

TỰ ĐỘNG HÓA QUÁ TRÌNH HÀN MAG ỨNG DỤNG VI ĐIỀU KHIỂN

AUTOMATION OF MAG WELDING PROCESS USING MICROCONTROLLERS

Bùi Văn Hạnh*, Nguyễn Kiều Anh Dương, Vũ Thế Anh

Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Email: hanh.buivan@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh công nghiệp hiện đại, tự động hóa sản xuất cơ khí là yêu cầu quan trọng nhằm nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Hàn MAG là phương pháp hàn hồ quang kim loại trong môi trường khí bảo vệ được sử dụng rộng rãi nhưng vẫn mang tính bán tự động do nhiều chuyển động công nghệ chưa được điều khiển tự động. Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng vi điều khiển trong tự động hóa quá trình hàn MAG nhằm đánh giá tính khả thi của vi điều khiển với vai trò thiết bị điều khiển trung tâm. Nghiên cứu tập trung xây dựng mô hình điều khiển các chuyển động chính, bao gồm điều khiển vận tốc hàn, vận tốc cấp dây và đóng, ngắt hồ quang trong chu trình hàn tự động. Kết quả cho thấy vi điều khiển đáp ứng các yêu cầu điều khiển cơ bản.

Từ khóa: Hàn MAG; Vi điều khiển; Tự động hóa hàn.

ABSTRACT

In the context of modern industrial manufacturing, automation in mechanical production plays an important role in improving productivity and product quality. Metal Active Gas (MAG) welding is a widely used arc welding process; however, it is still considered semi-automatic due to the lack of automated control over several technological motions. This paper presents a study on the application of microcontrollers for automating the MAG welding process, aiming to evaluate their feasibility as a central control unit. The research focuses on the development of a control model for key welding motions, including welding speed control, wire feed speed control, and arc on/off control within a simple automatic welding cycle. The experimental results indicate that microcontrollers are capable of meeting basic control requirements for MAG welding automation. In addition, the proposed approach demonstrates flexibility, low cost, and potential applicability in small- and medium-scale welding systems, providing a promising alternative to conventional PLC-based solutions in appropriate industrial applications.

Keywords: MAG Welding; Microcontroller; Welding Automation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hàn MAG (Metal Active Gas) là phương pháp hàn hồ quang kim loại trong môi trường khí bảo vệ hoạt tính, được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp chế tạo nhờ năng suất cao, chất lượng mối hàn ổn định và khả năng cơ giới hóa tốt. Tuy nhiên, trong thực tế sản xuất, quá trình hàn MAG phần lớn vẫn được triển khai dưới dạng bán tự động, trong đó nhiều thao tác công nghệ phụ thuộc trực tiếp vào người vận hành. Điều này dẫn đến sự không ổn định về chất lượng mối hàn, khó đảm bảo tính lặp lại và làm giảm năng suất tổng thể của hệ thống.

Các thao tác chính có thể được tự động hóa trong quá trình hàn MAG bao gồm: điều khiển vận tốc hàn thông qua chuyển động của mỏ hàn hoặc phôi hàn; điều khiển dòng điện/điện áp hàn; điều khiển dao động mỏ hàn; điều khiển đóng/ngắt hồ quang; điều khiển chiều dài đường hàn. Trong các thao tác này, vận tốc hàn và dòng điện hàn là hai thông số có ảnh hưởng trực tiếp đến hình dạng mối hàn và độ ổn định của hồ quang.

Trong nghiên cứu này, hệ thống hàn MAG tự động được thiết kế với hai chuyển động chính: chuyển động tịnh tiến của mỏ hàn và chuyển động quay của phôi hàn. Việc phối hợp đồng bộ hai chuyển động này cho phép hệ thống thực hiện hàn các chi tiết dạng tấm hoặc dạng ống, bao gồm cả đường hàn thẳng, đường hàn chu vi và đường hàn xoắn ốc. Các chuyển động được điều khiển tự động theo thông số cài đặt trước, góp phần đảm bảo vận tốc hàn ổn định và nâng cao chất lượng mối hàn.

