

QUY TRÌNH TẠO MẪU VÀ THỬ NGHIỆM ĐỘ BỀN CHO MẪU HÀN LIÊN KẾT DẠNG ĐẦU MÍ

EXPERIMENTAL STUDY ON THE FLEXURAL STRENGTH OF WELDED JOINTS IN STEEL PLATE BUTT WELDS

Phạm Sĩ Hưng, Nguyễn Lê Tường, Huỳnh Quang Duy, Vũ Quang Huy*

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

Email: 22143113@student.hcmute.edu.vn;

tuongnl@hcmute.edu.vn;

duyqh@hcmute.edu.vn;

*huyvq@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày quy trình chi tiết để chế tạo và đánh giá độ bền của các mẫu hàn liên kết dạng đầu mí. Nghiên cứu tập trung vào việc tối ưu hóa các thông số hàn, bao gồm dòng điện, áp suất điện cực và thời gian hàn, nhằm đảm bảo chất lượng mối hàn. Các mẫu được chế tạo theo tiêu chuẩn công nghiệp và thử nghiệm độ bền thông qua các phương pháp như kiểm tra kéo, uốn và phân tích vi cấu trúc. Kết quả cho thấy mối hàn đầu mí đạt độ bền cao khi các thông số được điều chỉnh chính xác, với ít khuyết tật. Nghiên cứu cũng đề xuất các cải tiến trong quy trình hàn để nâng cao hiệu suất và độ tin cậy của liên kết. Những phát hiện này cung cấp giá trị thực tiễn cho ngành công nghiệp sản xuất, đặc biệt trong các ứng dụng yêu cầu độ bền cơ học cao.

Từ khóa: Hàn đầu mí; Độ bền mối hàn; Quy trình chế tạo; Thử nghiệm cơ học; Tối ưu hóa thông số.

ABSTRACT

An experimental study was conducted to assess the flexural strength of butt-welded steel plate joints under bending conditions. Steel plate specimens were welded using TIG and MIG techniques, with welding parameters optimized for high-quality welds. Three-point bending tests were performed to measure maximum bending force, deformation, and failure mechanisms. The results revealed that TIG welds demonstrated superior flexural strength compared to MIG welds, due to a smaller heat-affected zone and fewer weld imperfections. Key factors influencing flexural strength included plate thickness, weld edge preparation angle, and welding energy. This study provides valuable experimental insights for the design and optimization of welded steel plate joints in structural applications.

Keywords: Seam welding; Weld strength; Manufacturing process; Mechanical testing; Parameter optimization.

1. TỔNG QUAN

Hàn MIG (Metal Inert Gas), hay còn gọi là hàn dây dưới khí bảo vệ, đã trở thành một phương pháp hàn phổ biến và hiệu quả trong lĩnh vực công nghiệp hiện đại. Nguyên lý của phương pháp này dựa trên việc tạo ra hồ quang điện giữa dây điện cực nóng chảy và bề mặt kim loại cần hàn, sử dụng nguồn điện một chiều (DC) không đổi để duy trì hồ quang ổn định và liên tục. Dưới tác động của hồ quang điện, dây điện cực nóng chảy tạo thành các giọt kim loại, điền đầy khe hở giữa hai mép kim loại, từ đó hình thành mối hàn bền chắc [1]. Lớp khí bảo vệ như argon, hỗn hợp argon-helium, hoặc CO₂ đóng vai trò then chốt trong việc che chắn mối hàn khỏi oxy và tạp chất trong không khí, đồng thời ổn định hồ quang và cải thiện hình dạng mối hàn [2].

Hệ thống hàn MIG bao gồm các bộ phận chính như nguồn điện DC, súng hàn, bộ cấp dây tự động, kẹp nối đất, hệ thống khí bảo vệ và thiết bị điều khiển [3]. Nguồn điện DC cung cấp dòng điện và điện áp ổn định, hỗ trợ duy trì tốc độ hàn cao hơn so với các phương pháp truyền thống như hàn que [4]. Bộ cấp dây tự động giúp duy trì nguồn cung cấp dây hàn liên tục, giảm thiểu sự gián đoạn trong quá trình hàn, đồng thời nâng cao chất lượng và hiệu quả sản xuất. Đặc điểm này cũng làm cho hàn MIG trở thành lựa chọn lý tưởng để tích hợp vào dây chuyền tự động hóa và hệ thống robot hàn [5].

