

MÔ PHỎNG VÀ KIỂM NGHIỆM NHIỆT ĐỘ TRONG LIÊN KẾT HÀN GÓC BẰNG PHƯƠNG PHÁP HÀN GMAW CHO KẾT CẤU KHUNG CƠ KHÍ XE LĂN ĐIỆN LEO CẦU THANG

SIMULATION AND VERIFICATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION FOR FILLET WELD BY GMAW PROCESS FOR MECHANICAL CHASSIS STRUCTURES OF THE STAIR-CLIMBING ELECTRIC WHEELCHAIRS

TRẦN KHA MINH, LÊ HỒNG KỲ

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

Email: trankhaminh190196@gmail.com

Nhận bài (Received): 18/8/2022; Phản biện (Reviewed): 16/9/2022; Chấp nhận (Accepted): 28/9/2022

TÓM TẮT

Hiện nay, đa số các xe lăn của người khuyết tật hay dùng, thường có kết cấu và chức năng đơn giản chủ yếu dùng sức người để vận hành, hoặc không có chức năng leo cầu thang. Khung chịu lực là bộ phận giúp nâng đỡ toàn bộ chiếc xe. Nó còn đóng vai trò liên kết các máy móc, thiết bị lại với nhau thành một chủ thể hợp nhất để chiếc xe có thể hoạt động một cách linh hoạt. Để thiết kế hệ thống khung xe, người ta thường dùng các tấm thép được hàn lại với nhau. Tuy nhiên, công việc này thường được làm hoàn toàn bằng tay, không đảm bảo các yêu cầu cao của việc thiết kế, chế tạo xe lăn điện leo cầu thang. Trong thực tế việc đo và kiểm soát nhiệt độ quá trình hàn khi hàn khung xe lăn điện leo cầu thang là khá khó khăn hoặc sẽ phải sử dụng các thiết bị hiện đại và rất tốn kém; Trong nghiên cứu này mô hình nhiệt của quá trình hàn hồ quang điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (GMAW) liên kết hàn góc được thiết lập và mô phỏng trên phần mềm ANSYS. Quá trình mô phỏng dựa trên nguồn nhiệt tính toán đưa ra nhiệt độ phân bố trong liên kết hàn với các chế độ khác nhau. Năm cảm biến đo nhiệt được gắn trên chi tiết hàn để ghi lại nhiệt độ trong quá trình hàn. So sánh kết quả nhiệt độ đo và mô phỏng cho thấy chúng có sự phù hợp khá tốt cho tất cả các chế độ hàn. Điều này chứng tỏ việc xây dựng mô hình nghiên cứu, giá trị nguồn nhiệt và thiết lập các điều kiện ban đầu, điều kiện biên trong mô phỏng tương đối sát với điều kiện thực tế trong quá trình hàn thực nghiệm. Từ đó, kết quả mô phỏng biến dạng khi hàn sẽ được ứng dụng cho việc thiết kế khung xe tối ưu, hạn chế các biến dạng nhiệt có thể có.

Từ khóa: GMAW, ANSYS, nhiệt độ phân bố, liên kết hàn góc

ABSTRACT

Currently, the majority of wheelchairs used by people with disabilities often have simple structures and functions, mainly using human power to operate, or do not have the function of climbing stairs. The load-bearing frame is the part that helps support the entire

wheelchair. It also plays the role of linking machines and equipment together into a unified subject so that the wheelchair can operate flexibly. To design the chassis system, steel plates are often used to weld together. However, this work is usually done entirely by hand, which does not guarantee the high requirements of designing and manufacturing the stair-climbing electric wheelchairs. In practice, measuring and controlling the temperature of the welding process when welding the chassis of the stair-climbing electric wheelchairs is quite difficult or will require the use of modern and very expensive equipment. In this study, the thermal model of the gas-shielded metal arc welding process (GMAW) of the fillet weld is set up and simulated on ANSYS software. The simulation process based on the calculated heat source gives the temperature distribution in the fillet weld with different modes. Five temperature sensors are mounted on the workpiece to record the temperature during the welding process. Comparison of measured and simulated temperature results shows that they have a good fit for all welding modes. This proves that the construction of the research model, the value of the heat source and the establishment of the initial and boundary conditions in the simulation are relatively close to the actual conditions in the experimental welding process. From there, the welding deformation simulation results will be applied to the optimal chassis design, limiting possible thermal distortions.

