

NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC TẾ VI LIÊN KẾT HÀN GIÁP MỐI THÉP A572-GRADE 50 CHO TRỤ ĐIỆN GIÓ TẠI VIỆT NAM BẰNG QUÁ TRÌNH HÀN GMAW

RESEARCH ON MICROSTRUCTURE OF BUTT WELD OF A572-GRADE 50 STEEL FOR WIND POWER IN VIETNAM BY THE GMAW WELDING PROCESS

Nguyễn Tiến Huy¹, Vũ Minh Hùng¹, Đỗ Thế Vinh²

¹Trường Đại học Dầu khí Việt Nam

²Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong những thập niên gần đây, nhu cầu phát triển các nguồn năng lượng tái tạo trên toàn thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng ngày càng lớn, đặc biệt là điện gió ngoài khơi tại Việt Nam đang tăng mạnh do sự phân bố về địa lý đặc biệt thuận lợi của các tỉnh với vùng biển kéo dài với nguồn năng lượng gió rất lớn. Hiện nay, việc thiết kế và chế tạo kết cấu chân đế cho tua-bín gió tại Việt Nam vẫn phụ thuộc chủ yếu vào các công nghệ của nước ngoài. Vì vậy, việc nghiên cứu thiết kế móng trụ điện gió bằng vật liệu thép A572 – Grade 50 (một loại thép có tính chất cơ học tốt và phù hợp với điều kiện biển) là rất cần thiết để các doanh nghiệp tham gia chế tạo các bộ phận, kết cấu các trụ điện gió có thể từng bước làm chủ công nghệ và tiến tới nội địa hóa trong việc chế tạo các thiết bị phục vụ cho ngành công nghiệp điện gió.

Từ khóa: Quá trình hàn GMAW; Liên kết hàn giáp mối; Thép A572 – Grade 50; Dây hàn bù Q 71.1 RC.

ABSTRACT

In recent decades, the demand for developing renewable energy sources worldwide, and in Vietnam in particular, has been growing significantly, especially offshore wind power in Vietnam, which is rapidly increasing due to the particularly favorable geographical distribution of coastal provinces with extensive sea areas and abundant wind energy resources. Currently, the design and fabrication of foundation structures for wind turbines in Vietnam still heavily rely on foreign technologies. Therefore, researching the design of wind turbine monopile foundations using A572 – Grade 50 steel (a type of steel with excellent mechanical properties and suitable for marine conditions) is crucial to enable businesses involved in manufacturing components and structures for wind turbines to gradually master the technology and move toward localizing the production of equipment for the wind power industry.

Keywords: GMAW process; Butt-joint; A572 – Grade 50 Steel; Q71.1 RC welding wire.

1. GIỚI THIỆU

Việt Nam là một đất nước có những lợi thế lớn so với rất nhiều nước trên toàn thế giới nói chung và trong khu vực nói riêng vì có bờ biển trải dài và dân cư đông đúc dọc theo chiều dài đất nước. Những khu vực bờ biển dài này có một lưu lượng gió với tốc độ cao và mực nước không quá sâu, lực lượng lao động lành nghề với năng lực sản xuất trẻ - mạnh mẽ trong lĩnh vực kinh tế biển. Những yếu tố tự nhiên và sự phân bố dân cư này là một tiềm năng và lợi thế đặc biệt lớn đối với việc phát triển năng lượng gió gần bờ và ngoài khơi. Việc phát triển điện gió nói chung và điện gió ngoài khơi nói riêng sẽ mang lại cho Việt Nam thêm một nguồn năng lượng sạch vô tận, có thể tạo ra nhiều việc làm cho người lao động quanh khu vực và giúp cắt giảm đáng kể lượng khí thải CO₂ ra ngoài môi trường, đảm bảo các yêu cầu của Quốc tế về công tác biến đổi khí hậu, yêu cầu của Bộ Khoa học và Công nghệ về việc giảm thiểu sự phát thải ra ngoài môi trường. Báo cáo [1] đã chỉ ra rằng, đến năm 2035, Việt Nam có tiềm năng phát triển điện gió ngoài khơi khoảng 600.000 MW với mức cung cấp đạt khoảng 12% tổng sản lượng tiêu thụ điện của cả nước sử dụng trong giai đoạn này. Với cam kết cùng cộng đồng quốc tế, Việt Nam sẽ giảm phát thải khí các-bô-níc trong khoảng 25 năm tới đây và theo dự thảo Quy hoạch điện VIII của Việt Nam, đến năm 2045, việc phát triển điện gió và điện ngoài khơi có khả năng sẽ chiếm một tỷ trọng lớn trong tổng nguồn phát điện trong cả nước [2]. Điều này cho thấy, dự án phát triển và khai thác điện gió và điện ngoài khơi không những là một bước ngoặt trong việc phát triển năng lượng sạch, góp phần vào việc chống biến đổi khí hậu trong khu vực nói riêng và thế giới nói chung mà còn là chiến lược khai thác tiềm năng to lớn về năng lượng, cũng như đảm bảo thực hiện tốt trong việc khai thác và

