

Nghiên cứu tích hợp trí tuệ nhân tạo trong tối ưu hoá robot hàn trên vật liệu inox

Research of integration Artificial Neural Network in Optimization of Welding Robot on Stainless Steel

Nguyễn Ngọc Hoàng Phi, Phạm Quang Trung, Trần Minh Thuận, Nguyễn Thanh Tân, Nguyễn Văn Thức, Phan Quốc Bảo

¹ Bộ môn Thiết bị và Công nghệ vật liệu cơ khí, khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

² Bộ môn Thiết bị và Công nghệ vật liệu cơ khí, khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³ Khoa Cơ khí chế tạo máy, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

⁴ Phòng thí nghiệm Sản xuất Công nghệ cao, Viện trí tuệ nhân tạo và chuyển đổi số, Trường Đại học Bình Dương

Tác giả liên hệ: Phan Quốc Bảo. Email: pqbao@bdu.edu.vn

Tóm tắt: Ngành công nghiệp phụ trợ hiện nay đang đối diện thách thức rất lớn về khả năng sử dụng tích hợp các thế hệ robot nhằm thay thế các hoạt động sử dụng người lao động. Trong đó Hàn Robot tích hợp chức năng thông minh rất được quan tâm để đảm bảo tính ổn định về chất lượng, năng suất, giá thành, tiến độ. Trong nghiên cứu này, chúng tôi triển khai tích hợp thành công thuật toán trí tuệ nhân tạo trong hoạt động tối ưu hoá sản xuất trên cánh tay robot nhằm giảm thiểu các sai sót và chi phí phải sửa chữa lại sau Hàn trong sản xuất linh kiện trên nền vật liệu Inox.

Từ khóa: *Khả năng tự làm sạch; Hạt vụn kim loại; Hàn Robot; Trí tuệ nhân tạo; Tối ưu hoá sản xuất.*

Abstract: Nowadays, Supporting Industry is facing much challenge in the possibility of integration of Robot to replace manual workers. Welding Robot installed Artificial Neural Network can satisfy the demand of improving quality, efficiency, pricing and lead-time of production. In this research, we develop successfully the Artificial Neural Network to optimize productivity of Welding Robot Arm to minimize defects and cost of rework after welding on stainless steel material.

Keywords: *Artificial Neural Network; Cleanability; Metal Particle; Optimization; Welding Robot*

1. Giới thiệu

Trong là một quá trình kết nối vật liệu trong đó hai hoặc nhiều phần được liên kết tại các bề mặt tiếp xúc của chúng bằng cách áp dụng nhiệt và/hoặc áp suất phù hợp. [1] Nhiều quy trình hàn được thực nghiệm chỉ bằng nhiệt, mà không cần áp suất; một số khác là sự kết hợp giữa nhiệt và áp suất; và một số khác chỉ áp dụng áp suất, mà không cần cung cấp nhiệt bên ngoài.

Kỹ thuật Hàn theo phương pháp truyền thống phụ thuộc rất nhiều vào trình độ của người công nhân, vì thế, chất lượng mối hàn sẽ không đồng nhất trên toàn bộ đường hàn. So với hàn thủ công, áp dụng Robot hàn có thể cải thiện được chất lượng và hiệu quả hàn. Trong sử dụng Robot hàn trên hai ống giao nhau [2] đã xây dựng mô hình toán học vị trí tương đối của mỏ hàn và các ống dẫn dưới dạng ma trận, từ đó nội suy đường cong và sử dụng nội suy góc biến thiên để rời rạc hóa các đường cong giao nhau.

Tích hợp tự động hoá trong quy trình hàn trên robot OTC FD-V8 [3] có

khả năng nâng cao chất lượng hàn và rút ngắn thời gian hoàn thành công việc gồm mối hàn chất lượng cao hơn, năng suất tăng, giảm chi phí lao động. Chất lượng mối hàn được xác định bởi các tham số như điện áp hàn, cường độ dòng điện, đường kính dây hàn và thành phần của khí bảo vệ.

