

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN ĐẾN ĐỘ BỀN UỐN SẢN PHẨM WAAM

SURVEY OF THE INFLUENCE OF ELECTRICAL CURRENT INTENSITY ON BENDING DURABILITY OF WAAM PRODUCTS

Vũ Đình Thắng*, Nguyễn Võ Thành Công, Lê Anh Vũ,
Cao Phạm Đức Hiếu, Huỳnh Đỗ Song Toàn

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

*Email: tanlb@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Đề tài “Khảo sát ảnh hưởng cường độ dòng điện đến độ bền uốn sản phẩm WAAM” có tính thiết thực và ứng dụng cao trong công nghệ chế tạo phôi mẫu in 3D WAAM. Cường độ dòng điện có tác động rất lớn đến quá trình ảnh hưởng đến hình dạng của mối hàn. Với cường độ cao, mối hàn có xu hướng rộng và sâu hơn, trong khi với cường độ thấp, mối hàn có thể hẹp và nông hơn. Thí nghiệm cho thấy đối với vật liệu sắt, cường độ quá cao hoặc quá thấp đều có thể dẫn đến các khuyết tật như rỗ, nứt và trong quá trình hàn WAAM ảnh hưởng lớn đến cấu trúc vật liệu và tính chất cơ học. Do vậy, cần khảo sát rõ ảnh hưởng này để lựa chọn thông số hàn phù hợp. Qua đó, đề tài này sử dụng máy CNC 4 trục dùng để chế tạo mẫu khối trụ lõi rỗng hàn theo lớp layer theo quá trình hình thành in 3D kim loại với các thông số cường độ dòng điện khảo sát. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần hoàn thiện quy trình công nghệ in 3D WAAM, tối ưu hóa các thông số quá trình để sản xuất trong lĩnh vực chế tạo nhanh, giúp tạo hình nhanh các chi tiết kim loại có kích thước lớn mà các phương pháp truyền thống khó có thể thực hiện được.

Từ khóa: WAAM (Sản xuất bồi đắp bằng dây cung); Cường độ dòng điện; In 3D kim loại; Cấu trúc vật liệu; Khuyết tật.

ABSTRACT

The topic “Research on the influence of electric current on the bending strength of WAAM products” is practical and highly applicable in WAAM 3D printing prototype manufacturing technology. The intensity of the current has a great impact on the process affecting the shape of the weld. With high intensity, the weld tends to be wider and deeper, while with low intensity, the weld can be narrow and shallow than. Experiments show that for iron materials, intensity that is too high or too low can lead to defects such as pitting and cracking, which in the WAAM welding process greatly affects the material structure and mechanical properties. Therefore, it is necessary to clearly study this influence to choose appropriate welding parameters. Thereby, this project uses a 4-axis CNC machine to manufacture hollow core cylindrical samples that are welded in layers according to the metal 3D printing process with the investigated current intensity parameters. The research results will contribute to perfecting the WAAM 3D printing technology process, optimizing

process parameters for production in the field of rapid manufacturing, helping to quickly shape large metal parts that require advanced methods, traditional methods are difficult to implement.

Keywords: *WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing); Electric Current Intensity; 3D Metal Printing; Material Structure; Defect Analysis.*

1. GIỚI THIỆU

1.1. Tổng quan

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghệ in 3D kim loại mới sử dụng hàn hồ quang và dây kim loại để tạo ra các cấu trúc kim loại lớp theo lớp. Việc nghiên cứu và phát triển công nghệ này có thể tạo ra các bộ phận kim loại lớn, phức tạp với chi phí thấp hơn và thời gian sản xuất nhanh hơn so với các phương pháp truyền thống. Hiểu rõ về các thông số về cường độ dòng điện tác động ảnh hưởng đến cơ lý tính vật liệu có thể giúp tối ưu hóa thông số, từ đó tăng cường độ bền, độ cứng và hiệu suất chung của cơ cấu. Các kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực cơ khí, ô tô, hàng không,...

