

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN MÁY HÀN MA SÁT QUAY VLUTE A02

STUDY AND DEVELOPMENT OF VLUTE A02 ROTARY FRICTION WELDING MACHINE

Tạ Văn Rảnh¹, Nguyễn Ngọc Nhân¹,
Phan Trường Duy¹, Nguyễn Vũ Lực², Lê Hồng Kỳ^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huivh5804.2025.386>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu nâng cấp thiết bị hàn ma sát quay VLUTE A01 thành phiên bản VLUTE A02. Việc nâng cấp máy hàn được công bố chủ yếu tập trung vào hệ thống điều khiển. Với hệ thống này, các thông số công nghệ quá trình hàn được điều khiển bởi PLC với chương trình được thiết lập thông qua máy tính. Để kiểm định khả năng vận hành của máy một kế hoạch thử nghiệm theo phương pháp Taguchi L4 được xây dựng với 4 cặp mẫu bằng hợp kim nhôm 6063 dạng lỗ đã được sử dụng. Kết quả thử nghiệm mẫu thử hợp kim nhôm cho thấy: mối nối đồng đều về biến dạng và cấu trúc; ứng suất kéo lớn nhất và độ giãn dài tại mối hàn của các cặp mẫu tương đương vật liệu gốc; áp lực ma sát tác động tới ứng suất kéo nhiều hơn so với thời gian, mức cao của cả hai thông số hàn đều có xu hướng tác động lớn hơn mức thấp.

Từ khóa: Máy hàn ma sát quay; hệ thống điều khiển; áp lực ma sát; thời gian ma sát; mối hàn.

ABSTRACT

This article presents the results of research on upgrading the VLUTE A01 rotary friction welding equipment to the VLUTE A02 version. The announced upgrade of the welding machine mainly focuses on the control system. With this system, the welding process technological parameters are controlled by PLC with the program set up via computer. To verify the machine's performance, a test plan according to the Taguchi L4 method was built with 4 pairs of hole-shaped 6063 aluminum alloy samples that were used. Test results of aluminum alloy samples show that: the joint is uniform in deformation and structure; The maximum tensile stress and elongation at the weld joint of the sample pairs are equivalent to the original material; Friction pressure affects tensile stress more over time, with high levels of both welding parameters tending to have a greater impact than low levels.

Keywords: Rotary friction welding machine; control system; friction pressure; friction time; welded joints.

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

²Trường Đại học Trà Vinh

*Email: kylh@vlute.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/4/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/10/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2025

1. GIỚI THIỆU

Hàn ma sát quay là quá trình hàn áp lực, sử dụng nhiệt ma sát sinh ra tại bề mặt tiếp xúc giữa hai chi tiết chuyển động tương đối với nhau để nung mép hàn đến trạng thái chảy dẻo, sau đó dùng lực ép để ép hai chi tiết lại với nhau làm cho kim loại mép hàn khuếch tán sang nhau tạo thành mối hàn. Hiện nay máy hàn ma sát quay đã được chế tạo và phát triển từ các công ty cung cấp thiết bị đến từ Mỹ, Đức, Đài Loan, Trung Quốc, Nhật Bản,... Ở Việt Nam cũng đã nhập các thiết bị hàn ma sát đưa vào phục

vụ cho nghiên cứu chế tạo và trong sản xuất. Tuy nhiên, do bí mật thương mại nên các công nghệ về thiết kế và chế tạo máy ma sát quay rất ít được công bố chính thức. Ade Sunardi và cộng sự đã công bố kết quả nghiên cứu "Thiết kế và phát triển máy hàn ma sát quay dựa trên máy tiện". Máy được cải tiến, chế tạo với một số hệ thống như phanh, mâm cặp và hệ thống thủy lực [1]. Gourav sardana và Ajay Lohan đã nghiên cứu hàn ma sát trên máy tiện với đồ gá đặc biệt [2]. Hàn ma sát trên máy tiện do Jagroop Singh, Karamdeep Singh nghiên cứu hàn ma sát quay