Có một số nghiên cứu cũng quan tâm đến sự hình thành các hạt và kiểm soát hạt sau Hàn nhằm giúp tăng năng suất và kiểm soát thay đổi cơ tính của vật liệu ở các vùng xỉ hàn bám dính [4]. Tuy nhiên, vừa đảm bảo năng suất chất lượng, vừa đảm bảo các tiêu chí về độ sạch Cleanability để giảm thiểu quá trình hoàn thiện bề mặt ở các công đoạn sau với chức năng tích hợp sẵn trong quá trình tối ưu với trí tuệ nhân tạo lại chưa được đầu tư nghiên cứu chuyên sâu. Trong nghiên cứu này chúng tôi thực hiện việc tích hợp trí tuệ nhân tạo và đáp ứng được song song cả hai mục tiêu về năng suất và độ sạch bề mặt trên vật liệu thí nghiệm thép không gỉ 201 Austenitic, với kết cấu hình dạng dạng tấm và tròn đặc



Hình 1. Chi tiết thí nghiệm

2. Thực hiện thí nghiệm

2.1. Chế tạo đồ gá

Vật liệu chính được sử dụng làm đồ gá lần này là Thép SKD11, ngoài ra còn các chi tiết phụ khác thì sử dụng vật liệu Thép 45 thường hóa và Thép CT3. Việc chọn vật liệu dùng để chế tạo đồ gá phụ thuộc vào nhiều yếu tố trong đó

cần phải chọn vật liệu có hệ số nóng chảy thấp hơn hệ số nóng chảy của chi tiết cần hàn (cụ thể ở đây là Thép không gỉ 201) và nhiệt độ nóng chảy cao hơn nhiệt độ nóng chảy của chi tiết. Sau khi thiết kế và chế tạo ta được cụm đồ gá chuẩn bị cho quy trình hàn như Hình 2.



Hình 2. Đồ gá cho quy trình hàn

2.2. Thiết kế thí nghiệm (DOE)

Sau khi đã thiết kế và chế tạo đồ gá, tiếp theo là lựa chọn mô hình dữ liệu thí nghiệm cho quá trình hàn. Nhóm đã chọn ra bốn nhân tố ảnh hưởng cho

quy trình hàn, ứng với mỗi nhân tố có ba mức giá trị thay đổi. Theo phương pháp Taguchi [5], lựa chọn ma trận quy hoạch trực giao L9 để thực hiện thí nghiệm theo Bảng 1.