Trong nước: Đề tài “Khảo sát ảnh hưởng cường độ dòng điện đến độ bền uốn sản phẩm WAAM” tại Việt Nam còn khá mới mẻ. Tuy nhiên, công nghệ WAAM đã được nghiên cứu trên thế giới trong thời gian gần đây. Tại Việt Nam, mới chỉ có một số công trình nghiên cứu sơ bộ về công nghệ WAAM như:

► Nghiên cứu chế tạo phôi thép không gỉ 316L bằng công nghệ WAAM tại Đại học Bách khoa Hà Nội [1].

- Các hướng nghiên cứu chính:

► Tối ưu hóa các thông số quá trình (cường độ dòng, tốc độ hàn,...) để cải thiện tính chất cơ học.

► Khảo sát ảnh hưởng của quá trình hậu xử lý nhiệt đến cấu trúc và tính chất của vật liệu. Phát triển phần mềm mô phỏng và kiểm soát quá trình WAAM.

► Ứng dụng WAAM để chế tạo các chi tiết ô tô, hàng không, y sinh.

- Một số nghiên cứu liên quan mật thiết đến đề tài:

► Khảo sát ảnh hưởng của cường độ dòng điện đến cơ tính của thép 304L, cho thấy độ bền uốn tăng khi tăng dòng điện [2].

► Nghiên cứu tương tự trên thép 316L, xác định cường độ dòng tối ưu là 200A [3].

► Phân tích mối liên hệ giữa cấu trúc vi mô và độ bền uốn của các mẫu 316L chế tạo bằng WAAM [4].

1.2. Cơ sở lý thuyết

Thiết kế và tiến hành các thí nghiệm khảo sát ảnh hưởng của thông số cường độ dòng điện đến độ bền uốn sản phẩm WAAM. Thử nghiệm với các thông số trên máy CNC 4 trục được điều chỉnh theo các số liệu nằm trong bảng thông số đã được xem xét và vận hành để kiểm tra tính ổn định hồ quang và sự thay đổi cường độ dòng điện làm ảnh hưởng tới quá trình hàn tạo mẫu.

- Đối tượng: Sản phẩm sắt chế tạo bằng công nghệ WAAM theo kết cấu tiêu chuẩn kiểm nghiệm;

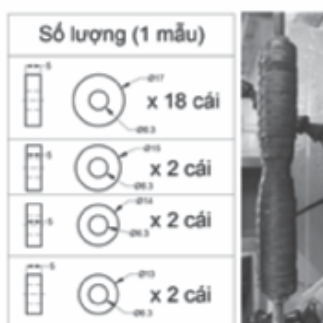
- Thông số thay đổi: Cường độ dòng điện hàn;



- Kết quả: Độ bền uốn;
- Giới hạn: Chỉ khảo sát trong phạm vi cường độ dòng điện 100-200A;
- Nghiên cứu mối quan hệ giữa chúng thông qua thực nghiệm và lý thuyết;
- Kết hợp phân tích cấu trúc vật liệu để làm rõ cơ chế ảnh hưởng của cường độ dòng điện;
- Đề xuất cường độ dòng điện tối ưu và các khuyến nghị về thông số công nghệ. Trong quá trình tạo mẫu, điều chỉnh thông số hàn theo ứng với các giá trị trong bảng 1, với các biến số công nghệ khác giữ không đổi.

Bảng 1. Các thông số hàn

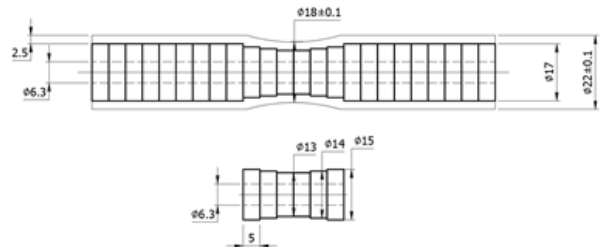
STT	I (A)	Offset (mm)	a (mm)	V (mm/phút)	D (mm)
1	130	2	Thẳng	425	17
2	120	2	Thẳng	425	17
3	110	2	Thẳng	425	17