trên máy tiện có mũi chống tâm [3]. Nhóm nghiên cứu của P A Thakare thiết kế và phát triển máy hàn ma sát và kiểm định các thông số hàn cho các vật liệu tương tự trên máy tiện bàn cải tiến với tốc độ quay không đổi và thiết kế bộ chuyển đổi để giữ chi tiết cố định, mạch đảo chiều quay của động cơ khi phanh đột ngột [4]. Về vật liệu hàn ma sát quay, nhóm tác giả Víctor Alcántara Alza trong nghiên cứu tác động lên độ bền cứng, độ bền mỏi và cấu trúc vi mô khi hàn ma sát quay giữa hai thép không giống nhau AISI 1018 - AISI 2225. Kết quả cho thấy lực ma sát và thời gian ma sát có ảnh hưởng rất lớn đến độ bền kéo của thép, khi áp lực hàn ma sát tăng thì trong một giới hạn nhất định độ bền kéo của mối hàn tiến gần đến kim loại cơ bản [5]. Trong nghiên cứu "Tối ưu hóa bằng RSM khi hàn ma sát quay trên hợp kim nhôm AA1100 và thép nhẹ, đường kính 12mm, dài 70mm" F. Khalfallah đã nghiên cứu tối ưu hóa các thông số hàn bằng cách áp dụng phương pháp bề mặt đáp ứng nhằm dự đoán các thông số hàn. Kết quả thí nghiệm cho thấy áp lực rèn/thời gian rèn đóng góp nhiều hơn vào độ bền kéo, tiếp theo là áp lực ma sát/thời gian ma sát hơn là tốc độ quay, khi tăng áp lực ma sát/thời gian ma sát và tốc độ quay làm giảm độ cứng của mối hàn [6]. Singh, S. K và Chattopadhyay đã nghiên cứu thực hiện ghép hợp kim nhôm A356 bằng phương pháp hàn ma sát, xây dựng mô hình cơ nhiệt để dự đoán sự phân bố nhiệt độ và ứng suất cũng như xác định khoảng thông số phù hợp [7]. Chapke và Kamble tối ưu hàn ma sát quay nối AA6063 với AISI4130 và đồng, sử dụng Taguchi và ANOVA để đánh giá ảnh hưởng các tham số quá trình lên độ bền kéo. Mối nối AA6063-AISI4130 đạt UTS tối đa 301MPa (25mm, 1500rpm, 71MPa, 4s), cao hơn 26% so với AA6063-Đồng, với phá hủy chủ yếu ở AA6063 do hợp chất liên kim và vết nứt nhỏ [8]. Chapke và cộng sự sử dụng hàn ma sát quay nối AA6063 với đồng đường kính 12mm, khắc phục hạn chế của hàn nóng chảy. Với DOE và RSM tối ưu các thông số (1500rpm, 170MPa, 15s), mối nối đạt độ bền kéo tối đa 222,8MPa, chứng minh RFW là phương pháp hiệu quả để tạo mối nối nhôm - đồng chất lượng cao [9]. Vyas, Mehta và cộng sự đã nghiên cứu hàn ma sát nối AA6063-T6 với SS304L ở ống 88,9mm × 5,4mm, ứng dụng cho bộ trao đổi nhiệt và hệ thống chân không [10]. Kết quả nghiên cứu này đã tạo mối nối đạt độ bền kéo 194,8MPa (hiệu suất 72%) và duy trì độ kín, với lớp Fe₃Al mỏng tại giao diện tăng cường độ bền nhưng gây phá hủy hỗn hợp giòn - dẻo.

Ở Việt Nam rất ít các công bố về nghiên cứu, thiết kế, chế tạo máy hàn ma sát. Nhóm nghiên cứu Trường Đại

học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long (VLUTE) đã nghiên cứu và thử nghiệm máy hàn ma sát quay tự chế với thép CT3, kết quả bước đầu đưa vào thử nghiệm đạt kết quả tốt [11]. Trong thời gian gần đây nhóm VLUTE tiếp tục có những công bố về cải tiến máy tiện thành máy máy hàn ma sát với kết quả bước đầu khá khả quan [12, 13]. Về vật liệu hàn ma sát, các nhóm nghiên cứu ở Việt Nam chủ yếu khảo sát về hàn ma sát quay với cùng một vật liệu. Tác giả Hồ Mỹ Nữ và cộng sự nghiên cứu mô phỏng quá trình hàn ma sát quay hợp kim Titan trên phần mềm Abaqus [14]. Nhóm nghiên cứu Vũ Ngọc Thương đã xác định ảnh hưởng của lực ép và thời gian ép đến độ bền kéo của mối hàn ma sát quay với vật liệu thép C45 có đường kính 8mm, dài 60mm [15]. Cho tới nay, chưa có công bố về kết quả nghiên cứu hàn ma sát quay hợp hợp kim nhôm.

2. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN MÁY HÀN MA SÁT QUAY VLUTE

2.1. Giới thiệu tóm tắt thiết bị VLUTE A01

Thiết bị hàn ma sát quay VLUTE A01 được cải tiến từ máy tiện Yamazaki CT800, bao gồm các hệ thống chính: cụm mâm cặp quay - không quay, cơ cấu truyền động đai - động cơ, bộ tịnh tiến thủy lực và điều khiển quá trình hàn thông qua các nút bấm cơ bản. Qua quá trình vận hành, một số hạn chế được ghi nhận như sau: thời gian phanh lớn (0,4 - 1,0s) khiến việc kiểm soát chính xác thời điểm đạt nhiệt ma sát tối ưu gặp khó khăn; chưa được trang bị PLC nên quá trình hàn phụ thuộc nhiều vào thao tác thủ công, dẫn đến sai lệch đáng kể giữa các lần hàn; khó hàn ổn định các vật liệu có độ dẫn nhiệt cao như nhôm, với độ bền kéo mối hàn chỉ đạt khoảng 70% so với vật liệu cơ bản.

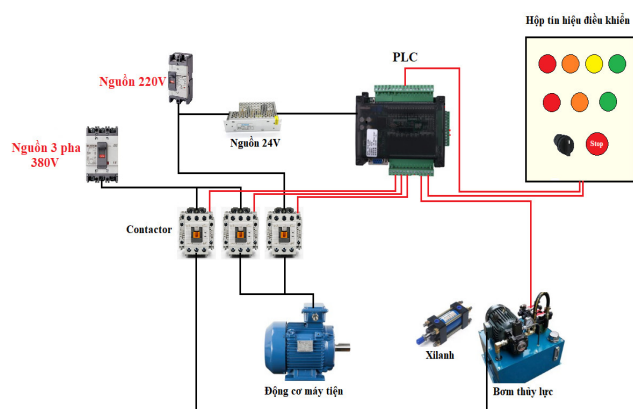
Để thực hiện nghiên cứu này, thiết bị hàn ma sát quay VLUTE A02 do nhóm nghiên cứu Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long cải tiến, phát triển từ máy tiện Yamazaki CT800 [12, 13]. Các vấn đề về cân bằng, cân chỉnh đồng tâm trục và rung động trong quá trình hàn trên thiết bị hàn VLUTE A01 đã được xem xét, kiểm định. Trong đó, sai lệch độ đồng tâm trục của máy hàn ma sát VLUTE chủ yếu là theo phương đứng, sai lệch theo phương ngang thấp, nhưng khoảng sai lệch khá lớn. Khi hai chi tiết hàn bắt đầu tiếp xúc, rung động tăng, giảm đột ngột. Các giai đoạn còn lại của quá trình hàn các giá trị rung động đo được đều khá ổn định, nằm trong phạm vi cho phép.

Phiên bản VLUTE A02 được phát triển nhằm khắc phục các hạn chế trên thông qua các cải tiến: (i) tích hợp PLC điều khiển toàn bộ chu trình hàn, (ii) bổ sung phanh hãm

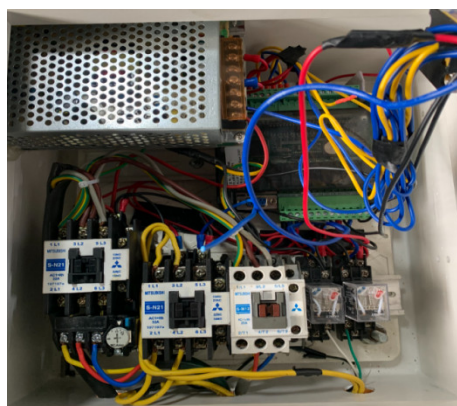
động năng giúp giảm đáng kể thời gian phanh, (iii) bổ sung giao diện thiết lập và giám sát thông số trên máy tính, (iv) các thông số quá trình hàn được thiết lập theo thời gian và thực hiện hàn tự động do đó đảm bảo độ tin cậy và đồng đều.

2.2. Hệ thống điều khiển

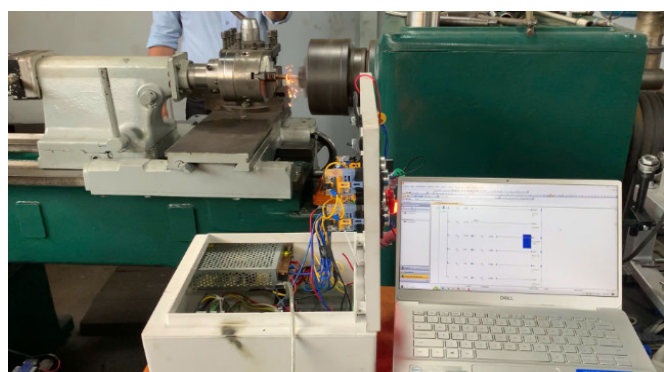
Hệ thống điều khiển liên kết động cơ máy tiện, phanh động cơ, hệ thống bơm thủy lực và các tín hiệu báo (hình 1). PLC điều khiển toàn bộ quá trình hàn ma sát quay, vận hành thiết bị ở chế độ không tải, các tín hiệu ngoại vi, các nút nhấn on/off và khẩn cấp,...