Keywords: GMAW, ANSYS, temperature distribution, fillet weld, electric wheelchair

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, đa số các xe lăn của người khuyết tật hay dùng, thường có kết cấu và chức năng đơn giản chủ yếu dùng sức người để vận hành, hoặc không có chức năng leo cầu thang. Thị trường thì khan hiếm những chiếc xe lăn điện giá rẻ, độ an toàn cao mà có nhiều chức năng, mà có cũng chỉ là những xe lăn điện Trung Quốc được sản xuất tràn lan (hoặc nhập lậu do mặt hàng này không tính thuế), mẫu mã đa dạng, nhiều chức năng, nhưng độ an toàn thấp, các phụ tùng thì mau hư hỏng [1]

Khung chịu lực là bộ phận giúp nâng đỡ toàn bộ chiếc xe. Nó còn đóng vai trò liên kết các máy móc, thiết bị lại với nhau thành một chủ thể hợp nhất để chiếc xe có thể hoạt động một cách linh hoạt.[2]

Để thiết kế hệ thống khung xe, người ta thường dùng các tấm thép được hàn lại với nhau. Tuy nhiên, công việc này thường được làm hoàn toàn bằng tay, không đảm bảo các yêu cầu cao của việc thiết kế, chế tạo xe lăn điện leo cầu thang.

Trong những năm gần đây kỹ thuật hàn đã có những bước phát triển mạnh mẽ, đáp ứng được các yêu cầu ngày càng cao về công nghệ và vật liệu. Nhiều phương pháp hàn mới đã xuất hiện và được áp dụng rộng rãi trong khoa học và kỹ thuật. Một trong những công nghệ hàn quan trọng đó là công nghệ hàn hồ quang bằng điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (Gas metal arc welding – GMAW) với những ứng dụng rất rộng rãi và đa dạng trong thực tế. Năm 1920 tiên phong cho GMAW được phát minh bởi P.O.Nobel [3]. Năm 1948 GMAW đã được phát triển bởi Viện Battelle Memorial; Năm 1960, các nhà nghiên cứu đã thêm vào khí bảo vệ một lượng nhỏ oxy giúp cho chất lượng mối hàn tốt hơn. Kỹ thuật hàn, các yếu tố ảnh hưởng khi hàn, so sánh phương pháp hàn GMAW với các phương pháp hàn khác được hướng dẫn chi tiết trong tài liệu [4]. Các nghiên cứu về cấu trúc hình học, tối ưu, cảm biến... để đánh giá mối hàn bằng phương pháp GMAW đã được tiến hành [5-7].

Những năm gần đây, ứng dụng các phần mềm thương mại vào trong phân tích, tối ưu các bài toán thực tế đang là một xu thế nhằm giúp giảm chi phí và rút ngắn quá trình nghiên cứu phát triển sản phẩm. ANSYS (Analysis System) là một phần mềm mạnh được phát triển và ứng dụng rộng rãi trên thế giới để giải quyết các bài toán tổng hợp phức tạp. Trong lĩnh vực hàn, phần mềm ANSYS có thể ứng dụng để phân tích trường nhiệt độ, nhiệt độ phân bố, ứng suất và biến dạng hàn. Kết quả mô phỏng sẽ dự đoán các sai hỏng trong quá trình hàn, có thể làm cơ sở để tìm ra được chế độ hàn thích hợp dựa vào kết quả của nhiệt độ cũng như ứng suất và biến dạng hàn; từ đó hạn chế hoặc giảm bớt số lần thực nghiệm dẫn đến tiết kiệm được chi phí và nhân công lao động, rút ngắn được thời gian thực hiện quá trình hàn ngoài thực tế. Một số nghiên cứu ứng dụng ANSYS để phân tích quá trình hàn GTAW [8], GMAW-CW [9] đã được nghiên cứu.