Hình 1. Mô hình chi tiết sản phẩm và hình ảnh thực tế của đồ gá mẫu

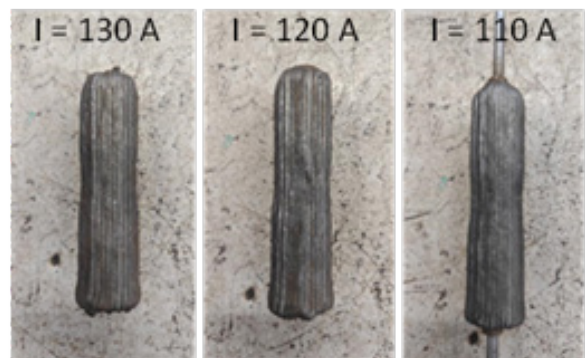
Mô tả thông số hình học của mô hình khảo sát cường độ dòng điện. Cơ cấu có hình dáng là hình tròn với các đường kính lần lượt là $\phi 17$, $\phi 15$, $\phi 14$, $\phi 13$ với đường kính lỗ là $\phi 6.3$ được lắp ghép vào một cây ty có ren có đường kính là M6 và cố định trên thân cây ty bằng 2 đai ốc. Mục đích dùng cây ty có ren để gắn thêm chi tiết trục có rãnh và lỗ chấm tâm giúp định vị bằng hai đầu chấm tâm trong quá trình

gá đặt mẫu lên mâm cặp, kẹp chặt bằng mâm cặp 3 chấu. Trong quá trình hàn sinh ra nhiệt lượng rất lớn nên dùng nước để tưới nguội (vị trí chi tiết trục có rãnh) tránh làm cho mẫu hàn bị cong vênh do tính chất giãn nở sinh nhiệt.

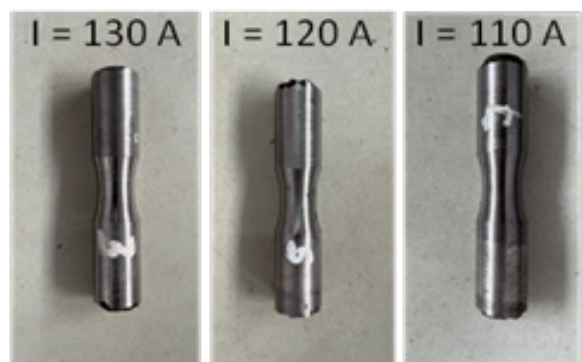


Hình 2. Bản vẽ chế tạo mẫu long đền theo tiêu chuẩn mẫu khảo sát

- Thiết kế bản vẽ mẫu nghiên cứu có kích thước tiêu chuẩn theo quy định của phương pháp thử nghiệm, kiểm tra độ bền uốn sau khi gia công các lớp hàn theo kích thước.



Hình 3. Kết quả sản phẩm in 3D WAAM



Hình 4. Kết quả sau khi gia công tạo ra mẫu thử

- Nhận thấy trong quá trình hàn cần phải kiểm tra chụp khí do xỉ hàn bắn làm cho khí ra không đều ảnh hưởng đến chất lượng mối hàn, kiểm tra đầu kẹp dây nguội để đảm bảo điện cực tiếp xúc luôn ổn định trong quá trình hàn.

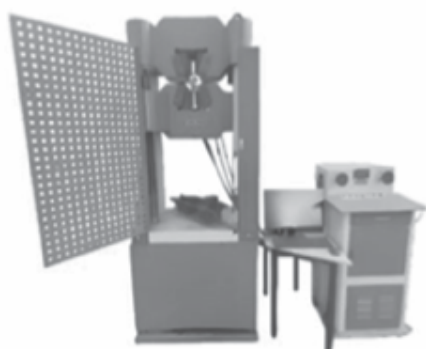
- Mẫu sau khi hàn cần phải xử lý bề mặt đạt theo yêu cầu bản vẽ chế tạo qua quy trình gia công máy tiện, máy phay CNC.