Hình 1. Sơ đồ hệ thống máy hàn ma sát quay



a) Tủ điện



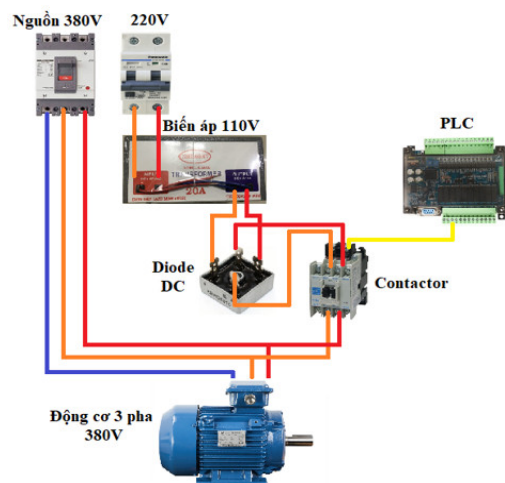
b) Hệ thống điều khiển

Hình 2. Hệ thống điều khiển thiết bị hàn ma sát quay

Động cơ motor 3 pha có công suất là 5,5kW; 7,38Hp; 50/60Hz; 23/21A; sử dụng nguồn điện 3 pha 380V. Bơm nguồn với động cơ 1,5kW; 2Hp; 1000rpm. Van đảo chiều Solenoid Yuken, nguồn điện 220V (hình 2).

2.3. Cơ cấu phanh hãm

Trên cơ sở nguyên lý hãm động năng, tiến hành lắp đặt cơ cấu phanh hãm cho động cơ Super - Line, thương hiệu Mitsubishi với công suất là 5,5kW, 7,38Hp, 50/60Hz, 23/21A, 1450/1740rpm, nguồn điện 3 pha 380V (hình 3).



a) Sơ đồ khối



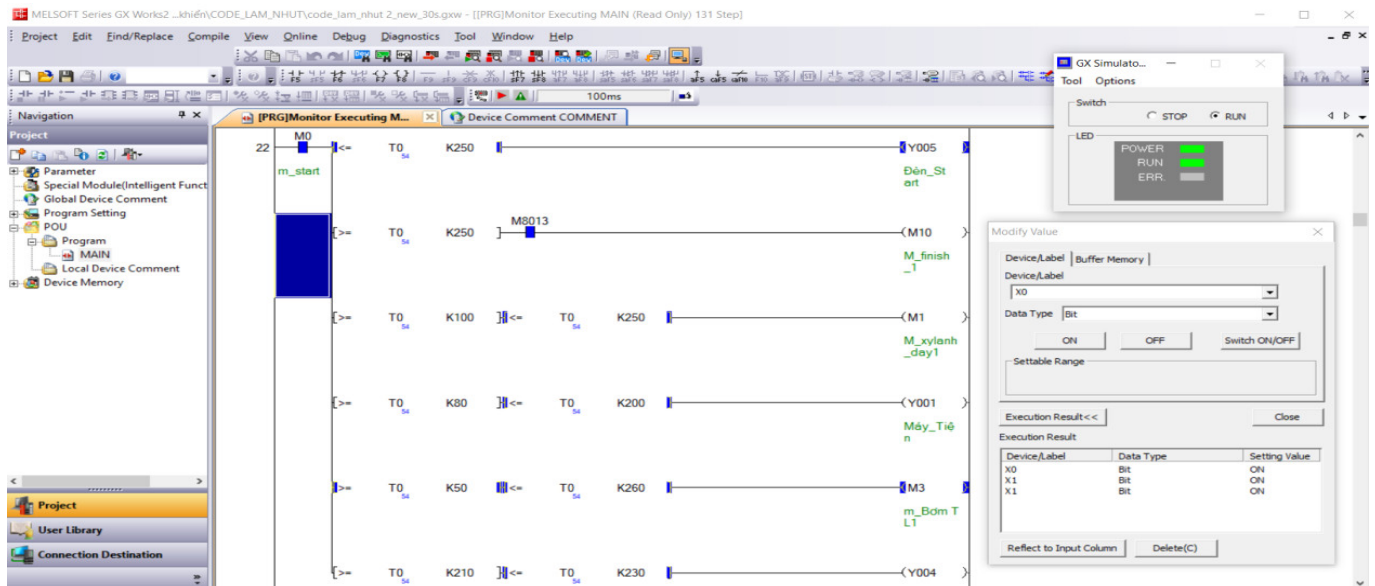
b) Lắp đặt

Hình 3. Cơ cấu phanh hãm

Phanh hãm hoạt động dưới sự điều khiển của PLC ở khoảng thời gian t_s (giây) được xác định trước. Trong kiểm nghiệm, khoảng thời gian phanh bắt đầu phanh đến động cơ đứng hoàn toàn là 0,1 đến 0,2 giây (truyền chuyển từ động cơ đến trục chính qua bộ truyền đai có thời gian sai số trượt). Theo nguyên lý hãm của mạch hãm động năng, để cơ cấu phanh hoạt động tốt và không tổn hại đến động cơ thì khoảng thời gian ngắt nguồn động