Quá trình hàn MAG là một quá trình

hàn bán tự động nên hiện nay, hầu hết các nhà máy, doanh nghiệp đều sử dụng hệ thống tự động dùng PLC để điều khiển chuyển động của mỏ hàn. Ưu điểm của phương pháp này là dễ lập trình, vận hành, phù hợp với môi trường làm việc. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là khả năng tính toán chưa đạt độ chính xác cao khi cần yêu cầu tính toán nhiều. Nếu sử dụng PLC đáp ứng được yêu cầu thì giá thành cao, chưa tối ưu về bài toán kinh tế.

Do đó, tác giả tập trung vào việc nghiên cứu ứng dụng Vi điều khiển vào việc tự động hóa quá trình hàn MAG nhằm đánh giá tính khả thi của việc ứng dụng Vi điều khiển. Từ đó có thể giảm chi phí thiết bị mà vẫn đáp ứng được yêu cầu thực tiễn.

2. THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

2.1. Phân tích lựa chọn giải pháp điều khiển

So với Vi điều khiển, PLC được sử dụng phổ biến với khả năng ứng dụng cao trong công nghiệp sản xuất. Với các phép tính toán đơn giản, điều khiển các tín hiệu số (Digital), PLC có lợi thế do có thể lắp thêm các bộ mở rộng chân tín hiệu I/O (Input/Output). Tuy vậy, về các yêu cầu tính toán phức tạp, độ chính xác của hệ thống PLC chưa cao do có nhiều hạn chế về phần cứng. Để giải quyết yêu cầu về tính toán, có thể thay thế bộ điều khiển PLC bằng bộ Vi điều khiển hoặc Vi xử lý. Trong quá trình nghiên cứu, tác giả tập trung vào việc nghiên cứu mô hình ứng dụng để đánh giá tính khả thi của việc thay thế PLC bằng một thiết bị điều khiển tương đương. Do đó, sử dụng bộ Vi điều khiển sẽ phù hợp hơn với yêu cầu đề ra. 

Bảng 1. So sánh tính ứng dụng giữa PLC và Vi điều khiển

Tiêu chí	PLC	Vi điều khiển
Chi phí ban đầu	Rất cao. Một PLC cơ bản (Siemens, Allen-Bradley) có giá từ 200-500 USD trở lên, chưa kể module mở rộng.	Rất thấp. Giá Arduino phổ biến (Uno, Mega) từ 10-50 USD, bao gồm nhiều module mở rộng giá rẻ.
Chi phí vận hành	Cao do yêu cầu bảo trì chuyên nghiệp và phụ kiện chính hãng.	Thấp. Linh kiện thay thế dễ tìm và rẻ, không yêu cầu bảo trì phức tạp.
Ứng dụng chính	Các dây chuyền sản xuất lớn, điều khiển quá trình (hóa chất, thực phẩm), nhà máy điện, hệ thống SCADA.	Dự án nhỏ lẻ, DIY, nguyên mẫu, giám sát thông số nhỏ, IoT, tự động hóa đơn giản.
Không gian lắp đặt	Trung bình hoặc lớn	Nhỏ

Hệ thống điều khiển được xây dựng với vi điều khiển đóng vai trò là bộ điều khiển trung tâm. Trong phạm vi nghiên cứu, vi điều khiển Arduino Uno R3 được lựa chọn nhờ các ưu điểm: chi phí đầu tư thấp, cấu trúc phần cứng đơn giản, dễ lập trình, có đầy đủ các ngõ vào/ra số và tương tự, phù hợp cho mô hình nghiên cứu và hệ thống hàn quy mô nhỏ. Ngoài ra, Arduino Uno R3 hỗ trợ nhiều chuẩn giao tiếp phổ biến như UART, I2C và SPI, thuận lợi cho việc kết nối với các thiết bị ngoại vi [1].