So với phương pháp hàn que, hàn MIG cho phép thực hiện các mối hàn có chất lượng cao, đồng đều và ít khuyết tật hơn. Mối hàn được tạo ra thường có bề mặt bóng đẹp, giảm thiểu hiện tượng bắn tóe và khả năng tạo xỉ. Ngoài ra, hàn MIG có khả năng hàn được nhiều loại vật liệu như thép không gỉ, nhôm, magiê, đồng, niken và các hợp kim đặc biệt, mở rộng phạm vi ứng dụng của nó trong nhiều ngành

công nghiệp [6]. Nhờ vào tốc độ hàn nhanh, hiệu quả sản xuất cao và chi phí đầu tư ban đầu hợp lý, hàn MIG đã trở thành một giải pháp tối ưu cho cả sản xuất hàng loạt và các ứng dụng đòi hỏi sự linh hoạt cao [7].

Trong thực tiễn, hàn MIG được sử dụng phổ biến trong các ngành chế tạo khung xe máy, bàn ghế inox, các kết cấu thép chịu lực lớn và các bộ phận cơ khí có yêu cầu cao về chất lượng mối hàn [8]. Đặc biệt, khả năng tự động hóa và tích hợp với robot đã giúp hàn MIG trở thành công nghệ không thể thiếu trong các dây chuyền sản xuất hiện đại, từ các nhà máy chế tạo ô tô đến các công trình xây dựng quy mô lớn [9]. Các yếu tố như tốc độ cấp dây, loại khí bảo vệ, và thông số điện hàn đều có vai trò quyết định đến chất lượng mối hàn, do đó việc kiểm soát và tối ưu các thông số này là yếu tố tiên quyết để nâng cao độ bền của liên kết hàn [10].

Để đánh giá và tối ưu hóa quá trình hàn MIG, quy trình tạo mẫu và thử nghiệm độ bền cho mối hàn đầu mí (butt joint) được xây dựng chặt chẽ. Đầu tiên, các thông số kỹ thuật như dòng điện, điện áp, tốc độ cấp dây và loại khí bảo vệ được xác định dựa trên đặc tính vật liệu và yêu cầu kết cấu [11]. Sau đó, mẫu hàn được thực hiện theo quy trình bán tự động hoặc tự động, đảm bảo sự ổn định và nhất quán của các mối hàn. Trong quá trình thực nghiệm, các mẫu hàn sẽ được kiểm tra trực quan để phát hiện các khuyết tật bề mặt như nứt, rỗ hoặc bắn tóe, đồng thời tiến hành cắt ngang mẫu hàn để đánh giá độ ngấu và tính đồng đều của lớp kim loại nóng chảy.

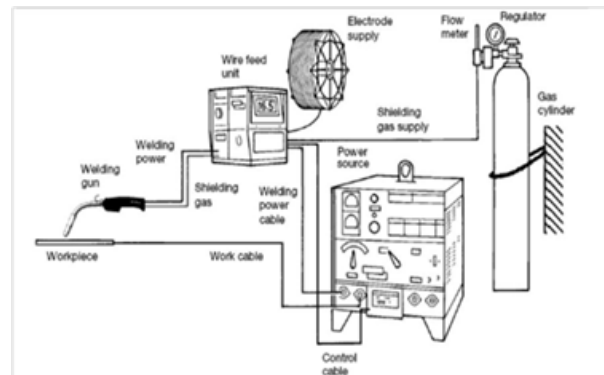
Bên cạnh việc kiểm tra trực quan và cắt ngang, các phương pháp thử nghiệm cơ học như kéo, uốn và nén cũng được áp dụng để xác định độ bền và khả năng chịu lực của mối hàn. Việc phân tích cấu trúc vi mô của mối hàn và



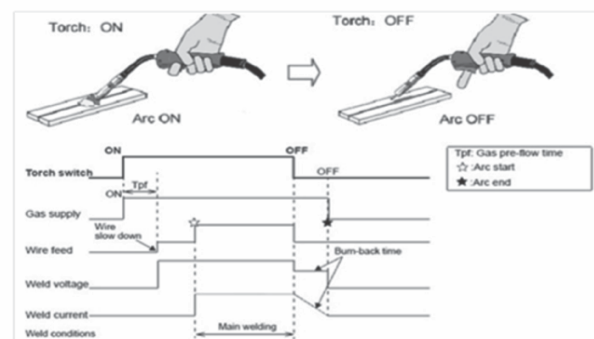
vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) bằng kính hiển vi điện tử cung cấp thông tin quan trọng về tính chất cơ học và sự phân bố pha trong mối hàn [12]. Từ những dữ liệu thực nghiệm này, các mối quan hệ giữa thông số công nghệ và chất lượng mối hàn sẽ được thiết lập, làm cơ sở cho việc tối ưu hóa quá trình hàn MIG trong các ứng dụng thực tiễn.