Trong thực tế việc đo và kiểm soát nhiệt độ quá trình hàn khi hàn khung xe lăn điện leo cầu thang là khá khó khăn hoặc sẽ phải sử dụng các thiết bị hiện đại và rất tốn kém; Trong nghiên cứu này, phần mềm ANSYS được sử dụng để dự đoán nhiệt độ phân bố trong liên hàn góc. Để kiểm chứng mức độ tin cậy của kết quả mô phỏng, nhóm tác giả đã tiến hành thực nghiệm trên mẫu hàn và đo được nhiệt độ tại một số vị trí tại vùng ảnh hưởng nhiệt của khung xe lăn điện leo cầu thang và có sự so sánh đối chứng.

2. MÔ HÌNH NHIỆT CỦA PHƯƠNG PHÁP HÀN GMAW

Bằng cách sử dụng một hệ tọa độ gắn với nguồn nhiệt, phương trình bảo toàn năng lượng cho hệ tọa độ đề các có thể được viết [10]:

$$\nabla \cdot (\alpha \nabla) - \rho U_w \frac{\partial h}{\partial x} - \rho U_w L \frac{\partial f_1}{\partial x} + S_v = 0 \quad (1)$$

Trong đó S_v là nguồn nhiệt thể tích được tính toán trong phần tiếp theo. Thành phần nhiệt hiện được biểu diễn $h = \int C_p dT$. Hệ số lỏng f_1 được giả sử thay đổi tuyến tính theo nhiệt độ cho đơn giản:

$$f_1 = \begin{cases} 1 & T \geq T_1 \\ \frac{T - T_s}{T_1 - T_s} & T_s < T < T_1 \\ 0 & T \leq T_s \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình lượng nhiệt ở bề mặt trên f_t [10]:

$$F_t = \alpha \cdot \nabla h \cdot \mathbf{n}_t$$

$$F_t = \alpha \cdot \nabla h \cdot \mathbf{n}_t = \frac{IV\eta}{2\pi r_b^2} \exp\left(-\frac{x_h^2 + y_h^2}{2r_b^2}\right) (k \cdot \mathbf{n}_t) - \sigma \varepsilon (T^4 - T_a^4) - h_c (T - T_a) \quad (3)$$

Đối với mặt dưới, dòng nhiệt F_b được tính toán bởi công thức sau:

$$\alpha \nabla h \cdot \mathbf{n}_b = F_b = h_c (T - T_0) \quad (4)$$

Trong phương trình (3), thành phần đầu tiên ở phía bên tay phải là nhiệt lượng đầu vào được định nghĩa bởi nhiệt phân bố Gaussian, các thành phần thứ hai và thứ ba đại diện cho sự mất nhiệt bởi bức xạ và đối lưu tương ứng.

Nguồn nhiệt S_v được tính như sau [10]:

$$S_v = \frac{Q_d}{\pi f_d^2 r_d^2 d} \quad (5)$$

Trong đó:

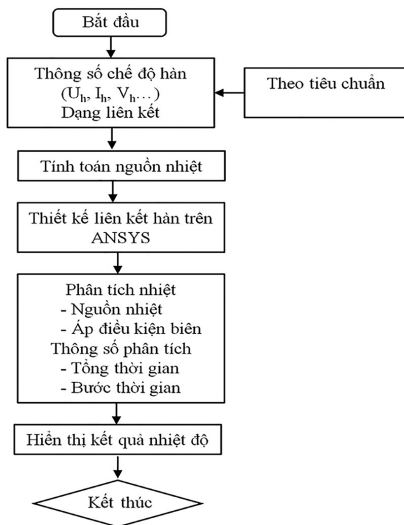
$$Q_d = \rho_w \pi r_w^2 w_f C_p (T_d - T_1) \quad (6)$$

Ở đây, Q_d : Tổng nhiệt lượng đầu; P_w : mật độ của dây điện cực; r_w : Bán kính dây; w_f : Tốc độ ra dây; C_p : Nhiệt dung riêng; T_d : Nhiệt độ của giọt kim loại; T_1 : Nhiệt độ lỏng