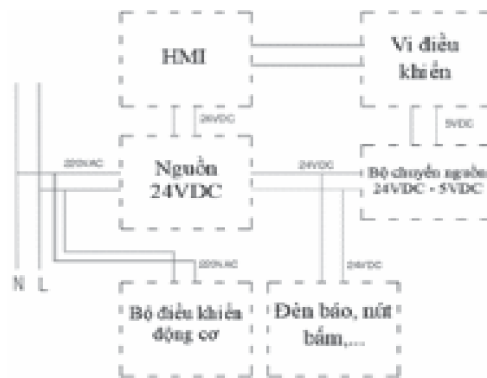
Các linh kiện chính của hệ thống bao gồm: vi điều khiển Arduino Uno R3; màn hình HMI để nhập và hiển thị thông số hàn; nguồn hàn MAG OTC Daihen DM350 có công điều khiển analog; hệ thống động cơ điều khiển bằng biến tần hoặc servo; các relay đóng ngắt hồ quang; nguồn DC cấp cho mạch điều khiển; cảm biến hành trình và các thiết bị bảo vệ an toàn.

2.2. Thiết kế mạch điều khiển

Mạch điều khiển được thiết kế theo cấu trúc mở, trong đó vi điều khiển tiếp nhận tín hiệu từ HMI và các nút nhấn, sau đó xử lý và phát tín hiệu điều khiển tới nguồn hàn và hệ thống động cơ. Việc điều khiển dòng điện và điện áp hàn được thực hiện thông qua tín hiệu

analog 0-10 V, phù hợp với đặc tính của nguồn hàn DM350. Các chuyển động của hệ thống được điều khiển bằng tín hiệu số hoặc xung PWM, tùy theo loại động cơ sử dụng.

Đối với hệ thống sử dụng biến tần, vi điều khiển phát tín hiệu analog để điều khiển tần số đầu ra của biến tần, từ đó điều chỉnh tốc độ động cơ. Trong trường hợp sử dụng động cơ servo, vi điều khiển phát xung điều khiển trực tiếp đến bộ khuếch đại servo, cho phép đạt độ chính xác cao về tốc độ và vị trí. Điều khiển bật/tắt hồ quang, nâng/hạ đầu hàn sử dụng rơ le trung gian nối với đầu ra của vi điều khiển. Điều khiển vận tốc hàn sử dụng động cơ không đồng bộ kết hợp với biến tần hoặc động cơ servo kết hợp với servo driver.



Hình 1. Sơ đồ khối mạch điều khiển hệ thống hàn MAG ứng dụng vi điều khiển.

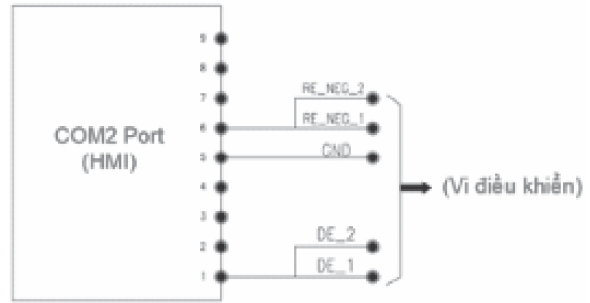
2.2.1. Các thành phần của hệ thống điều khiển

Từ những phân tích, đánh giá trên, các thiết bị cần sử dụng cho hệ thống bao gồm các thiết bị sau:

- Sử dụng 01 nguồn hàn có cổng tín hiệu Analog để điều khiển các thông số hàn (dòng điện, điện áp hàn).
- Hệ thống cơ khí chuyển động 02 trục để điều khiển chuyển động của mỏ hàn và phối hàn (sử dụng động cơ servo hoặc động cơ điện).
- Bảng điều khiển hệ thống tự động:
 - Sử dụng 01 HMI làm công cụ điều khiển chính các thông số.
 - Kết hợp sử dụng các nút nhấn, công tắc vật lý.
- Tủ điều khiển hệ thống, kết nối với bảng điều khiển:
 - Bao gồm 01 hoặc nhiều Vi điều khiển (có thêm các modul mở rộng kết nối với các thiết bị).
 - 02 Servo driver hoặc biến tần để điều khiển hệ thống động cơ.
 - Các thiết bị khác: Nguồn DC, cảm biến, công tắc hành trình, relay,...

