

THỰC NGHIỆM CHẾ TẠO SẢN PHẨM DẠNG TRỤC BẰNG CÔNG NGHỆ WAAM VỚI CÁC TỐC ĐỘ DÂY KHÁC NHAU

EXPERIMENTAL STUDY ON FABRICATION OF CYLINDRICAL PRODUCTS USING WAAM WITH DIFFERENT WIRE SPEEDS

Nguyễn Văn Viễn*, Trần Chí Bảo, Trương Văn Thành,
Nguyễn Thành Nam, Trần Minh Thế Uyên
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUTE)

TÓM TẮT

Kỹ thuật sản xuất hàn đắp được quan tâm rất nhiều trong công nghiệp bởi khả năng chế tạo những chi tiết kim loại lớn với chi phí thấp và thời gian ngắn. Đây là công nghệ tương đồng với các công nghệ in 3D kim loại dựa trên bột kim loại, điểm khác biệt ở đây là các công nghệ in khác dùng chùm tia e hoặc laser làm nguồn năng lượng để nóng chảy bột hoặc dây kim loại thì WAAM làm chảy dây kim loại bằng hồ quang điện. Hiện có nhiều công trình nghiên cứu xem xét đánh giá cơ tính của vật liệu sau khi hàn đắp cho thấy hợp kim titan sau gia công có thể so sánh được với vật đúc hoặc rèn. WAAM hai dây có khả năng chế tạo hợp kim intermetallic và cho thấy công nghệ đầy tiềm năng trong tương lai thay thế hoàn toàn cho các phương pháp gia công truyền thống khác. Giống như EBAM và DED, các công nghệ WAAM tạo ra sản phẩm gần với thiết kế nhất, sau đó kết hợp gia công CNC để đạt yêu cầu về chất lượng bề mặt và kích thước hình học (cũng có thể hiểu là phương pháp tạo phôi vạn năng), điều đó cho phép giảm thời gian gia công, tiết kiệm vật liệu và nâng cao năng suất.

Từ khóa: Công nghệ WAAM; In 3D; Tốc độ in 3D; Độ bền.

ABSTRACT

Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) is a promising additive manufacturing (AM) technique for fabricating large metal parts at low cost and short lead times. It is similar to powder-based metal AM technologies, but instead of using an electron beam or laser as the energy source to melt the powder or metal wire, WAAM uses an electric arc. Several studies have investigated the mechanical properties of WAAM-deposited materials, and have shown that titanium alloys can achieve properties comparable to those of cast or wrought materials. Dual-wire WAAM has the potential to fabricate intermetallic alloys, and has shown promise as a future replacement for traditional machining methods. Like Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) and Directed Energy Deposition (DED), WAAM produces near-net-shape parts that can then be machined with CNC to achieve the desired surface quality and geometric dimensions (which can also be understood as a universal preform method). This can reduce machining time, save material, and improve productivity.

Keywords: WAAM technology; 3D printing; Printing speed; Product strength.

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, công nghệ sản xuất bồi đắp kim loại (WAAM) đã thu hút sự quan tâm đáng kể của các nhà khoa học và kỹ sư tại Việt Nam. WAAM sử dụng năng lượng tập trung như laser hoặc vòi plasma để nấu chảy kim loại dạng dây hay bột và tạo ra các chi tiết kim loại theo lớp. So với các phương pháp sản xuất truyền thống, WAAM có ưu điểm là tốc độ nhanh, chi phí thấp, khả năng tự động hóa cao và ít lãng phí vật liệu.