cơ và cấp nguồn cho cơ cấu phanh xác định trong khoảng 0,1 - 0,5 giây là hợp lý.

Các thông số công nghệ quá trình hàn như số vòng quay, áp lực dọc trục, thời gian ma sát, thời gian phanh (hãm động năng) và thời gian rèn được điều khiển bởi PLC với chương trình được thiết lập thông qua máy tính (hình 4).



mối nối bền chắc và nâng cao độ ổn định của quy trình thử kéo.

Mặc dù trong bảng 4 đưa ra hai mức tốc độ 1100 và 1600rpm. Tuy nhiên do kết quả thử nghiệm ban đầu cho thấy ở tốc độ 1100rpm: Nhiệt sinh ra thấp và không ổn định; Flash nhỏ và không đều; Rung động tăng 20 - 30% so với 1600rpm; Mối hàn kém chất lượng (bảng 4). Vì vậy, để đảm bảo độ tin cậy và lặp lại trong phân tích Taguchi, loại bỏ mức 1100rpm, chỉ giữ lại 1600rpm cho ma trận L4 với 2 nhân tố, 2 mức: áp lực ma sát F_{ms} và thời gian rèn không đổi ($t_r = 5s$).

- Thiết bị thử nghiệm: Máy hàn ma sát quay VLUTE A02, quá trình hàn (hình 5).



Hình 5. Hàn hợp kim nhôm 6060 trên máy hàn VLUTE A02

- Thiết bị đo kết quả: máy thử kéo INSTRON (hình 6).



a) Gá đặt mẫu thử



b) Mẫu thử sau khi kéo

Hình 6. Thử kéo thiết bị INSTRON

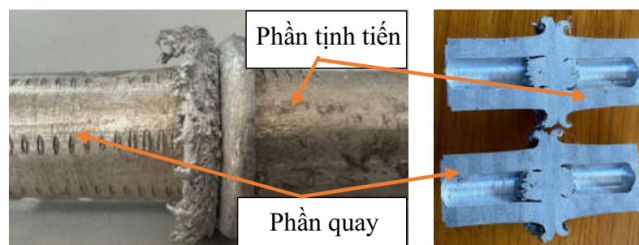
- Kết quả thử kéo bao gồm: ứng suất lớn nhất σ ứng với lực kéo lớn nhất F_{max} như bảng 6.

Bảng 6. Tổng hợp kết quả thử nghiệm

Run	n [rpm]	F_{ms} [MPa]	t_{ms} [s]	σ [Mpa]	F_{max} [kN]
1	1600	90	6	110,59	13,55
2	1600	90	10	121,72	14,92
3	1600	120	6	135,81	16,64
4	1600	120	10	160,89	19,71