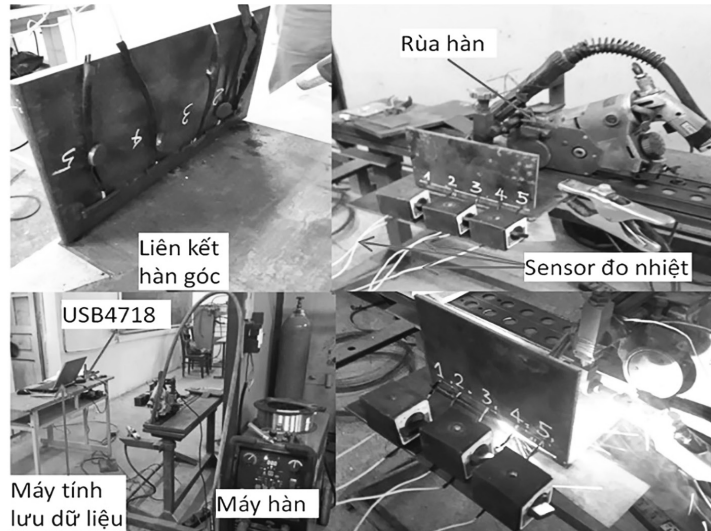
$$r_d = \sqrt[3]{\left(\frac{3}{4} r_w^2 w_f / f\right)} \quad (7)$$

$$f = \frac{-243,44}{1 + \exp\left(\frac{I - 291,086}{6,06437}\right)} + 323,506 - 0,874 \times I + 0,0025 \times I^2 \quad (\text{Hz}) \quad (8)$$

Quy trình xây dựng và mô phỏng bằng phần mềm ANSYS được tổng hợp trong sơ đồ hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối quá trình mô phỏng nhiệt độ



Hình 2. Thiết lập thí nghiệm

3. THÍ NGHIỆM ĐO NHIỆT ĐỘ

Vật liệu cơ bản thép CT38 (TCVN 1695-75) tương đương với thép CT3 (TCNga Г0Г380-71) là loại thép cacbon chất lượng thường, mềm dẻo, độ cứng thấp, hiệu quả tôi và ram không cao và có tính hàn tốt, khi hàn không cần phải dùng các công nghệ đặc biệt. Phôi hàn thí nghiệm dạng tấm kích thước $235 \times 150 \times 6 \text{ mm}$ có chiều dày $S=6 \text{ mm}$, dạng liên kết được chọn theo tiêu chuẩn ISO 9692 [11] (Liên kết chữ góc vát 1 phía, góc vát 45° , khe hở 2 mm)

Hình 2 mô tả quá trình thiết lập thí nghiệm để đo nhiệt độ trong quá trình hàn. Máy hàn bán tự động trong môi hàn khí bảo vệ Miller MigMatic 380 DX-Mỹ kết hợp với đầu rùa mang mỏ hàn được sử dụng trong quá trình thí nghiệm. Cảm biến đo nhiệt loại K gắn trên phôi dọc theo mỗi hàn. Cảm biến đo nhiệt được nối với thiết bị chuyển đổi AD/DA loại UBS4718 và thiết bị này kết nối với máy tính để lưu trữ và hiển thị kết quả nhiệt độ đo được tại các điểm đo. Vị trí đặt sensor đo nhiệt như trong Bảng 1.

Bảng 1. Vị trí đặt sensor đo nhiệt tại chi tiết hàn

Vị trí	(y=6mm)	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5
Lần 1	x (mm)	20	60	110	160	200
	z (mm)	30	26	26	26	26
Lần 2	x (mm)	25	80	135	175	215
	z (mm)	27	27	27	26	26

Vị trí	(y=6mm)	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5
Lần 3	x (mm)	20	65	115	155	195
	z (mm)	35	32	32	32	32