phát triển nguồn kinh tế biển của Việt Nam [3]. Một trong những công việc đầu tiên cần được quan tâm khi chế tạo các kết cấu trụ điện gió là nâng cao độ bền các liên kết hàn trong điều kiện khí hậu biển Việt Nam là đặc biệt quan trọng nhằm đảm bảo sự an toàn và độ bền của kết cấu trong quá trình vận hành các trụ điện gió. Bài báo này nghiên cứu cấu trúc tế vi và độ bền kéo liên kết giáp mối thép A572 – Grade 50 khi hàn bằng quá trình hàn bán tự động trong môi trường khí bảo vệ với dây hàn lõi thuốc để đánh giá sự phù hợp trong việc ứng dụng chúng trong quá trình sản xuất trụ điện gió trên bờ và điện gió ngoài khơi tại Việt Nam.

2. VẬT LIỆU VÀ TRÌNH TỰ THỰC NGHIỆM

2.1. Kim loại cơ bản và dây hàn bù

Toàn bộ vật liệu cơ bản được sử dụng trong nghiên cứu này là thép A572 – Grade 50 (một loại thép được sử dụng phổ biến trong chế tạo các trụ điện gió và điện gió ngoài khơi tại các nước trên thế giới) với chiều dày là 10mm, quá trình hàn sử dụng dây hàn bù lõi thuốc Q71.1 RC (1C) với đường kính dây là 1.2mm. Đây là loại dây hàn lõi thuốc với lượng rutile cao giúp xỉ có thể kết tinh và nổi lên nhanh, có thể hỗ trợ cho việc hợp kim hóa kim loại mối hàn, dây hàn này có thể hàn được ở tất cả các vị trí hàn. Trong quá trình hàn, tác giả sử dụng khí bảo vệ là CO₂ với lưu lượng là 11 lít/ phút. Thành phần hóa học và đặc tính cơ học của kim loại cơ bản và kim loại dây hàn bù được tác giả trình bày tương ứng trong Bảng 1 và Bảng 2 [4-6].



Bảng 1. Thành phần hóa học của thép A572 – Grade 50 và dây hàn lõi thuốc BÖHLER Q 71.1 RC (C1) (wt. %)

Vật liệu	C	Si	Mn	S	P	Fe
Thép A572-Grade 50	0.23÷0.29	0.4	1.35	0.05	0.04	Còn lại
Q71.1 RC	0.004	0.64	1.129	2.035	16.316	Còn lại

Bảng 2. Độ bền kéo của thép A572 – Grade 50 và dây hàn lõi thuốc BÖHLER Q 71.1 RC (C1)

Vật liệu	Độ bền kéo (MPa)	Độ giãn dài tương đối (%)
Thép A572-Grade 50	499	18
Q71.1 RC	540	25

2.2. Trình tự thực hiện thí nghiệm

Tất cả các tấm thép hàn được sử dụng làm thực nghiệm trong nghiên cứu này được mua về ở dạng tấm lớn với chiều dày 10mm. Tất cả các phôi được sử dụng trong thực nghiệm đều được tác giả cắt vát chữ V bằng các thiết bị cắt plasma, sau đó chúng được để nguội ngoài môi trường một cách tự nhiên, kích thước cắt các phôi được cố định với chiều dài 200mm và chiều rộng là 150mm. Khi các phôi vừa cắt đạt đến trạng thái nguội, một máy mài tay được tác giả sử dụng để làm sạch toàn bộ lớp ô-xít trên bề mặt mép vát và bề mặt của tấm phôi, tiếp theo là mài mép cùn với chiều dày khoảng 1mm trên toàn bộ các tấm thép. Sau khi mài xong, các tấm phôi được đính chặt với nhau tại hai đầu với khe hở cố định là 2.5mm, sau đó một tấm sứ lót được dán phía đối diện để