3.4. Phân tích kết quả thử nghiệm

3.4.1. Cấu trúc và biến dạng tại mối nối



a) Biến dạng ngoài

b) Mặt cắt dọc



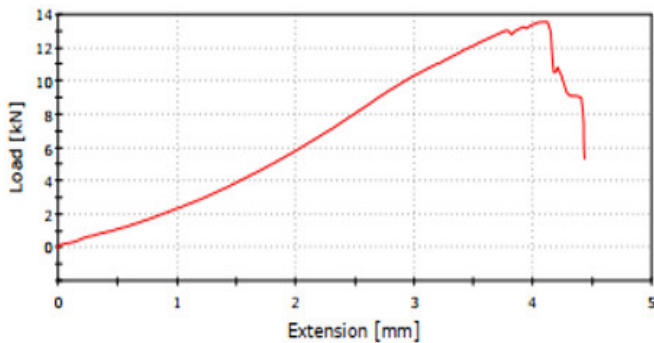
c) Phóng đại mặt cắt dọc

Hình 7. Kết cấu, biến dạng tại mối nối

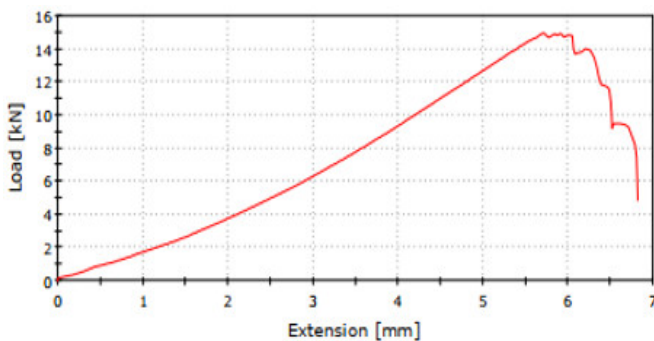
Với cấu trúc và biến dạng tại mối nối (hình 6b và 7) cho thấy: với các thông số hàn được thiết lập máy hàn ma sát quay VLUTE A02 đã tạo ra mối nối đồng đều; vật liệu biến

dạng bên ngoài và bên trong khá đồng đều với cả ở phần quay và tịnh tiến; tại mặt tiếp xúc, kim loại từ 2 phần thấu khá đều vào nhau.

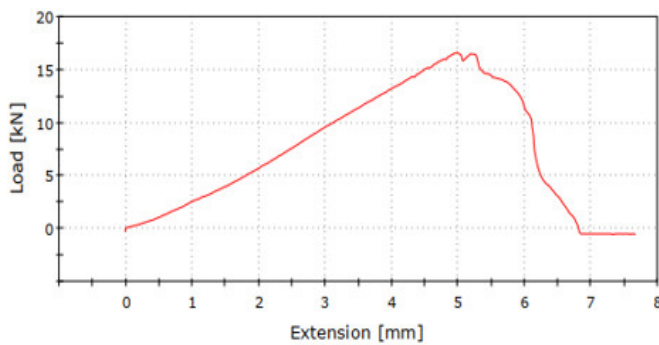
3.4.2. Trạng thái chịu lực



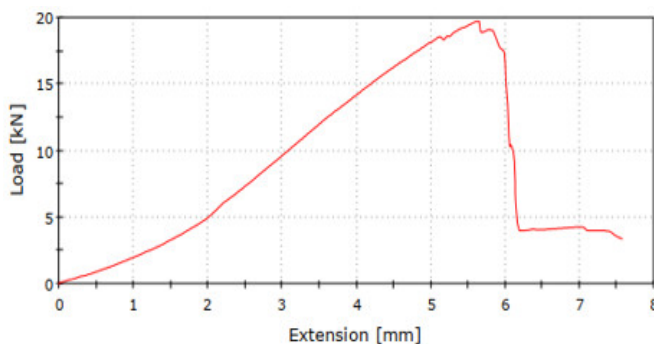
a) Cặp mẫu 1



b) Cặp mẫu 2



c) Cặp mẫu 3



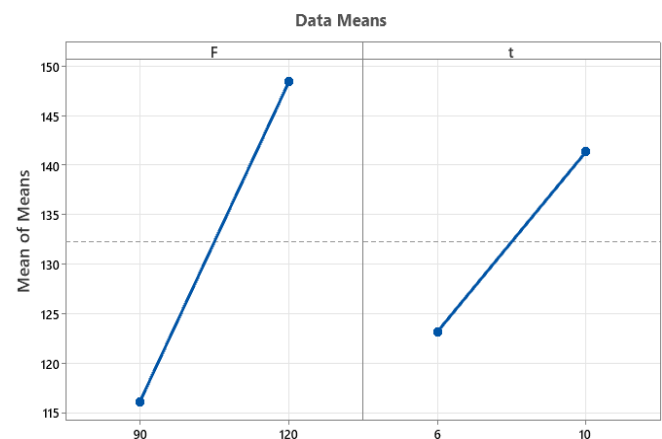
d) Cặp mẫu 4

Hình 8. Kết quả thử kéo trên 4 cặp mẫu thử nghiệm

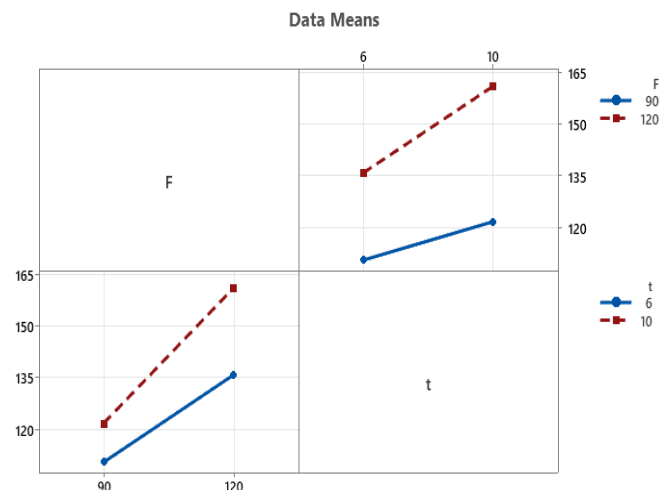
Với các thông số nghệ được cài đặt trong hệ thống điều khiển của máy hàn ma sát quay VLUTE A02, kết quả thử kéo 4 mẫu (bảng 2, 6 và hình 8) cho thấy ứng suất kéo lớn nhất tại mỗi hàn và độ giãn dài tương đương 75,56% vật liệu gốc; ứng suất kéo đạt giá trị lớn nhất ($\sigma = 160,89\text{MPa}$) ứng với cặp mẫu 4 ($F_{ms} = 120\text{MPa}$, $t_{ms} = 10\text{s}$).