2. MÔ HÌNH THỬ NGHIỆM

2.1. Mô hình máy hàn



Hình 5. Máy hàn MIG 4 trục



Hình 6. Universal Testing machine WE-1000B

• Thông số máy:

- Hành trình trục: 300 x 260 x 250 (mm);
- Công suất tiêu thụ tối đa: 1.5 kW;
- Tốc độ tối đa các trục: Max 2500 mm/phút;
- Độ chính xác lặp lại: $\leq 0.03\text{mm}$.

2.2. Mô hình máy thử kéo

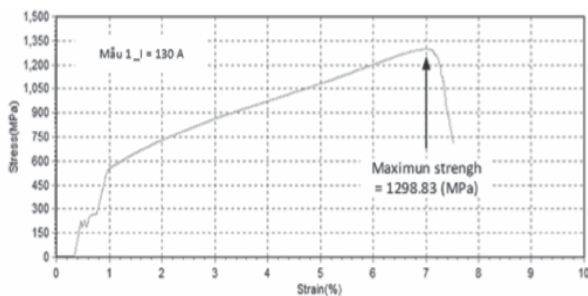
- Model: WE-1000B;
- Serial number: 72106;
- Max force: 1000 kN;
- Accuracy: $\pm 1\%$;
- Tensile test space: 0-700 mm;
- Compression test space: 0-600 mm;
- Clamping jaw: Manual/Hydraulic;
- Clamping jaw for round specimens: $\Phi 14-45\text{ mm}$;
- Clamping jaw for flat specimens: 0-40 mm;
- Compression platen: $\Phi 225\text{ mm}$;
- Piston stroke: 200 mm;
- Diameter of bending roller: $\Phi 50\text{ mm}$;
- Mainframe dimensions: 900 x 700 x 2250 mm;
- Control cabinet size: 550 x 500 x 1250 mm;
- Machine power: 1.1 kW;
- Weight: 2900 kg.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Bảng 2. Kết quả đạt được sau khi thí nghiệm uốn

Mẫu	Cường độ dòng điện (Am-pe)	Tiết diện (mm ²)	Tải trọng (kN)	Ứng suất lớn nhất (Mpa)
1	130	23.86	30.99	1298.83
2	120	23.86	24.46	1025.15
3	110	23.86	23.57	987.85





Hình 7. Biểu đồ Ứng suất – biến dạng sau khi thực nghiệm uốn với mẫu $I = 130$ (Am-pe)

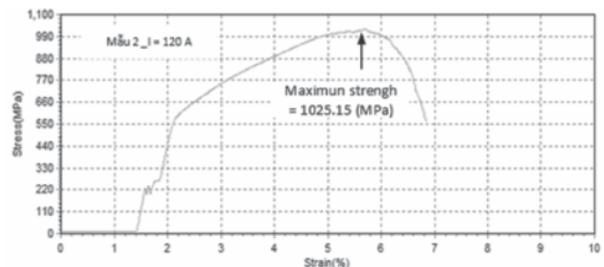
► Tăng cường độ dòng cải thiện độ bền uốn: Khi tăng cường độ dòng từ 110 Am-pe đến 130 Am-pe, ứng suất tăng từ 1189.26 kN lên 1481.27 kN. Điều này cho thấy thay đổi cường độ dòng điện giúp cho quá trình mỗi hàn có độ ngấu và dòng chảy kim loại nhiều hơn giúp cải thiện khả năng chịu lực uốn của mỗi hàn.

► Thông số tối ưu: Thêm vào đó, ở mức cường độ dòng là 130 am-pe cho thấy tải trọng ban đầu tác động lên mẫu là như nhau nhưng vẫn đạt được ứng suất lớn nhất so với hai trường hợp có cường độ dòng thấp hơn. Qua đó, thông số cường độ dòng có ảnh hưởng tới độ bền mẫu, giúp xác định được giá trị đầu vào phù hợp trong quá trình ứng dụng vào thực tế.