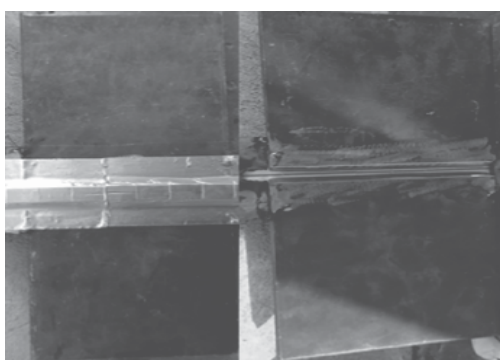
đảm bảo sự thuận lợi cho quá trình hình thành liên kết hàn, sứ lót chân mỗi hàn dạng rãnh dẹt với kích thước rãnh là 6 mm. Đây là loại sứ lót được sử dụng phổ biến trong ngành công nghiệp đóng tàu và các ngành công nghiệp có sử dụng công nghệ hàn dây lõi thuốc. Hình 1 mô tả dạng liên kết hàn khi hàn các liên kết giáp mối thép A572 – Grade 50 trong nghiên cứu này. Sau khi hoàn thành việc gá dính và chuẩn bị các mẫu hàn một cách cẩn thận, tác giả tiến hành hàn các mẫu theo trình tự các lớp hàn với chế độ hàn được cho trong Bảng 3. Sau khi hàn xong, các mẫu hàn sẽ được kiểm tra ngoại dạng để chọn ra các mẫu đảm bảo không bị các khuyết tật ngoại dạng. Sau khi lựa chọn các mẫu đảm bảo yêu cầu về ngoại dạng, các mẫu này sẽ được đưa đi cắt dây để lấy mẫu thử độ bền kéo và mẫu phân tích cấu trúc tế vi của liên kết hàn theo yêu cầu.

Bảng 3. Bảng thông số chế độ hàn

Đường kính dây hàn (mm)	Cường độ dòng điện hàn (A)	Điện áp hàn (V)	Lưu lượng khí bảo vệ (l/min)	Vận tốc hàn (m/s)	Tầm với điện cực (mm)
1.2	120	18	10	3.0	8

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Cấu trúc thô đại của liên kết hàn giáp mối thép A572 – Grade 50 được mô tả trong Hình 2. Các vùng được đánh số thứ tự từ 1 đến 4 là các khu vực được sử dụng để khảo sát cấu trúc tế vi sau khi hàn. Vì liên kết hàn là cùng vật liệu nên hai phía của kim loại mối hàn có sự tương đồng về sự ảnh hưởng trong quá trình hàn nên cấu trúc và các đặc tính cơ học của hai phía là tương đương nên chỉ cần khảo sát một phía là đảm bảo yêu cầu đánh giá cấu trúc của liên kết hàn.



Hình 1. Dạng liên kết hàn được sử dụng trong nghiên cứu

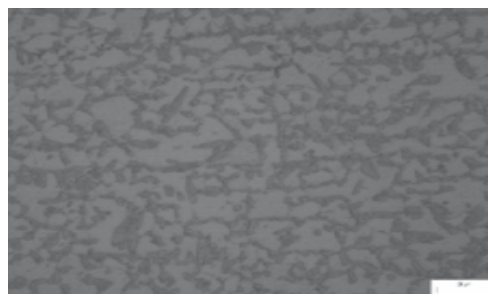


Hình 2. Cấu trúc thô đại liên kết hàn



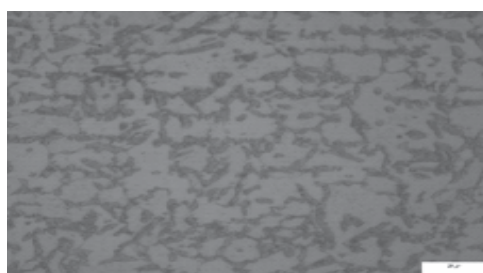
Hình 3. Cấu trúc tế vi khu vực số 1 trong Hình 2

Quan sát hình ảnh cấu trúc tế vi trong Hình 3 có thể thấy, với nền thép A572– Grade 50 là thép các-bon nên cấu trúc tế vi đặc trưng tại khu vực này là hai pha đặc trưng là Péc-lít (pha có màu tối) và pha là Fe-rít (pha có màu sáng). Với thành phần các nguyên tố có trong thép như đã mô tả trong các báo cáo [7, 8] thì đây là cấu trúc đặc trưng của loại thép này và khu vực khảo sát là khu vực phía xa nguồn nhiệt nên sự thay đổi về cấu trúc và sắp xếp cấu trúc tại khu vực này là không có sự thay đổi đáng kể nào.



