (Leggatt) | 0,44 | 2,33 |
| | | (Capel) | 0,444 | 3,26 |
| | | (Blodgett) | 0,505 | 17,44 |
| Biến dạng góc (deg) | 9,53 | (Okerblom) | 9,54 | 1,89 |
| | | (Leggatt) | 11,26 | 18,2 |

Ở chế độ hàn 3, các mô hình phù hợp nhất
với các biến dạng do co dọc, biến dạng do co

ngang và biến dạng góc lần lượt là Okerblom
(0,95%), Guyot (2,09%) và Okerblom (1,89%).

Qua những kết quả này cho thấy các kết quả biến dạng tính toán và kết quả biến dạng mô phỏng có sự phù hợp tương đối tốt cho các chế độ hàn khác nhau. Mô hình của Okerblom phù hợp nhất cho tính toán biến dạng do co dọc, trong khi đó mô

hình của Guyot phù hợp cho tính toán biến dạng do co ngang và biến dạng góc được tính toán phù hợp hơn khi sử dụng các công thức của mô hình Okerblom.

Bảng 9. So sánh nhiệt độ và biến dạng theo cường độ dòng điện hàn

| Chế độ hàn | Chế độ hàn 1 | Chế độ hàn 2 | Chế độ hàn 3 |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | $I_h=120$ (A) | $I_h=135$ (A) | $I_h=150$ (A) |
| Năng lượng nguồn nhiệt cung cấp (W) | 1920 | 2160 | 2400 |
| Nhiệt độ lớn nhất (°C) | 717 | 802 | 907 |
| Độ co dọc (mm) | 0,84 | 0,95 | 1,05 |
| Độ co ngang (mm) | 0,36 | 0,39 | 0,43 |
| Biến dạng góc (deg) | 7,63 | 8,39 | 9,53 |

Bảng 9 tổng hợp các kết quả về nguồn nhiệt, nhiệt độ và biến dạng cho các chế độ hàn khác nhau. Ba chế độ hàn với các giá trị cường độ dòng điện hàn khác nhau được xem xét, các thông số khác được giữ nguyên. Kết quả cho thấy, khi tăng cường độ dòng điện thì tất cả các thông số nhiệt độ và biến dạng đều tăng. Nguyên nhân dẫn đến sự tăng của các thông số này là khi tăng cường độ dòng điện thì mật độ dòng của điện cực tăng theo dẫn đến năng lượng nguồn nhiệt cung cấp tăng. Như vậy cường độ dòng điện hàn có ảnh hưởng tương đối lớn tới biến dạng của liên kết hàn giáp mối hợp kim nhôm.

5. Kết luận

Phần mềm mô phỏng số Comsol Multiphysics đã được ứng dụng dự đoán nhiệt độ phân bố và biến dạng của liên kết hàn giáp mối hợp kim nhôm. Giá trị biến dạng mô phỏng được so sánh với giá trị biến dạng tính toán lý thuyết

theo các mô hình thực nghiệm tương ứng. Kết quả cho thấy có sự phù hợp tốt giữa biến dạng mô phỏng và tính toán cho các chế độ hàn khác nhau.

Cụ thể, mô hình phù hợp nhất trong nghiên cứu này cho tính toán biến dạng do co dọc (sai số <3%) và biến dạng góc (<8%) là mô hình Okerblom, trong khi đó mô hình Guyot phù hợp cho tính toán biến dạng do co ngang (<3%). Ngoài ra, ảnh hưởng của cường độ dòng điện hàn đến biến dạng hàn cũng được xem xét. Khi cường độ dòng điện hàn tăng, các kết quả biến dạng tính toán và mô phỏng đều tăng và ngược lại. Thông qua kết quả của nghiên cứu này, ta có thể thấy rằng mô hình mô phỏng rất sát với các mô hình lý thuyết. Kết quả của bài báo là cơ sở để tìm và lựa chọn được chế độ hàn hợp lý sao cho biến dạng hàn là nhỏ nhất, giảm số lần hàn thực nghiệm từ đó có thể giảm được chi phí hàn.

Tài liệu tham khảo

- [1] Thân Văn Thế, Trần Ngọc Thành, Ngô Thị Thảo, Ứng dụng phần mềm Ansys dự đoán nhiệt độ, biến dạng và ứng suất khi hàn liên kết giáp mối, Tạp chí Khoa học và công nghệ, Số 15 - tháng 9, trang 1-8, 2017.
- [2] Hoàng Phương Hoa, Nguyễn Văn Mỹ, Đỗ Việt Hải, Nghiên cứu trạng thái ứng suất và biến dạng của các lớp vật liệu composite trong liên kết hàn chữ T dưới tác dụng của tải trọng tĩnh bằng phương pháp phân tử hữu hạn, Tạp chí khoa học và công nghệ, Tập 39, Số 4, trang 127-133, 2010.

- [3] Roger William O'Brien, Predicting weld distortion in the design of automotive components, Master of Science thesis, Durham University, 2007.
- [4] A.S.Gangwar, A.Srivastava, Neha Gupta và Rajan, Experimental Study of Distortion in Butt Welds of Mild Steel Plates and En-31 Plates Having Different Thickness and Weld Cross Sections, Journal of Mechanical and Civil Engineering, Volume 14, Issue 3, pp. 51-80. 2017.
- [5] Filipe D.S.Cordeiro, A Critical Analysis on Weld's Distortion, Master of Science thesis Coimbra University, Julho, 2015.
- [6] N.R.Mandal và C.V.N.Sundar, Analysis of Welding Shrinkage, Welding Research Supplement, pp. 233-238, 1997.
- [7] A.A. Syed, A.Pittner, M.Rethmeier và Amitava De, Modeling of Gas Metal Arc Welding Process Using an Analytically Determined Volumetric Heat Source, Journal of the Iron and Steel Institute of Japan, 53(4), pp.698–703, 2013.
- [8] Nghiêm Hùng, Vật liệu học cơ sở, NXB Khoa học và kỹ thuật, 2002.
- [9] The Lincoln Electric Company, Gas Metal Arc Welding Guidelines, www.lincolnelectric.com, 2014.
- [10] Theodore L. Bergman và cộng sự, Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th edition, JOHN WILEY & SONS, 2011.

SIMULATION AND CALCULATION OF WELDING DISTORTION IN BUTT JOINT OF ALUMINUM ALLOY

Abstract:

Welding distortion is an inevitable phenomenon in all welding processes, it affects the quality of the welding structure, aesthetics and economics of welding products. This paper presents an application of Comsol software for predicting welding distortion in butt joint of A1060 aluminum alloy under different welding conditions. In addition, the distortion of the welded joint includes longitudinal shrinkage, transverse shrinkage and angular shrinkage is calculated based on experimental models. Comparing simulated and calculated results show very high compatibility which proves that the simulation method matches very well with the calculation theory. Moreover, the effect of welding current on the welding distortion is also given. Results show that welding deformation increases with increasing welding current and vice versa. The deformation of welding joints with different conditions can be predicted and is the basis for selecting the appropriate welding condition to achieve the smallest welding deformation.

Keywords: *Butt joint; distortion; Comsol; aluminum alloy.*