Một số công trình nghiên cứu tiêu biểu về WAAM: Nhóm nghiên cứu tại Đại học Bách khoa Hà Nội đã phát triển thành công quy trình in 3D bồi đắp kim loại bằng công nghệ WAAM sử dụng vòi plasma và dây nhôm làm nguyên liệu. Các mẫu in đã đạt độ chính xác cao [1]. Đại học Bách khoa Hà Nội đã nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số quá trình đến chất lượng mối hàn trong WAAM. Kết quả cho thấy tốc độ dây là yếu tố then chốt ảnh hưởng đến cấu trúc và cơ tính của vật liệu [2]. Nhóm nghiên cứu của Viện Khoa học Vật liệu đã chế tạo thành công các chi tiết kim loại phức tạp bằng thép không gỉ sử dụng công nghệ WAAM. Các thông số quá trình đã được tối ưu hóa để đạt độ chính xác cao. Công nghệ WAAM ra đời từ những năm 1990 và đến nay đã có nhiều tiến bộ đáng kể. Các nhà nghiên cứu hàng đầu trên thế giới đều quan tâm đến việc phát triển công nghệ này. Cranfield University (Anh) là một trong những trung tâm nghiên cứu hàng đầu về WAAM. Nhóm nghiên cứu của GS. Stewart Williams tại đây đã phát triển các quy trình in 3D cho nhiều loại kim loại như thép không gỉ, titan, hợp kim nhôm, niken. Họ cũng nghiên cứu cải tiến các thuộc tính cơ học của vật liệu sau in bằng phương pháp xử lý nhiệt [3].

Tại Đại học Sheffield (Anh), GS.

Moataz Attallah đã tiên phong trong việc sử dụng công nghệ WAAM để sản xuất các chi tiết lớn và phức tạp như cánh tua bin gió, thân máy bay. Ông cũng nghiên cứu cách tối ưu hóa các thông số quá trình để nâng cao năng suất và chất lượng in 3D [4]. Các nhà nghiên cứu Trung Quốc cũng rất chú trọng đến WAAM. Viện Hàn và Gia công Kim loại Trung Quốc đã phát triển thành công quy trình in 3D cho các hợp kim nhôm phức tạp như Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg. Họ cũng tập trung vào ứng dụng công nghệ này trong lĩnh vực hàng không vũ trụ [5]. Nhìn chung, xu hướng nghiên cứu WAAM trên thế giới là mở rộng phạm vi vật liệu có thể sử dụng, nâng cao năng suất và chất lượng in 3D, ứng dụng sản xuất các chi tiết lớn phức tạp cho các ngành công nghiệp. Các thông số quá trình như tốc độ dây, công suất laser vẫn đóng vai trò then chốt và cần được tối ưu hóa.

Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) là một công nghệ in 3D kim loại tiên tiến, kết hợp phương pháp hàn hồ quang và sản xuất bồi đắp để tạo ra các chi tiết kim loại lớn và phức tạp. WAAM được biết đến với khả năng chế tạo nhanh chóng và hiệu quả các sản phẩm có kích thước lớn, giúp tối ưu hóa chi phí và thời gian sản xuất. Các tính chất của các bộ phận do sản xuất bị ảnh hưởng đáng kể bởi các thông số xử lý. Các thông số xử lý này có những ưu điểm mâu thuẫn cần được điều tra. Bài báo này điều tra ảnh hưởng của tốc độ ra dây của máy hàn đến tính chất kéo của các thành phần được sản xuất bằng kỹ thuật WAAM. Nghiên cứu được thực hiện trên thép cacbon, bằng cách sử dụng thiết kế giai thừa đầy đủ của thí nghiệm để phân tích ảnh hưởng của tốc độ ra dây đến tính chất kéo của mô hình. Đối với cuộc điều tra, ba kết quả – độ bền, giới hạn chảy, độ dẻo – được xem xét. Từ cuộc điều tra, người ta quan sát thấy rằng, tốc độ ra dây có ảnh hưởng đến tính chất kéo của mô hình.



2. PHƯƠNG PHÁP

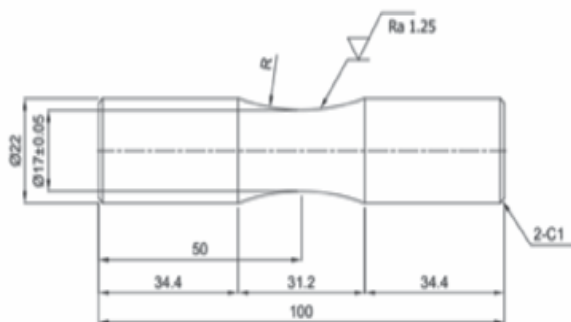
Phần này cung cấp thông tin về tiêu chuẩn TCVN-5400 để xác định độ bền kéo của mẫu WAAM 3D dạng trục. Ngoài ra, cung cấp về quy trình sản xuất mẫu, các thông số thiết kế và máy thử nghiệm.