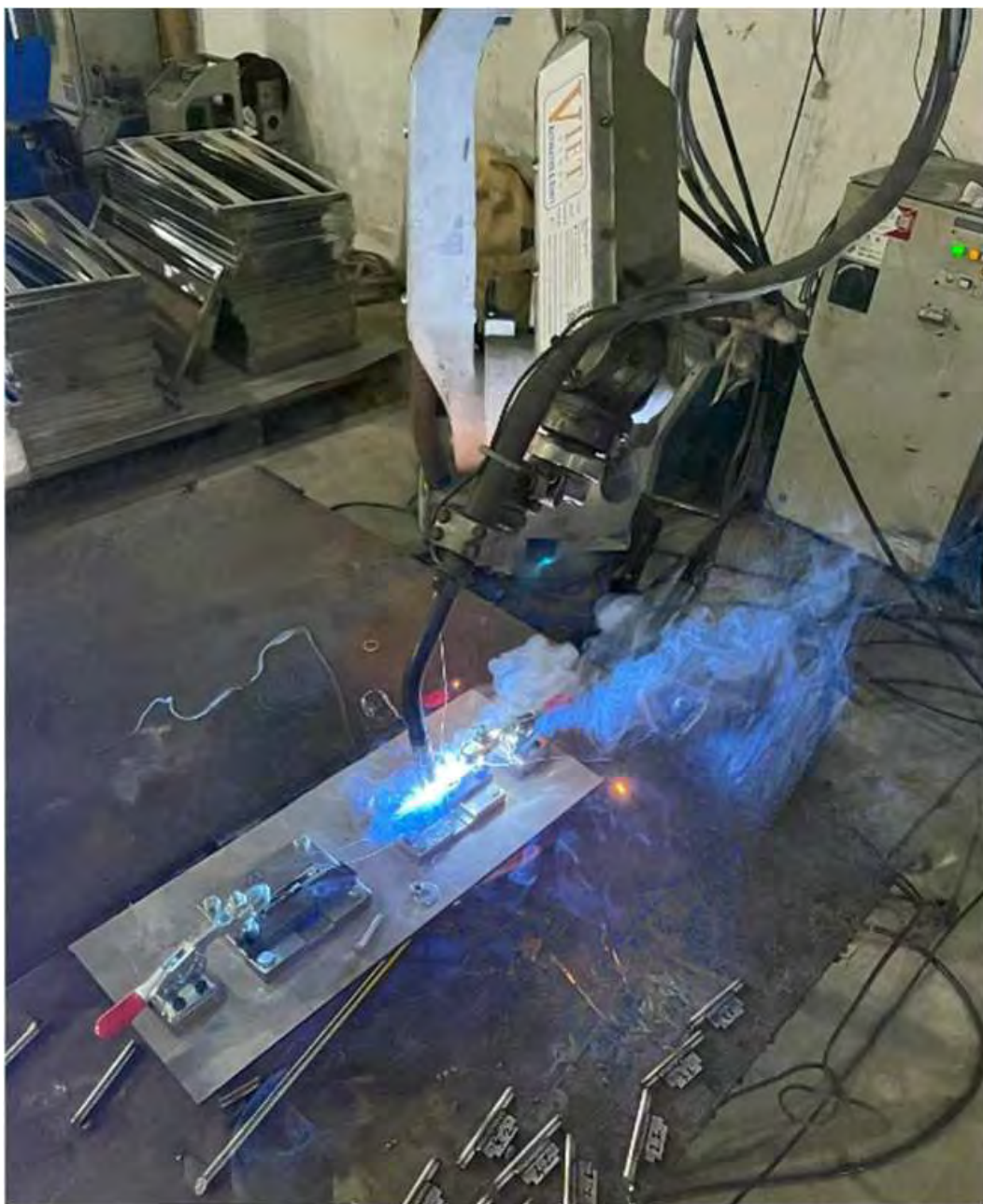
Bảng 1. Ma trận quy hoạch L9

| N | AC (A) | AV (V) | V (cm/phút) | Q (l/phút) |
|---|-----------|-----------|----------------|---------------|
| 1 | 120 | 19 | 40 | 15 |
| 2 | 120 | 20 | 43 | 20 |
| 3 | 120 | 21 | 45 | 25 |
| 4 | 122 | 19 | 43 | 25 |
| 5 | 122 | 20 | 45 | 15 |
| 6 | 122 | 21 | 40 | 20 |
| 7 | 125 | 19 | 45 | 20 |
| 8 | 125 | 20 | 40 | 25 |
| 9 | 125 | 21 | 43 | 15 |

2.3. Thực hiện thí nghiệm

Thực hiện việc chuẩn bị đồ gá theo yêu cầu kỹ thuật như trong bản vẽ lắp. Sau đó thực hiện việc lập trình thủ công trên giao diện lập trình tay pendant của

hệ thống Robot sao cho đảm bảo được tính linh hoạt của Robot khi đi từ góc tọa độ đến đường hàn và đảm bảo độ an toàn trong quá trình vận hành Robot.



Hình 3. Thực hiện thí nghiệm

Sau khi kết thúc quá trình vận hành thí nghiệm trên Robot, tiến hành xử lý nguội mài thô từng mỗi hàn trong từng mẫu. Và kết quả được lựa chọn lần này là thời gian mài thô mỗi hàn ứng với từng mẫu thí nghiệm để tiến hành phân tích mô hình dữ liệu thí nghiệm.

3. Thực hiện phân tích, tối ưu hóa mô hình dữ liệu thí nghiệm

3.1. Phương pháp Taguchi

Thực hiện quy trình tối ưu hóa bằng Phương pháp Taguchi với bốn nhân tố

đầu vào, mỗi nhân tố ứng với ba mức giá trị trên phần mềm Minitab [6].