Bảng 2. Thông số chế độ hàn chính

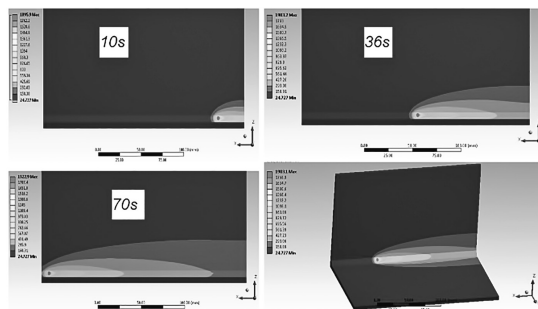
Chế độ hàn	I_h (A)	V_d (mm/s)	U_h (V)
1	140	4.1	20
2	140	4.0	20
3	148	3.7	20

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

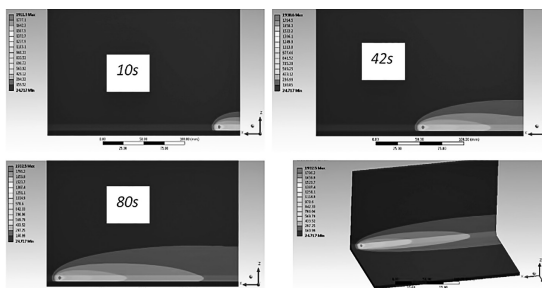
Ba chế độ hàn liệt kê trong Bảng 2 được sử dụng để mô phỏng và hàn thí nghiệm.

4.1 Kết quả mô phỏng

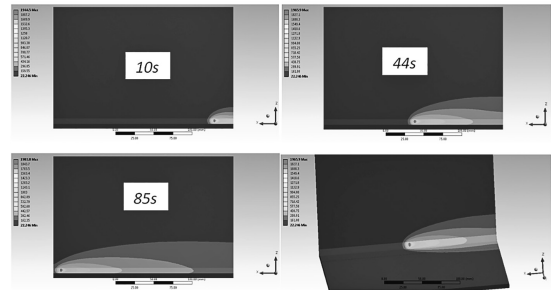
Trong quá trình mô phỏng, hệ số đối lưu h_c và hệ số bức xạ ε được lựa chọn tương ứng $h_c = 10$ (W/m²K) và $\varepsilon = 0,8$ [8]. Hình 3 mô tả kết quả nhiệt độ tại các thời điểm khác nhau khi hàn với chế độ hàn 1. Kết quả cho thấy nhiệt độ ở tâm vùng hàn khi hồ quang ổn định khoảng 1903°C, càng xa tâm bề hàn nhiệt độ càng giảm. Các đường đẳng nhiệt cũng được quan sát trong kết quả và nó thay đổi theo thời gian.



Hình 3. Nhiệt độ phân bố trên liên kết hàn ở chế độ 1



Hình 4. Nhiệt độ phân bố trên liên kết hàn ở chế độ 2



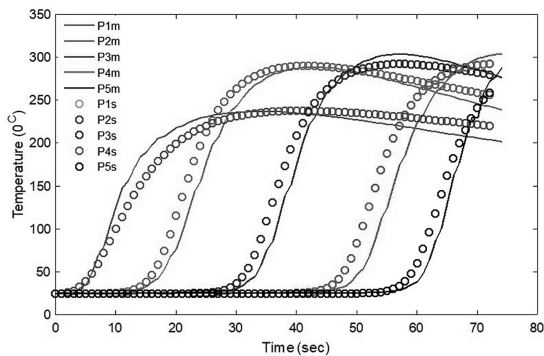
Hình 5. Nhiệt độ phân bố trên liên kết hàn ở chế độ 3

Tương tự, với chế độ hàn 2 và 3 ta cũng nhận được trường nhiệt độ trong quá trình hàn tại một số thời điểm khác nhau (Hình 4 và 5). Chế độ hàn 3 với cường độ dòng hàn cao hơn và tốc độ thấp hơn so với chế độ hàn lần 1 và 2, do vậy nhiệt độ cao hơn so với hai trường hợp trước (Hình 5). Cụ thể, nhiệt độ hàn ổn định ghi nhận được khi hàn chế độ hàn 3 là khoảng 1965°C, trong khi đó khi sử dụng chế độ hàn 1 và 2 nhiệt độ hàn tương ứng là 1903°C và 1930°C. Điều này hoàn toàn phù hợp, vì khi tăng dòng thì nguồn nhiệt sẽ có xu hướng lớn hơn do mật độ dòng tăng và tốc độ chậm nguồn nhiệt cũng gia tăng.