Trong phương pháp hàn bồi đắp, tốc độ ra dây có ảnh hưởng lớn đến chất lượng và độ bền của sản phẩm. Tốc độ ra dây được kiểm soát trực tiếp trên bảng điều khiển của máy hàn. Khi tốc độ ra dây quá thấp sẽ dẫn đến mối hàn nhô cao, hẹp, đôi khi không có sự hòa quyện giữa biên mối hàn và vật hàn, như hình dưới đây:



Hình 1. Đường hàn nhô cao, hẹp

3. THIẾT KẾ MẪU



Hình 2. Mẫu kéo tiêu chuẩn TCVN-5400

4. SẢN XUẤT MẪU THỬ

Bảng 1. Thông số của mẫu thử

PARAMETER	SPECMENT		
	A	B	C
I (A)	115	115	115
Offset	2.25	2.25	2.25
V	450	450	450
Góc xoắn (độ)	180	180	180
Tỷ lệ lớp đắp (%)	70	70	70
Tốc độ ra dây	4 (Min)	7 (Mid)	10 (Max)

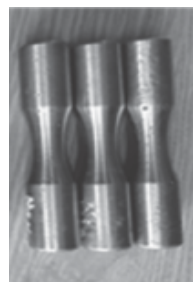
Với các thông số quy trình đã chọn, mẫu thử nghiệm được chuẩn bị thông qua bốn bước được liệt kê dưới đây:

1) Mô hình ba chiều (3D) của mẫu thử được chuẩn bị thông qua phần mềm thiết kế Inventor 2025, nhằm xác định phương pháp in phù hợp.

2) Tạo chương trình G-code và tiến hành nhập vào máy CNC, nhằm thiết lập hình dạng chi tiết cần sản xuất vào máy.

3) Mẫu được tạo ra sau khi điều chỉnh thiết lập máy.

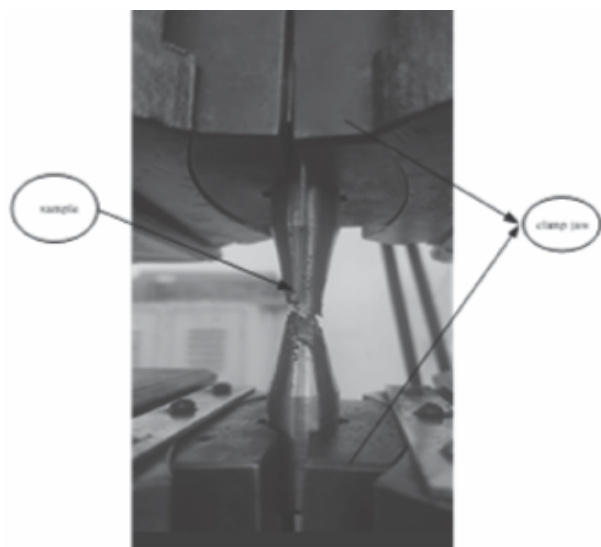
4) Mẫu được lấy ra khỏi máy sau khi thực hiện hoàn tất chương trình gia công và tiến hành loại bỏ các vật liệu còn thừa.



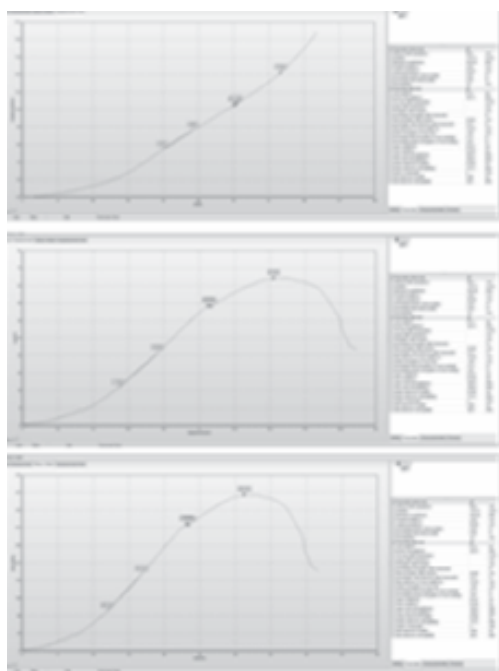
Hình 3. Mẫu kéo sau khi gia công xong

5. KIỂM NGHIỆM VÀ BÁO CÁO

Sau khi quá trình sản xuất mẫu hoàn tất, thử nghiệm độ bền kéo được thực hiện để tìm độ bền kéo và độ biến dạng của mẫu. Máy kéo vạn năng WA-1000B được sử dụng để thử nghiệm.