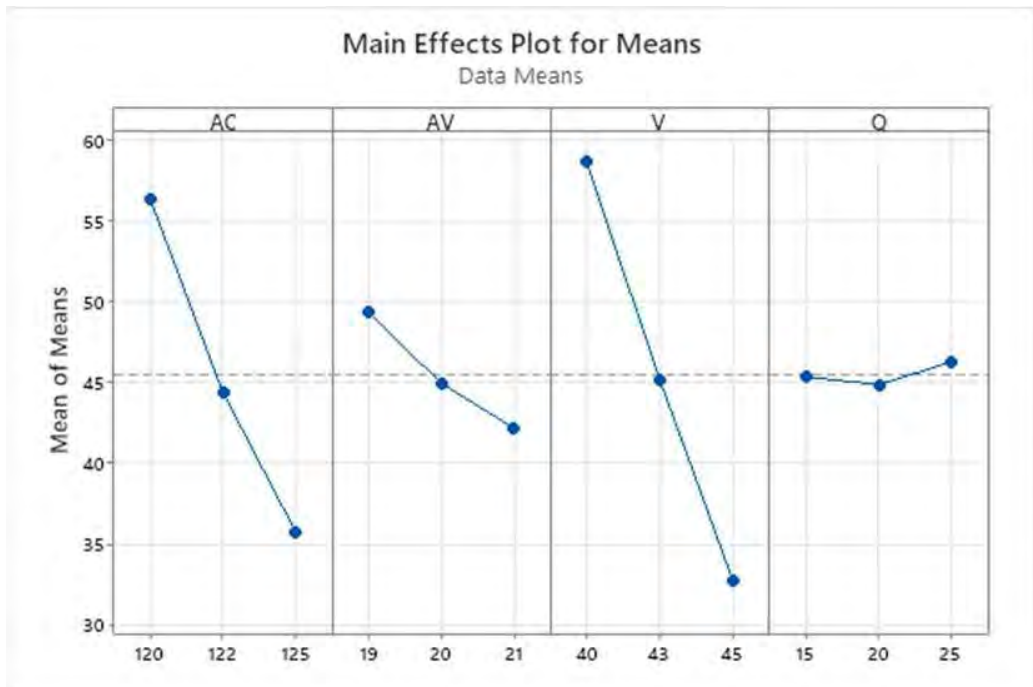
Sau đó tiến hành phân tích dữ liệu đầu vào ứng với từng kết quả đầu ra. Ứng với tiêu chí lựa chọn là nhỏ nhất là tốt nhất, phân tích cho ra kết quả tỉ số tín hiệu/nhiều theo Bảng 2. Từ đó có được kết quả tính toán bằng phần mềm Minitab như Hình 4.

Bảng 2. Kết quả tỉ số S/N

| N | AC | AV | V | Q | Thời gian mài thô(s) | Tỉ số S/N |
|---|-----|----|----|----|----------------------|-----------|
| 1 | 120 | 19 | 40 | 15 | 73.09 | -37.277 |
| 2 | 120 | 20 | 43 | 20 | 54.81 | -34.77 |
| 3 | 120 | 21 | 45 | 25 | 41.02 | -32.25 |
| 4 | 122 | 19 | 43 | 25 | 48.63 | -33.73 |
| 5 | 122 | 20 | 45 | 15 | 30.9 | -29.79 |
| 6 | 122 | 21 | 40 | 20 | 53.56 | -34.57 |
| 7 | 125 | 19 | 45 | 20 | 26.19 | -28.36 |
| 8 | 125 | 20 | 40 | 25 | 49.13 | -33.82 |
| 9 | 125 | 21 | 43 | 15 | 31.97 | -30.09 |
| | | | | | | |



Hình 4. Biểu đồ ảnh hưởng chính cho tỉ số S/N



Hình 5. Biểu đồ ảnh hưởng chính cho các giá trị trung bình

Theo kết quả tính toán, ảnh hưởng của nhân tố tốc độ di chuyển của đầu súng hàn đến kết quả là lớn nhất, cụ thể là độ dốc của đồ thị là lớn nhất. Điều này có nghĩa là thời gian mài thô mỗi hàn được ảnh hưởng trực tiếp bởi vận tốc di chuyển của đầu súng hàn, ảnh hưởng tiếp theo là cường độ dòng điện hàn. Với hai ảnh hưởng lớn nhất này, có thể kết luận sơ bộ rằng nếu vận tốc lớn mà cường độ dòng điện nhỏ, thì mỗi hàn chưa ngẫu hoàn toàn, sau khi mài cần phải xử lý lại và ngược lại,

cường độ dòng điện lớn mà vận tốc nhỏ thì độ thâm thấu quá nhiều, từ đó tăng thời gian xử lý nguội, làm giảm hiệu suất của quy trình.