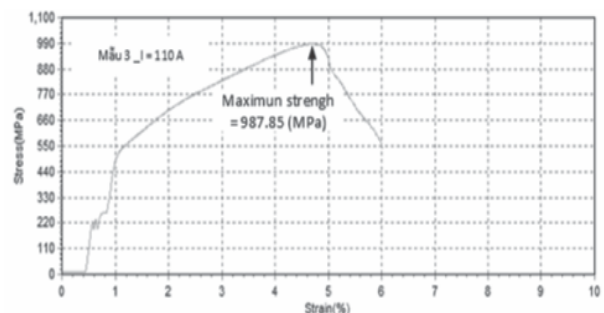
► Ứng dụng trong quy trình hàn: Để đạt được mỗi hàn có tính chất cơ học tốt nhất và xác định mức độ phù hợp với thông số cường độ dòng trong phạm vi nghiên cứu trên. Cường độ dòng quá thấp có thể dẫn đến mỗi hàn có độ ngấu ít hơn, trong khi cường độ dòng cao có thể dẫn đến các vấn đề khác như quá nhiệt, hiện tượng văng bắn xỉ và hồ quang không ổn định gây biến dạng không mong muốn.

► Sau khi thực nghiệm đo kiểm nghiệm độ bền uốn của ba mẫu hàn như trên thì ta rút ra được bảng thông số và biểu đồ như trên Hình 7, 8, 9 và Bảng 2. Ta thấy rằng ảnh hưởng cường độ dòng điện lên độ bền của sản phẩm là có thay đổi khi sản phẩm có thông số cường độ dòng

càng lớn cần tải trọng lớn tạo ra ứng suất lớn hơn làm biến dạng mẫu uốn.



Hình 8. Biểu đồ Ứng suất – biến dạng sau khi thực nghiệm uốn với mẫu $I = 120$ (Am-pe)



Hình 9. Biểu đồ Ứng suất – biến dạng sau khi thực nghiệm uốn với mẫu $I = 110$ (Am-pe)

4. KẾT LUẬN

Trong quá trình khảo sát và nghiên cứu thì độ biến dạng, độ cứng và ứng suất của mẫu hàn WAAM bị ảnh hưởng tương đối bởi việc tăng cường độ dòng với phạm vi thí nghiệm và đi thử bền uốn cho ra giá trị có độ chính xác và có thể ứng dụng trong thực tế làm thông số cơ bản cho các vấn đề về đo độ bền mẫu hàn. Vì vậy, các lĩnh vực như xây dựng, chế tạo máy và sản xuất kết cấu thép, việc lựa chọn tốc độ hàn phù hợp là điều cần thiết. Tuy nhiên, với thông số cường độ dòng 130 am-pe có thể bị ảnh hưởng và tác động từ môi trường làm việc và điều kiện hàn trong phòng thí nghiệm sẽ có những sai số cho những ứng dụng yêu cầu mỗi hàn có sức bền cao, vì vậy cần xem xét thêm các yếu tố khác.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Huỳnh Đỗ Song Toàn;

- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Vũ Đình Thắng, Nguyễn Võ Thành Công, Lê Anh Vũ, Cao Phạm Đức Hiếu.

Lời cảm ơn:

Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã tài trợ kinh phí cũng như hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số: SV2024-249.❖

Ngày nhận bài: **04/5/2024**

Ngày phản biện: **03/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Hồng Thanh, Hoàng Trọng Ánh, Nguyễn Tiến Dương, Hà Xuân Hùng; “*Dự đoán sự phân bố ứng suất dư và biến dạng khi hàn thép không gỉ 316L bằng công nghệ WAAM*”.
- [2]. Changmeng Liu, Chenchen Jing, Jiping Lu, “*Microstructure and mechanical properties of 304L steel fabricated by arc additive manufacturing*”.
- [3]. Y Li, S Geng, G Mi, P Jiang, “*Microstructure distribution and mechanical properties of Ultra-High power laser-Mig hybrid weld of 316L stainless steel thick plate*”.
- [4]. Gowthaman Palra et al., “*Effect of heat input on microstructure and mechanical properties of 316L stainless steel fabricated by Wire Arc Additive Manufacturing*”.