3.4.3. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới ứng suất

Để xem xét ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới ứng suất lớn nhất, trong phân tích Taguchi nguyên lý “Lớn hơn thì tốt hơn” [16].



a) Tác động chính



b) Tương tác

Hình 9. Biểu đồ tác động và tương tác giữa các yếu tố

Trong hai thông số công nghệ hàn, áp lực F_{ms} tác động tới ứng suất kéo nhiều hơn so với thời gian t_{ms} (hình 9a). Nếu xét riêng từng thông số thì mức cao của cả hai ($F_{ms} = 120\text{MPa}$, $t_{ms} = 10\text{s}$) đều có xu hướng tác động lớn hơn mức thấp ($F_{ms} = 90\text{MPa}$, $t_{ms} = 6\text{s}$) (hình 9b).

Các mẫu hàn cho thấy flash hình thành đều và mặt cắt không có khuyết tật, chứng tỏ VLUTE A02 vận hành ổn

định. Độ bền kéo đạt 160,89MPa (75,56% vật liệu gốc), phù hợp với các nghiên cứu RFW trước đây. Phân tích Taguchi cho thấy áp lực ma sát là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến độ bền, trong khi thời gian ma sát có tác động hỗ trợ. Kết quả này khẳng định hệ thống điều khiển mới của VLUTE A02 tái lập tốt ảnh hưởng của các tham số quá trình lên chất lượng mối hàn

Bảng 7. So sánh giữa VLUTE A01 và VLUTE A02

Tiêu chí	VLUTE A01	VLUTE A02
Điều khiển	Thủ công	PLC - tự động
Giao diện	Không có	Máy tính - chỉnh thông số
Thời gian phanh	0,4 - 1,0s	0,1 - 0,2s
Độ lặp lại	Thấp	Cao
Chất lượng mối hàn	Không đồng đều	Flash đều - cấu trúc ổn định

Kết quả chứng minh VLUTE A02 vượt trội hơn A01 về độ ổn định, độ chính xác và chất lượng mối hàn.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở máy hàn ma sát quay VLUTE A01 được cải tiến từ máy tiện Yamazaky CT800, nhóm nghiên cứu tiếp tục phát triển, nâng cấp hệ thống điều khiển thành phiên bản máy hàn VLUTE A02. Các thông số công nghệ quá trình hàn như số vòng quay, áp lực dọc trục giai đoạn ma sát và giai đoạn hàn, thời gian ma sát và thời gian hàn (thời gian rên) được điều khiển bởi PLC với chương trình được thiết lập thông qua máy tính.

Để kiểm định khả năng vận hành máy hàn ma sát quay VLUTE A02, một kế hoạch thử nghiệm theo phương pháp Taguchi L4 được xây dựng. Trong thử nghiệm, áp lực ma sát và thời gian ma sát có 2 mức giá trị thay đổi, các thông số còn lại được cài đặt cố định. Bốn cặp mẫu bằng hợp kim nhôm 6063 dạng lỗ đã được sử dụng, kết quả thử nghiệm cho thấy chất lượng mối hàn khá tốt. Cụ thể:

- Máy hàn ma sát quay VLUTE A02 đã tạo ra mối nối đồng đều về biến dạng và cấu trúc.
- Ứng suất kéo lớn nhất và độ giãn dài tại mối hàn của các cặp mẫu tương đương vật liệu gốc.
- Thiết bị mới vận hành ổn định và có độ lặp lại cao hơn đáng kể so với VLUTE A01.
- Áp lực ma sát tác động tới ứng suất kéo nhiều hơn so với thời gian, mức cao của cả hai thông số hàn đều có xu hướng tác động lớn hơn mức thấp.