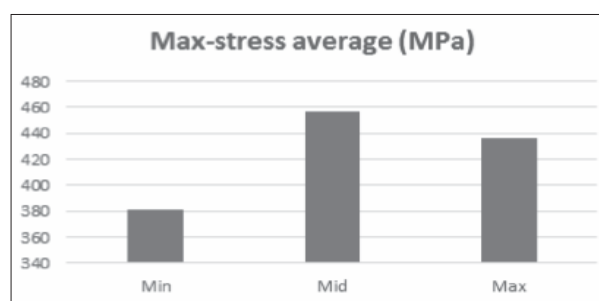


Hình 4. Kiểm tra độ bền kéo của mẫu



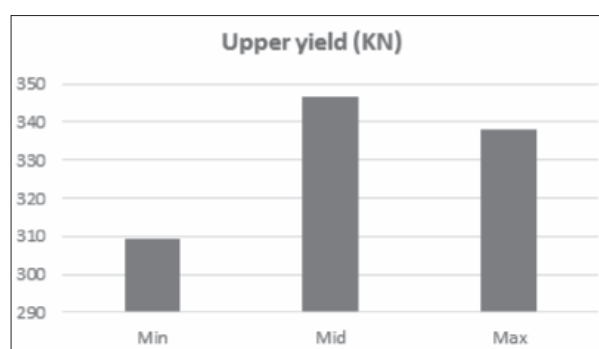
Hình 5. Các kết quả của quá trình thử nghiệm

6. XỬ LÝ SỐ LIỆU



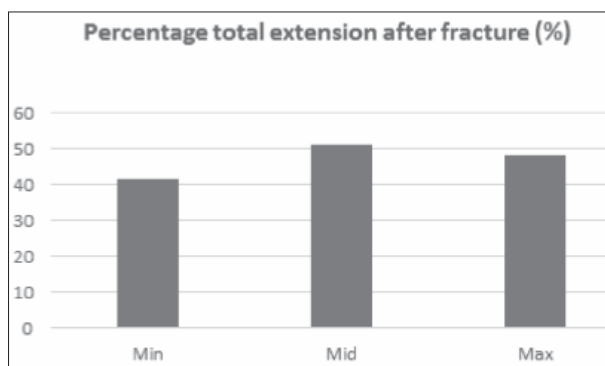
Hình 6. Biểu đồ thể hiện độ bền kéo của mẫu thử

Trong một biểu đồ kéo, độ bền kéo đứt là chỉ số không thể thiếu. Với các mẫu thử có tốc độ ra dây lần lượt là Min, Mid, Max thì có độ bền kéo tương ứng là 381.5 Mpa, 457.1 Mpa, 436.3 Mpa. Đây là chỉ số vô cùng quan trọng, vì nó biểu thị cho cường độ căng tối đa mà vật liệu có thể chịu được trước khi bị đứt gãy. Độ bền kéo đứt phụ thuộc chủ yếu vào thành phần hóa học, quá trình sản xuất và xử lý nhiệt của vật liệu.



Hình 7. Biểu đồ thể hiện độ bền chảy của mẫu thử

Ta thấy lần lượt các mẫu thử có tốc độ ra dây lần lượt là Min, Mid, Max, có giới hạn chảy lần lượt ở mức 309.4Mpa, 346.7Mpa, 337.8Mpa. Đây là một chỉ số quan trọng để đánh giá tính chất cơ học của vật liệu, là nơi mà vật liệu bắt đầu chảy và biến dạng vĩnh viễn dưới tác động của tải trọng. Trong thực tế, các nhà thiết kế sử dụng chỉ số này để lựa chọn vật liệu phù hợp với nhu cầu tải trọng cần dùng. 