2.2.2. Phương pháp kết nối các thiết bị trong hệ thống điều khiển

- Mạch kết nối màn hình HMI và vi điều khiển



Hình 2. Sơ đồ kết nối HMI và vi điều khiển

Màn hình HMI được kết nối với vi điều khiển thông qua cổng COM2. Trong cổng COM2 sử dụng 3 chân tín hiệu để kết nối lần lượt với vi điều khiển bằng truyền thông Modbus RTU Master/Slave [1, 2]. Kết nối giữa mỗi vi điều khiển với HMI được thực hiện như sau:

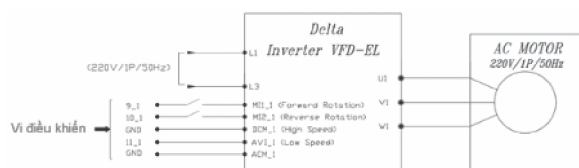
Bảng 2. Chân tín hiệu trên HMI và Arduino

Chân tín hiệu trên COM2 (HMI)	Chân tín hiệu trên vi điều khiển
1 (D+)	PWM (~)
5 (GND)	GND
6 (D-)	PWM (~)

Trong hệ thống, tác giả sử dụng 1 HMI kết nối với 2 vi điều khiển, do đó các chân: 1 (D+), 5 (GND), 6 (D-) sẽ đấu chung với các chân từ vi điều khiển như trên sơ đồ.

➤ Mạch kết nối vi điều khiển và biến tần

Khi sử dụng biến tần làm bộ điều khiển cho hệ thống động cơ, thông qua nghiên cứu từ tài liệu hướng dẫn của Nhà sản xuất của các thiết bị, tác giả đưa ra sơ đồ sơ bộ mạch kết nối giữa vi điều khiển và biến tần như dưới đây: 

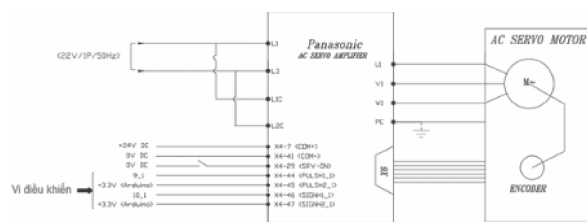


Hình 3. Sơ đồ kết nối giữa vi điều khiển và biến tần

Trong mạch điều khiển động cơ bằng biến tần, các chân tín hiệu để điều khiển chiều quay của biến tần được kết nối với các chân tín hiệu số (Digital) của vi điều khiển. Chân analog PWM (~) của vi điều khiển sẽ lần lượt kết nối với chân đọc tín hiệu analog của biến tần để điều khiển tốc độ của động cơ thông qua điều chỉnh tần số trên biến tần [3].

➤ Mạch kết nối vi điều khiển và hệ thống servo

Tương tự như đối với sử dụng biến tần điều khiển hệ thống động cơ. Khi sử dụng hệ thống động cơ servo, để đưa ra sơ đồ kết nối giữa các thiết bị, cần phải nghiên cứu, tham khảo từ tài liệu của Nhà sản xuất. Sơ đồ kết nối như dưới đây:

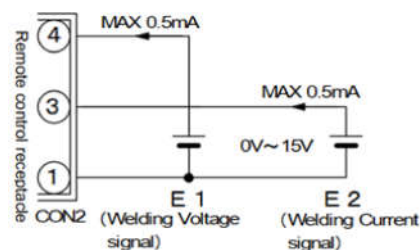


Hình 4. Sơ đồ kết nối giữa vi điều khiển và bộ điều khiển servo

Tốc độ hàn sẽ được đặt trên màn hình HMI, thông qua các công thức tính toán dựa trên tỷ số truyền của hộp giảm tốc, bước vít me bi, đường kính bánh răng... vi điều khiển sẽ tính toán tần số phát xung phù hợp và gửi đến driver của động cơ servo. Chiều dài đường hàn được điều khiển theo số lượng xung mà vi điều khiển phát ra [4].