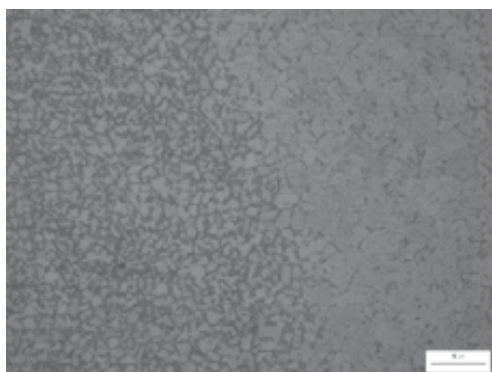
Hình 4. Cấu trúc tế vi khu vực số 2 trong Hình 2

Cấu trúc tế vi khu vực ảnh hưởng nhiệt của liên kết hàn được khảo sát tại vị trí số 2 trong Hình 2 được mô tả chi tiết trong Hình 4. Qua hình ảnh ta nhận thấy, cấu trúc tế vi đặc trưng tại khu vực này vẫn là cấu trúc đặc trưng của hai pha Péc-lít (pha có màu tối) và pha là Fe-rít (pha có màu sáng). Tuy nhiên, tại khu vực này, dưới tác động của nguồn nhiệt trong quá trình hàn nên cấu trúc tế vi có sự sắp xếp thiếu sự đồng nhất với sự xáo trộn và sự xuất hiện dày đặc hơn của cấu trúc pha Péc-lít.



Hình 5. Cấu trúc tế vi khu vực số 3 trong Hình 2

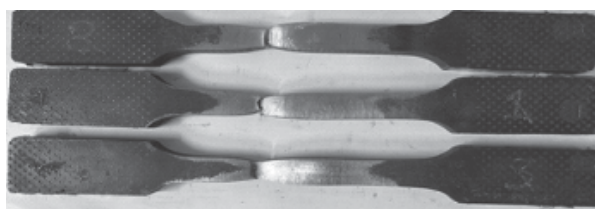
Cấu trúc tế vi khu vực kim loại mối hàn, được khảo sát tại vị trí số 3 trong Hình 2 được mô tả trong Hình 5. Quan sát Hình 5 ta nhận thấy, đây là khu vực chịu ảnh hưởng chính năng lượng của nguồn nhiệt hàn, nhưng cấu trúc tế vi đặc trưng tại khu vực này không có sự thay đổi về cấu trúc pha, chỉ có sự thay đổi về kích thước và tại nhiều khu vực, cấu trúc này liên kết với nhau dưới dạng các sợi Péc-lít, ngoài ra, cấu trúc Péc-lít đơn, ngắn xuất hiện rải rác tại một số khu vực. Dạng cấu trúc tại khu vực này chịu sự tác động từ nguồn kim loại có trong dây hàn phụ bổ sung vào trong quá trình hàn và có thể giúp nâng cao cơ tính của liên kết hàn so với thông thường.



Hình 6. Cấu trúc tế vi khu vực số 4 trong Hình 2

Quá trình kiểm tra độ cứng tế vi được tác giả tiến hành sau khi đã hoàn thành việc kiểm tra cấu trúc tế vi của liên kết hàn. Các vị trí đã được đánh dấu sẵn tại các khu vực như mô tả trong Hình 2 cũng được tác giả sử dụng để kiểm tra độ cứng tế vi nhằm đánh giá sự thay đổi độ cứng tế vi của từng vùng trong quá trình hàn. Các kết quả kiểm tra độ cứng tế vi được thể hiện tương ứng trong Bảng 4. Từ các kết quả độ cứng tế vi của liên kết hàn được giới thiệu tại Bảng 4 ta có thể thấy, giá trị độ cứng tế vi của liên kết hàn có xu hướng tăng dần từ vị trí của tấm thép A572 – Grade 50 vào tới khu vực kim loại trong vùng mối hàn. Giá trị độ cứng nhỏ nhất được tìm thấy tại khu vực ảnh

hưởng nhiệt (vị trí số 2) với giá trị là 157HV và giá trị lớn nhất được tìm thấy tại khu vực kim loại mối hàn với giá trị là 165HV, giá trị trung bình của các điểm khảo sát tương ứng là 157.25HV. Các mức độ cứng của liên kết cho thấy sự thay đổi độ cứng sau khi hàn không nhiều với mức chênh lệch nhiều nhất tương ứng 13HV khi so sánh vị trí kim loại mối hàn với vị trí vùng ảnh hưởng nhiệt.