Kết quả khẳng định rằng việc nâng cấp thiết bị theo hướng tự động hóa là cần thiết và hiệu quả trong nghiên cứu và ứng dụng hàn ma sát quay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ade Sunardi, Mariyana Mariyana, Adhes Gamayel, "Design & development of friction welding machine based on lathe machine," in *The 3rd International Conference On Engineering and Applied Sciences (the 3rd inCEAS)*, 2021. DOI: 10.1063/5.0106341
- [2]. Gourav sardana, Ajay Lohan, "Friction Welding on Lathe Machine with special Fixture," *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 2, 3, 2013.
- [3]. Jagroop Singh, Karamdeep Singh, "Fabrication of Friction Welding on Centre Lathe: A Case Study," *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 4, 2, 2014.
- [4]. P A Thakare, Lt Randheer Singh, "Design and Development of Micro Friction Welding Machine and Investigation of Welding Parameters for Similar Materials," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5, 6, 2014.
- [5]. Víctor Alcántara Alza, "Rotational Friction Welding in Dissimilar Steels AISI 1018 – AISI 2225: Effects on Hardness, Fatigue and Microstructure," *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 19, 3 Ser. II., 2022. DOI:10.9790/1684-1903023749.
- [6]. F. Khalfallah, Z. Boumerzoug, S. Rajakumar, E. Raouache, "Optimization by RSM on rotary friction welding of AA1100 aluminum alloy and mild steel," *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 11, 34-42, 2020. Doi 10.1556/1848.2020.00005.
- [7]. Singh S. K., Chattopadhyay K., Phanikumar G., Dutta P., "Experimental and numerical studies on friction welding of thixocast A356 aluminum alloy," *Acta Materialia*, 73, 177-185, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.04.019>.
- [8]. Chapke Y. U., Kamble D. N., "Effect of friction-welding parameters on the tensile strength of AA6063 with dissimilar joints," *Frattura ed Integrità Strutturale*, 62, 573-584, 2022. DOI: 10.3221/IGF-ESIS.62.39.
- [9]. Yashwant Chapke, Dinesh Kamble, Saoud Md. Salim Shaikh, "Friction welding of Aluminium Alloy 6063 with copper," in *E3S Web of Conferences*, 170, EVF'2019, 2020. <https://doi.org/10.1051/conf/202017002004>.
- [10]. Hardik D. Vyas, Kush P. Mehta, Vishvesh Badheka, Bharat Doshi, "Processing and evaluation of dissimilar Al-SS friction welding of pipe configuration: Nondestructive inspection, properties, and microstructure," *Measurement*, 167, 108305, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108305>.
- [11]. Tran Vinh Hung, Ta Van Ranh, Tran Thi Van Nga, Le Hong Ky, "Research and Test of The Self-designed and Manufactured Rotary Friction Welding Machine with CT3 Steel Samples", *Lecture Notes in Networks and Systems*, 266, 2021.
- [12]. Tạ Văn Rảnh, Lê Hồng Kỳ, "Đồng tâm trục và rung động trên máy hàn ma sát quay," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội*, 60, 11, 2024. <http://doi.org/10.57001/huih5804.2024.369>.

[13]. Ta Van Ranh, Le Hong Ky, Vu Duong, Tran Duc Thuan, "Evaluation of Technical Specifications of Rotary Friction Welding Machine Improved from Lathe," in *Advances in Machinery, Materials Science and Engineering Application X* (MMSE 2024), Paris, France, 2024. doi:10.3233/ATDE240607.

[14]. Hồ Thị Mỹ Nữ, Phạm Văn Toàn, Lý Thanh Hùng, Phan Hoàng Phụng, "Mô phỏng số quá trình hàn ma sát quay của hợp kim Titan," *Tạp chí Khoa học công nghệ và Thực phẩm*, 15 (1), 140-151, 2018.

[15]. Vũ Ngọc Thương, Nguyễn Văn Thành, Phạm Văn Chí, "Nghiên cứu ảnh hưởng của lực ép và thời gian ép đến độ bền kéo của mối hàn khi hàn ma sát quay," *Kỷ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí lần thứ V*, 2018.

[16]. John Pearson, *Aluminium Alloy 6063 Data Sheet*. Atlas Quality. Management, 2021. <https://atlassteels.com.au/wp-content/uploads/2021/08/Aluminium-Alloy-6063-Data-Sheet-11-08-21.pdf>.

[17]. Angela Dean, Max Morris, John Stufke, Derek Bingham, *Handbook of Design and Analysis of Experiments*. Department of Biostatistics Harvard School of Public Health Boston, MA, USA., 2015.

AUTHORS INFORMATION

**Ta Van Ranh¹, Nguyen Ngoc Nhan¹, Phan Truong Duy¹,
Nguyen Vu Luc², Le Hong Ky¹**

¹Vinh Long University of Technology Education, Vietnam

²Tra Vinh University, Vietnam