➤ Kết nối giữa vi điều khiển và nguồn hàn

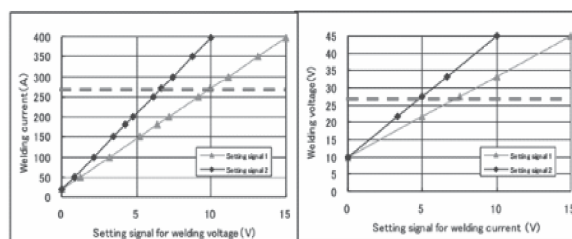
Hiện nay, thông số hàn trên nguồn hàn MAG thường được điều chỉnh bằng tín hiệu analog thông qua chiết áp xoay hoặc điều chỉnh bằng cách cài đặt số thông qua bo mạch tích hợp trong nguồn hàn. Dựa vào các đặc điểm này của nguồn hàn, tác giả lựa chọn phương pháp kết nối vi điều khiển với nguồn hàn thông qua cổng tín hiệu analog.



Hình 5. Sơ đồ kết nối tín hiệu analog với cổng CON2 của nguồn hàn

Cổng CON2 cho phép điều khiển ngoại vi được dòng điện và điện áp hàn thông qua hai tín hiệu analog riêng biệt được kết nối như sơ đồ trên.

Trong phần cài đặt các thông số của nguồn hàn, có hai chế độ điều khiển bằng tín hiệu analog là điều khiển bằng dải điện áp 0-10V và 0-15V. Tác giả điều khiển bằng dải tín hiệu 0-10V để phù hợp với dải điện áp của vi điều khiển [5].



Hình 6. Dải giá trị điện áp (V) và dòng điện (A) theo tín hiệu analog

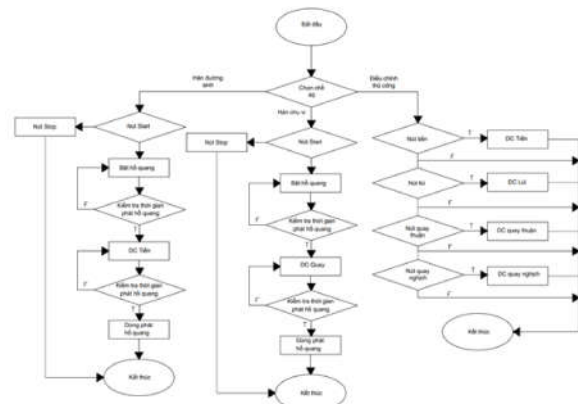
3. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN VÀ VIẾT CHƯƠNG TRÌNH ĐIỀU KHIỂN

Thuật toán điều khiển của hệ thống được xây dựng dựa trên hai chế độ vận hành chính: chế độ điều khiển thủ công và chế độ điều khiển tự động. Việc phân tách rõ ràng hai chế độ này giúp hệ thống vừa linh hoạt trong quá trình căn chỉnh ban đầu, vừa đảm bảo tính tự động và ổn định trong quá trình hàn.

Ở chế độ điều khiển thủ công, người vận hành sử dụng các nút bấm và màn hình HMI để điều chỉnh vị trí mỏ hàn, phôi hàn cũng như các thông số cơ bản của hệ thống. Chế độ này chủ yếu phục vụ cho việc căn chỉnh vị trí, kiểm tra hành trình và thiết lập các thông số công nghệ trước khi chuyển sang chế độ tự động.

Ở chế độ điều khiển tự động, hệ thống thực hiện chu trình hàn đã được lập trình sẵn. Chu trình này bao gồm các bước: khởi động hệ thống; đưa mỏ hàn và phôi hàn về vị trí ban đầu; đóng hồ quang; thực hiện chuyển động hàn theo thông số cài đặt; kết thúc đường hàn và ngắt hồ quang; dừng hệ thống. Trong suốt quá trình vận hành, vi điều khiển liên tục giám sát các tín hiệu vào/ra nhằm đảm bảo hệ thống hoạt động an toàn và ổn định.

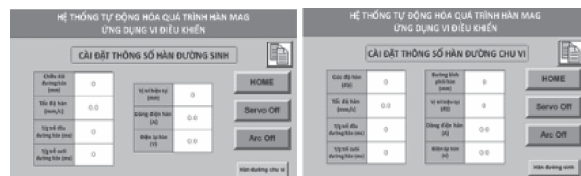
Chương trình điều khiển được viết bằng ngôn ngữ C/C++ trên nền Arduino IDE. Việc sử dụng ngôn ngữ bậc cao giúp chương trình có cấu trúc rõ ràng, dễ bảo trì và thuận lợi cho việc mở rộng các thuật toán điều khiển nâng cao trong tương lai.