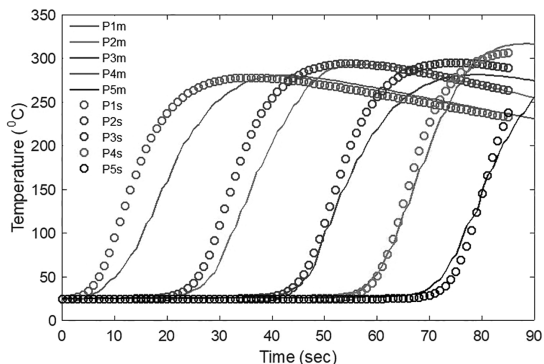
4.2. So sánh kết quả thí nghiệm và mô phỏng

Để kiểm chứng kết quả mô phỏng, việc so sánh kết quả nhiệt độ tương ứng tại 5 điểm đo đã được thực hiện. Ba chế độ hàn ở trên được tiến hành thực nghiệm hàn và đo nhiệt độ. Trong quá trình hàn, năm sensor đo nhiệt được gắn trên chi tiết hàn ở vùng ảnh hưởng nhiệt để ghi lại nhiệt độ. Hình 6 so sánh giữa nhiệt độ đo (P1m-P5m) của 5 sensor tại 5 vị trí khác nhau với nhiệt độ mô phỏng (P1s-P5s) tại các vị trí này khi hàn chế độ 1. Qua quan sát ta thấy được sự đồng nhất về xu hướng tăng tại cả

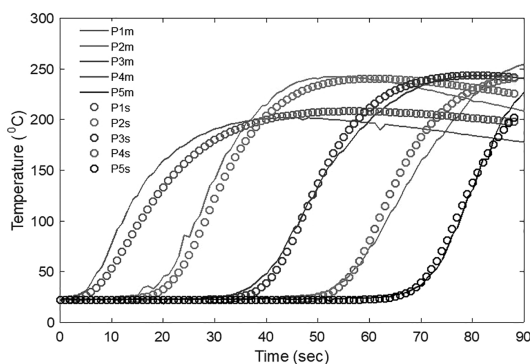
5 điểm đo và mức độ phù hợp giữa nhiệt độ mô phỏng và nhiệt độ đo là tương đối cao. Nhiệt độ mô phỏng có phần cao hơn một chút so với nhiệt độ đo, điều này có thể do trong quá trình hàn thực nghiệm một lượng nhiệt đã mất đi do truyền vào đồ gá. Nhìn chung với chế độ hàn thực nghiệm lần 1, nhiệt độ đo và nhiệt độ mô phỏng có sự phù hợp tốt.



Hình 6. So sánh nhiệt độ mô phỏng và nhiệt độ thí nghiệm lần 1



Hình 7. So sánh nhiệt độ mô phỏng và nhiệt độ thí nghiệm lần 2



Hình 8. So sánh nhiệt độ mô phỏng và nhiệt độ thí nghiệm lần 3

Tương tự, sự so sánh giữa nhiệt độ mô phỏng và nhiệt độ thí nghiệm lần 2 được thể hiện trên Hình 7. Quan sát trên hình vẽ ta thấy, nhiệt độ mô phỏng và nhiệt độ đo tương đối phù hợp về khuynh hướng. Tuy nhiên nhiệt độ mô phỏng cũng có xu hướng cao hơn một chút so với nhiệt độ đo ở tất cả các vị trí.

Nhiệt độ hàn đo từ 5 sensor tại 5 vị trí được so sánh với nhiệt độ mô phỏng với chế độ hàn 3 thể hiện trên Hình 8. Kết quả nhận thấy có sự phù hợp giữa nhiệt độ thí nghiệm và nhiệt độ mô phỏng cả về xu hướng và giá trị nhiệt độ. Mặc dù vẫn ghi nhận sai số trong phép so sánh này; tuy nhiên mức độ sai số này vẫn trong phạm vi chấp nhận được (chỉ khoảng dưới 10°C so với nhiệt độ hàn là gần 2000°C).