Từ đó có được phương trình hồi quy bậc nhất như sau:

$$T = 824.0 - 4.011 \times AC - 3.56 \times AV - 5.123 \times V + 0.094 \times Q$$

Sau khi phân tích và tính toán bằng phương pháp Taguchi, ta có được kết quả tiên đoán của bốn nhân tố ứng với kết quả được lựa chọn là thời gian mài thô được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tiên đoán

| AC (A) | AV (V) | V (cm/phút) | Q (l/phút) | S/N Ratio | Mean |
|--------|--------|----------------|---------------|-----------|-------|
| 125 | 21 | 45 | 15 | -27.37 | 19.54 |

3.2. Artificial Neural Networks – Genetic Algorithms

Khác với phương pháp Taguchi, mô hình tiên đoán bằng mạng nơ-ron nhân tạo ANNs – GA có thể tiên đoán dựa trên những dữ liệu được cung cấp [7]. Thông qua phương pháp lặp, mạng đánh giá chất lượng của từng dữ liệu đã học được trước đó, rồi thay thế các phần tử không phù hợp bằng những phần tử mới dựa trên các giá trị thích

nhghi thông qua một hàm thích nghi để từ đó cho ra kết quả cuối cùng.

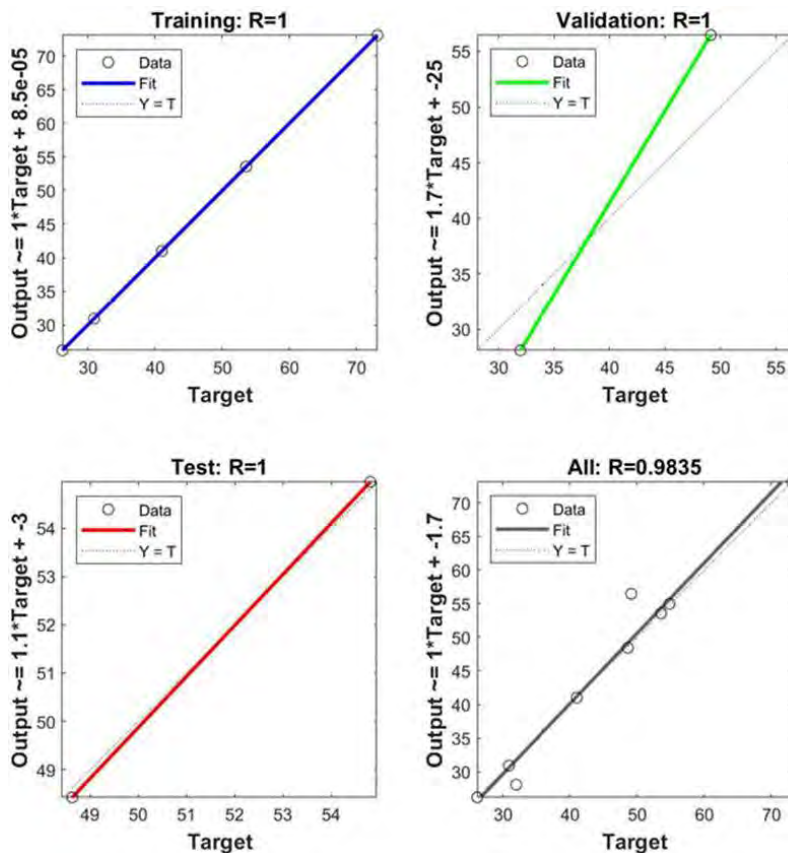
Hàm thích nghi được sử dụng trong quá trình này là: $Func = @ (x) \text{sim}(\text{net}, x')$. Trong đó Func là tên hàm thích nghi; $@ (x)$ là tham chiếu hàm cho biến x; sim là hàm mô phỏng hoạt động của mạng nơ-ron trong MATLAB; net là tên mô hình mạng nơ-ron nhân tạo (ANNs) đã được huấn luyện; x là biến cần tìm hay dữ liệu đầu vào cần tìm.

Đầu tiên là huấn luyện cho mô hình mạng nơ – ron nhân tạo ANNs trên phần mềm MATLAB với dữ liệu đầu vào và đầu ra như trong Bảng 2 với một quy trình mài thô. Lựa chọn số lớp ẩn cần huấn luyện là 10 lớp ẩn với 1 kết quả đầu ra để huấn luyện mạng. Vì dữ liệu ban đầu của mô hình là nhỏ nên lựa chọn Thuật toán Levenberg – Marquadt để huấn luyện mạng ANNs.