Hình 8. Biểu đồ thể hiện độ giãn dài của chi tiết

Dãy đàn hồi là chỉ số khá được chú ý, các mẫu thử có tốc độ ra dây lần lượt là Min, Mid, Max tương ứng với dãy đàn hồi 41.5%, 51%, 48%. Đây là phần của biểu đồ kéo bền mà vật liệu vẫn có thể phục hồi về trạng thái ban đầu mà không gây ra biến dạng vĩnh viễn sau khi áp lực bị loại bỏ. Nhìn chung ta có thể thấy, tốc độ ra dây có ảnh hưởng lớn trực tiếp đến tính chất cơ học của sản phẩm.

Tốc độ ra dây cao: Dẫn đến lượng kim loại bỏ sung nhiều hơn, tạo ra bề hàn lớn hơn và mối hàn có thể dày hơn. Tuy nhiên, nếu quá cao, có thể gây ra hiện tượng tích tụ quá nhiều kim loại, dẫn đến các khuyết tật như bọt khí hoặc các vết nứt.

Tốc độ ra dây thấp: Lượng kim loại bỏ sung ít hơn, bề hàn nhỏ hơn và mối hàn có thể mỏng hơn. Nếu quá thấp, có thể dẫn đến mối hàn không đủ kim loại, gây ra các vấn đề về độ bền và kết cấu.

7. KẾT LUẬN

Thông qua quá trình thực nghiệm và phân tích kết quả thực nghiệm, việc thay đổi tốc độ ra dây làm ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng mối hàn, khả năng kết dính giữa các lớp phủ, cấu trúc vi mô và tính chất cơ học của sản phẩm dạng trục. Tốc độ ra dây thích hợp sẽ tạo

ra một mối hàn có độ cứng và độ bền cao hơn, trong khi một mối hàn có tốc độ ra dây quá thấp hoặc quá cao sẽ khiến cho mối hàn có chất lượng kém. Việc lựa chọn tốc độ ra dây phù hợp sẽ giúp cho sản phẩm được tạo ra có chất lượng.

(*) Đóng góp của tác giả:

- Hình thành ý tưởng và mục tiêu nghiên cứu: Trần Minh Thế Uyên;
- Thực hiện nghiên cứu, thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu, viết và chỉnh sửa bài báo: Nguyễn Văn Viễn, Trần Chí Bảo, Trương Văn Thành và Nguyễn Thành Nam.

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 nhóm thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này là sản phẩm của đề tài NCKH với mã số: SV2024 – 266.❖

Ngày nhận bài: **05/5/2024**

Ngày phản biện: **09/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. “Công nghệ in 3D kim loại sử dụng nguồn năng lượng hồ quang (WAAM)”. Tạp chí Tự động hóa (Số 11-2023).
- [2]. Hoàng Đức Long, Hà Minh Hùng, Lê Đức Bảo; “Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số chế độ hàn đến độ bền kéo và kích thước hình học của mối hàn điện xỉ - áp lực ứng dụng trong kỹ thuật cơ khí xây dựng”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thông tin (Số 07-2018).
- [3]. Plocher, Stewart Williams and A. Panesar, “Review on design and structural optimisation in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures”, Materials & Design, vol. 183, p. 108164,

2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108164>.
- [4]. Yue, J. Shang, M. Zhang, B. Hur, and X. Ma, “*Additive manufacturing of high porosity magnesium scaffolds with lattice structure and random structure*”, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 859, p. 144167, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.144167>.
- [5]. Yu, Z. Wang, W. Fu, Z. Yu, Y. Wang, Y. Zhao, and J. Zhao, “*Compression performances and damage mechanisms of Al_2O_3 ceramic lattices fabricated by additive manufacturing: Imitating metal crystal structures*”, *Ceramics International*, vol. 49, no. 1, pp. 1419-1435, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.111955>.
- [6]. R. Baker, “*Method of making decorative articles*”; US patent no. 1 533 300 1925.
- [7]. Wu, B., Pan, Z., Ding, D., Cuiuri, D., Li, H., Xu, J., & Norrish, J. (2018), “*A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement*”. *Journal of Manufacturing Processes*, 35, 127-139.
- [8]. Lei Huang, Xizhang, Chen, Sergey Konovalov, Chuanchu Su, Pengfei Fan, Yanhu Wang, Pan Xiaoming, Irina Panchenko (2020), “*A Review of Challenges for Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM)*”.