Từ các kết quả trên ta thấy có sự phù hợp nhất định giữa nhiệt độ đo và nhiệt độ mô phỏng tại các vị trí khác nhau khi hàn với các chế độ khác nhau. Điều này chứng tỏ rằng, điều kiện quá trình mô phỏng (nguồn nhiệt hàn, các điều kiện biên) tương đối khớp với điều kiện hàn thực nghiệm. Từ đó, kết quả mô phỏng biến dạng khi hàn sẽ được ứng dụng cho việc thiết kế khung xe tối ưu, hạn chế các biến dạng nhiệt có thể có.

5. KẾT LUẬN

Phần mềm ANSYS được ứng dụng thành công để dự đoán nhiệt độ của chi tiết hàn bằng phương pháp GMAW. Mô hình nhiệt của quá trình hàn GMAW được xây dựng và mô phỏng trên ANSYS để đưa ra kết quả nhiệt độ phân bố trên chi tiết. Quá trình hàn thực nghiệm được thực hiện để ghi lại nhiệt độ tại 5 điểm đo dọc mỗi hàn. So sánh kết quả nhiệt độ đo và mô phỏng cho 3 chế độ hàn khác nhau cho thấy chúng có sự phù hợp khá tốt. Có sai lệch giữa nhiệt độ đo và mô phỏng, tuy

nhiên sai lệch này chấp nhận được. Điều này chứng minh mô hình nhiệt xây dựng trong nghiên cứu này sát với thực tế quá trình hàn GMAW. Vì vậy, công cụ mô phỏng sẽ giúp cho quá trình lựa chọn chế

độ hàn phù hợp nhanh và tiết kiệm chi phí. Từ đó, kết quả mô phỏng biến dạng khi hàn sẽ được ứng dụng cho việc thiết kế khung xe tối ưu, hạn chế các biến dạng nhiệt có thể có.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Hồng Kỳ, Nghiên cứu thiết kế chế tạo xe lăn điện leo cầu thang; Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Hà Nội, Số 3, 2017
- [2] Lê Hồng Kỳ, Khảo sát động học, động lực học xe lăn điện leo cầu thang; Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Hà Nội, Số 3, 2017
- [3] Ngô Lê Thông, Công nghệ hàn điện nóng chảy – tập 1, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, 2004
- [4] Miller Electric Mfg. LLC, Guidelines For Gas Metal Arc Welding (GMAW), 2018
- [5] GhalibTham, Mohamad Yazman, YaakubSunhaji KiyaiAbas, Yupiter H.P.Manurung, Bukhari AbuJalil, Predicting the GMAW 3F T-Fillet Geometry and Its Welding Parameter, Procedia Engineering, Volume 41, Pages 1794-1799, 2012.
- [6] D. S. Correia; C. V. Gonçalves; Sebastião S. C. Junior; V. A. Ferraresi, GMAW welding optimization using genetic algorithms, J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng., Volume 26, Issue1, 2004
- [7] Jian Le, Hua Zhang, Yong Xiao, Circular fillet weld tracking in GMAW by robots based on rotating arc sensors, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 88, Issue 9–12, pp 2705–2715, 2017.
- [8] Fenggui Lu, Shun Yao, Songnian Lou, Yongbing Li, Modeling and finite element analysis on GTAW arc and weld pool, Computational Materials Science, Volume 29, pp 371–378, 2004
- [9] L. F. N. Marques, E. B. F. Santos, A. P. Gerlich & E. M. Braga, Fatigue life assessment of weld joints manufactured by GMAW and CW-GMAW processes, Journal Science and Technology of Welding and Joining, Volume 22, Issue 2, pp. 87-96, 2017
- [10] A. Kumar, T. DebRoy, Guaranteed fillet weld geometry from heat transfer model and multivariable optimization, International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 47, pp. 5793–5806, 2004
- [11] ISO 9692-1:2013 Welding and allied processes — Types of joint preparation — Part 1: Manual metal arc welding, gas-shielded metal arc welding, gas welding, TIG welding and beam welding of steels