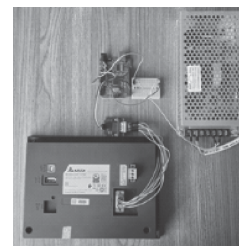
Hình 7. Lưu đồ thuật toán điều khiển hệ thống hàn MAG

4. ỨNG DỤNG

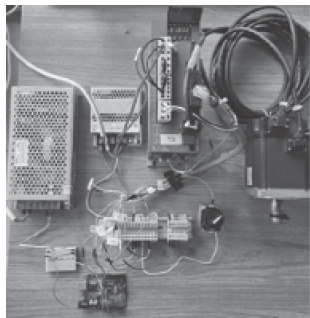
Hệ thống hàn MAG tự động ứng dụng vi điều khiển được triển khai dưới dạng mô hình thực nghiệm quy mô nhỏ. Mô hình này cho phép hàn các chi tiết dạng tấm hoặc dạng ống có kích thước nhỏ, bao gồm cả hàn đường sinh và đường chu vi. Các thông số hàn như dòng điện, điện áp và vận tốc hàn được cài đặt trực tiếp trên HMI và được vi điều khiển xử lý để điều khiển các thiết bị liên quan. Hình ảnh giao diện HMI và các mạch được đưa ra trên hình 8, 9, 10, 11.



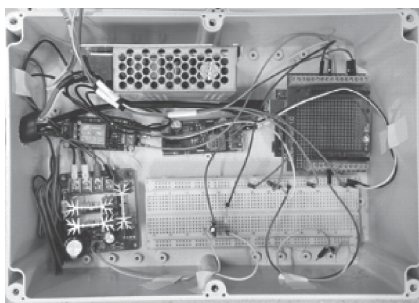
Hình 8. Giao diện màn hình HMI



Hình 9. Mạch kết nối HMI và vi điều khiển



Hình 10. Mạch điều khiển động cơ servo



Hình 11. Mạch điều khiển tín hiệu Analog (điều khiển động cơ + biến tần, nguồn hàn)

Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, các chuyển động được điều khiển chính xác theo thông số cài đặt và chu trình hàn được thực hiện tự động mà không cần can thiệp trực tiếp của người vận hành. So với hệ thống hàn MAG bán tự động, mô hình này cho thấy sự cải thiện rõ rệt về tính lặp lại của mỗi hàn và độ ổn định của quá trình.

So với hệ thống sử dụng PLC, hệ thống ứng dụng vi điều khiển có ưu điểm nổi bật về chi phí đầu tư thấp, cấu trúc gọn nhẹ và khả năng linh hoạt trong lập trình. Điều này cho thấy tiềm năng ứng dụng của vi điều khiển trong các hệ thống hàn MAG tự động quy mô nhỏ và trung bình, đặc biệt trong các cơ sở sản xuất có yêu cầu tối ưu chi phí.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các kết quả nghiên cứu ứng dụng vi điều khiển trong tự động hóa quá trình hàn MAG. Kết quả nghiên cứu cho thấy vi điều khiển có khả năng đảm nhiệm tốt vai trò thiết bị điều khiển trung tâm, điều khiển hiệu quả các thao tác công nghệ chính trong quá trình hàn MAG. Hệ thống đạt được tính linh hoạt cao, chi phí thấp và có khả năng mở rộng cho các chức năng điều khiển nâng cao. Kết quả này mở ra hướng ứng dụng vi điều khiển như một giải pháp thay thế PLC trong các hệ thống hàn MAG tự động phù hợp. ❖

Ngày nhận bài: **16/12/2025**

Ngày phản biện: **05/01/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Truong, Dinh Nhon., Pham, Quang Huy (2018), “Vi điều khiển và ứng dụng”.
- [2]. Delta Electronics, “DOPSoft User Manual”.
- [3]. Delta Electronics, “Delta VFD-EL User Manual”.
- [4]. Panasonic Corporation, “Operating Instructions (Overall) AC Servo Motor & Driver”, MINAS A5/A5 series.
- [5]. Daihen Corporation, “Owner’s Manual for Digital Inverter DM350”.