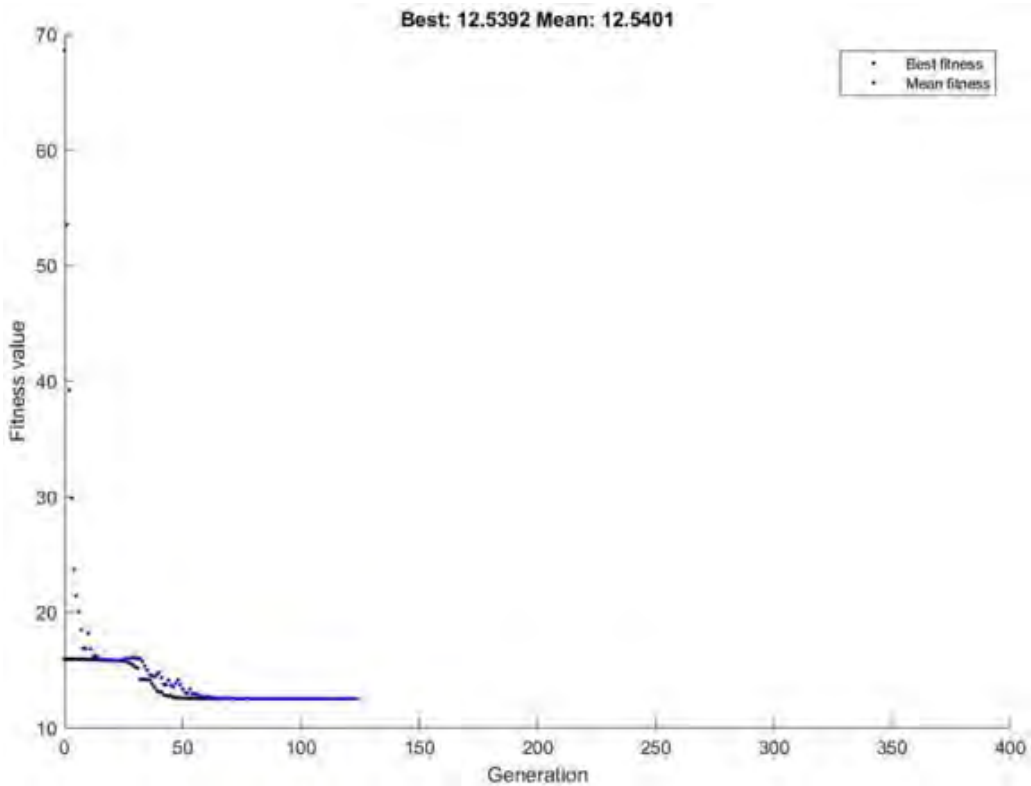
Huấn luyện mô hình thuật toán này sao cho hệ số tương quan R lớn hơn giá trị 0,95 thì mô hình tính toán mới có ý nghĩa. Vì trong suốt quá trình

huấn luyện đó, mạng nơ – ron trải qua nhiều lần lặp với mục tiêu tối ưu hóa trọng số và độ lệch (hay còn gọi là bias). Khi giá trị hệ số tương quan R gần bằng 1 nghĩa là mô hình có khả năng dự đoán chính xác và có độ tin cậy cao.

Sau khi huấn luyện mô hình mạng có giá trị hệ số tương quan phù hợp, tiếp theo thực hiện việc tối ưu hóa mô hình bằng giải thuật di truyền GA (Genetic Algorithms) để tiên đoán kết quả của mô hình. Từ đó thu được kết quả như Hình 6 và Bảng 4.



Hình 6. Kết quả hệ số tương quan khi huấn luyện ANNs



Hình 7. Đồ thị kết quả tối ưu bằng giải thuật di truyền.

Bảng 4. Kết quả tối ưu bằng giải thuật di truyền

| AC (A) | AV (V) | V (cm/phút) | Q (l/phút) | Dự đoán kết quả (sec) |
|--------|--------|-------------|------------|-----------------------|
| 125.52 | 18.20 | 45.09 | 13.45 | 12.5392 |

Với cái nhìn trực quan cho từng môi hàn ứng với từng thí nghiệm. Đầu tiên là về môi hàn thô, toàn bộ môi hàn trong 9 thí nghiệm trên cơ bản là đều nhau nhưng nhiều môi hàn còn bị lệch, không thẳng hoàn toàn vì những yếu tố bên ngoài như độ ổn định của điện cực cung cấp cho bề hàn; độ rơ của đầu hàn của Robot hàn (tuổi thọ của Robot). Ở thí nghiệm 1; thí nghiệm 5 và thí

thí nghiệm 9, tỉ lệ xỉ hàn sinh ra và bắn lên bề mặt vật liệu nền cao hơn so với các thí nghiệm còn lại. Về đánh giá môi hàn sau khi mài và đánh bóng, hầu hết các môi hàn ít xuất hiện khuyết tật sau khi mài môi hàn, các môi hàn đều ngẫu nhiên hoàn toàn, tỉ lệ xuất hiện khuyết tật trước và sau khi mài môi hàn hầu như không đáng kể.