Hình 7. Mẫu kiểm tra độ bền kéo liên kết hàn giáp mối thép A572 – Grade 50

Giá trị kiểm tra độ bền kéo liên kết hàn đối với năm mẫu được thể hiện trong Bảng 4. Qua các kết quả này ta có thể nhận thấy, khi mức năng lượng cung cấp vào khu vực hàn nhỏ nhất sẽ cho độ bền kéo nhỏ nhất (mẫu kéo số 1 và mẫu kéo số 2), kể cả liên kết hàn không bị các khuyết tật ngoại dạng. Với mức năng lượng đầu vào ở mức trung bình sẽ thuận lợi hơn cho việc hình thành liên kết hàn và cũng đảm bảo độ thấu tốt trong toàn bộ chiều dày của liên kết hàn (mẫu kéo số 3 và mẫu kéo số 4), tại hai mẫu kéo này cho giá trị lớn hơn hai mẫu trước và mẫu kéo số 3 đạt giá trị cực đại khi kiểm tra độ bền kéo. Khi dùng mức năng lượng lớn hơn, liên kết hàn cũng đạt giá trị độ bền kéo tốt, nhưng do nguồn nhiệt cao nên có tác động nhất định tới độ bền của liên kết hàn, điều này thể hiện độ bền kéo tại mẫu số 5 có giá trị lớn hơn mức nhiệt thấp, nhưng không được cao như khi sử dụng mức năng lượng trung bình. Các kết quả này cũng hoàn toàn phù hợp với những công bố trong các nghiên cứu [9, 10].

Bảng 4. Kết quả kiểm tra độ bền kéo năm mẫu hàn tương ứng

Mẫu số	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5
Độ bền kéo (MPa)	465	466	475	474	470

4. KẾT LUẬN

- Với các tham số chế độ hàn đã chọn, liên kết hàn giáp mối thép A572 – Grade 50 được sử dụng để chế tạo trụ điện gió gần bờ và trụ điện gió ngoài khơi tại Việt Nam đã được thực hiện thành công bằng quy trình hàn GMAW với các đặc tính cơ học và cấu trúc tế vi tốt khi sử dụng dây hàn lõi thuốc Q 71.1 RC.

- Độ bền kéo tối đa của khớp hàn được thử nghiệm cao hơn đáng kể so với thép không gỉ 304 và 201. Gãy xương thường xảy ra ở các tấm thép không gỉ SUS-201 khi được kiểm tra độ bền kéo. ❖

Ngày nhận bài: 05/5/2025

Ngày phản biện: 22/5/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. The World Bank, International Bank for Reconstruction and Development, “*Lộ trình điện gió ngoài khơi cho Việt Nam*”, 2021.
- [2]. <https://vneconomy.vn/dien-gio-ngoai-khoi-viet-nam-tiem-nang-lon-nhung-van-chua-the-but-pha.htm>.
- [3]. Ma, Yong, et al., “*Investigation on optimization design of offshore wind turbine blades based on particle swarm optimization*”. *Energies* 12.10 (2019): 1972.
- [4]. <https://www.metalsusa.com/a572-grade-steel/>.
- [5]. <https://byvn.net/AW3E>.
- [6]. <https://masteralloy.com.sg/wp-content/uploads/2024/05/PDS-BOEHLER-Q-71.1-RC-C1.pdf>.
- [7]. Güral, A. H. M. E. T., B. Ü. L. E. N. T. Bostan, and A. T. Özdemir, “*Heat treatment in two phase region and its effect on microstructure and mechanical strength after welding of a low carbon steel*”. *Materials & design* 28.3 (2007): 897-903.
- [8]. Khorrami, M. S., Mostafaei, M. A., Pouraliakbar, H., & Kokabi, A. H. (2014), “*Study on microstructure and mechanical characteristics of low-carbon steel and ferritic stainless steel joints*”. *Materials Science and Engineering: A*, 608, 35-45.
- [9]. Pathak, D., Singh, R. P., Gaur, S., & Balu, V. (2020), “*Experimental investigation of effects of welding current and electrode angle on tensile strength of shielded metal arc welded low carbon steel plates*”. *Materials Today: Proceedings*, 26, 929-931.
- [10]. Nurdin, H., Purwantono, P., & Umurani, K. (2021), “*Tensile strength of welded joints in low carbon steel using metal inert gas (MIG) welding*”. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 21(3), 175-180.