4. Kết luận

Đánh giá về các mô hình tiên đoán các nhân tố, như đã phân tích và tiên đoán theo từng mô hình tiên đoán, thì đối với phương pháp Taguchi sẽ trả về đúng các giá trị đã được nêu trong bảng DOE, điều này là hạn chế với phương pháp này. Về mô hình ANNs – GA thì sẽ cho ra kết quả nằm trong vùng đã được giới hạn, từ đó có thể khảo sát hết tất cả các giá trị không thể liệt kê trong thiết kế mô hình thí nghiệm ban đầu. Điểm nghiên cứu đóng góp đặc biệt trong nghiên cứu này là ở khả năng tối ưu hoá thông số Hàn để đáp ứng các tiêu chí về năng suất, chất lượng và đặc biệt là khả năng tự làm sạch Cleanability nhờ sử dụng thuật toán trí tuệ nhân tạo [8], [9]. Điều này có thể mở ra hướng nghiên cứu mới tự điều chỉnh hệ thống robot Hàn thông qua thuật toán trí tuệ nhân tạo để đảm bảo đồng thời các yếu tố làm sạch, giảm thiểu các khó khăn và chi phí phải xử lý bề mặt ở công đoạn tiếp theo về tự động hoá robot đánh bóng cho các bề mặt trong sản xuất hàng loạt của dòng sản phẩm tương tự.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi phòng nghiên cứu phát triển sản phẩm công nghệ cao tích hợp trí tuệ nhân tạo từ công ty TNHH Vietnam Metal Hardware, TPHCM, thuộc dự án “Tự động hoá sản xuất công nghiệp phụ trợ về kim loại, giai đoạn 2022 -2026”

Tài liệu tham khảo

- [1] Mikell P. Groover. *Fundamentals of modern manufacturing. Professor Emeritus of Industrial and Systems Engineering*, Lehigh University, 2020.
- [2] Jiahao Xiong, Zhongtao Fu, Hang Chen, Jiabin Pan, Xiangsheng Gao, and Xubing Chen., “Simulation and trajectory generation of dual-robot collaborative welding for intersecting pipes,” *Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature 2020*, pp. 1 – 4, 2020.
- [3] Nandan Natesan, Jegadeeshwaran R, Sakthivel G, Arunkumar V., “Design and analysis of robot and fixture pedestal for OTC FDV8 MAG welding robot,” *Journal of Physics: Conference Series, IRMAS-2023*, pp. 1 – 14, 2023.
- [4] G. Buonanno, n, L. Morawskab, L. Stabilea, “Exposure to welding particles in automotive plants,” *Journal of Aerosol Science* , 42(5):295-304, 2011.
- [5] Nguyễn Hữu Lộc. *Giáo trình quy hoạch và phân tích thực nghiệm*. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2021.
- [6] Ortiz-Rodríguez, J.M., Martínez-Blanco, M.R., Vega-Carrillo, H.R., “Robust design of Artificial Neural Networks applying the Taguchi methodology and DoE,” *Proceedings of the Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA'06)*, pp. 1 – 6.
- [7] Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark Hudson Beale, Orlando De Jesus. *Neural Network Design – 2nd edition*. Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, 2014.
- [8] T. B. Kirk, D. Panzera, R.V. Anamalay, Z. L. Xu., “Computer image analysis of wear debris for machine condition monitoring and fault diagnosis, ” *Wear* 181-183 (1995) 717- 722.
- [9] Bao PQ, Ko SL, “Improvement of particle classification using particle expert system in automotive production,” *Int J Adv Manuf Technol* 87, 1443–1455, 2016.

Ngày nhận bài: 05/4/2025

Ngày hoàn thành sửa bài: 04/7/2025

Ngày chấp nhận đăng: 11/7/2025