Kết quả ban đầu cho thấy, khi các thông số hàn được tối ưu hợp lý, mối hàn MIG có độ ngấu cao, ít khuyết tật và khả năng chịu lực tốt. Các nghiên cứu cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của việc sử dụng khí bảo vệ có độ tinh khiết cao và hệ thống cấp dây ổn định để đạt được chất lượng mối hàn tối ưu. Hướng phát triển trong tương lai của hàn MIG tập trung vào việc ứng dụng các cảm biến thông minh, hệ thống điều khiển tự động và dây hàn hợp kim đặc biệt nhằm nâng cao hiệu suất, giảm thiểu tiêu hao năng lượng và mở rộng phạm vi ứng dụng trong các ngành công nghiệp đòi hỏi cao về chất lượng và độ bền [5], [11].

Tóm lại, hàn MIG là một giải pháp vượt trội về hiệu quả sản xuất, chất lượng mối hàn và khả năng tự động hóa. Quy trình tạo mẫu và thử nghiệm độ bền mối hàn đầu mí không chỉ giúp xác định tính chất cơ học và vi cấu trúc của mối hàn mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc tối ưu hóa công nghệ, đảm bảo chất lượng sản phẩm và an toàn trong sản xuất. Với xu hướng tự động hóa và tích hợp robot ngày càng phát triển, hàn MIG sẽ tiếp tục đóng vai trò then chốt trong công nghiệp hiện đại, từ các công trình xây dựng quy mô lớn đến ngành chế tạo cơ khí và chế tạo ô tô.



Hình 1. Hệ thống hàn MIG



Hình 2. Hàn đầu mí bằng máy MIG

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Tổng quan về khuyết tật mối hàn: Khuyết tật mối hàn, thường được gọi là các bất liên tục trong mối hàn, là những sai lệch so với cấu trúc mối hàn lý tưởng, có thể làm giảm tính toàn vẹn và hiệu suất của các mối nối hàn. Những khuyết tật này có thể phát sinh do kỹ thuật hàn không đúng, vật liệu không phù hợp hoặc các yếu tố môi trường. Các loại khuyết tật phổ biến bao gồm lỗ rỗ, lẫn tạp chất, nứt, thiếu ngấu và ngấu không hoàn toàn. Mỗi loại có đặc điểm riêng và ảnh hưởng đến các tính chất cơ học của mối hàn, như giảm độ bền, độ dẻo hoặc khả năng chống mỏi. Ví dụ, lỗ rỗ có thể làm suy yếu mối hàn bằng cách tạo ra các khoảng trống, trong khi các vết nứt có thể lan rộng dưới tác dụng của ứng suất, dẫn đến hỏng hóc nghiêm trọng. Việc hiểu rõ các khuyết tật

này là rất quan trọng để đảm bảo chất lượng mối hàn và độ tin cậy của kết cấu trong các ứng dụng từ xây dựng đến hàng không vũ trụ.

Nguyên nhân và biện pháp khắc phục: Khuyết tật thường xuất hiện do các thông số hàn không chính xác (ví dụ, dòng điện quá cao hoặc quá thấp), chuẩn bị mối nối kém hoặc bảo vệ khí không đầy đủ. Để giảm thiểu các vấn đề này, thợ hàn cần tối ưu hóa thông số, đảm bảo vệ sinh mối nối đúng cách và sử dụng khí bảo vệ phù hợp. Việc kiểm tra định kỳ và tuân thủ các tiêu chuẩn hàn cũng đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu khuyết tật.

3. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

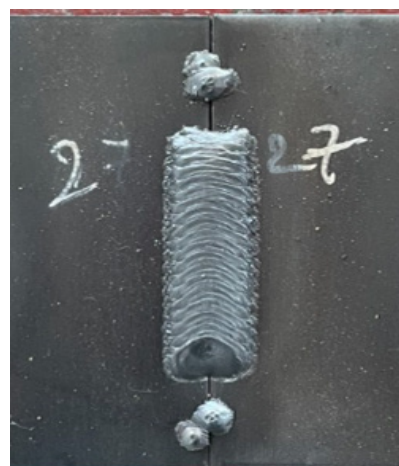
- **Cắt phay mẫu hàn:** Đầu tiên, mẫu hàn được gia công bằng phương pháp phay để tạo mặt phẳng phục vụ đo đạc. Mẫu cần được gá chắc chắn, đảm bảo mặt phẳng sau phay phẳng và thẳng, tạo điều kiện thuận lợi cho các bước tiếp theo.

- **Mài bề mặt:** Tiến hành mài mặt phẳng cần kiểm tra bằng giấy nhám theo thứ tự độ nhám giảm dần: P180, P240, P320, P400, P600. Quá trình mài thực hiện trên bề mặt phẳng (tốt nhất là kính), thao tác đều tay để tránh tạo vết xước lớn.

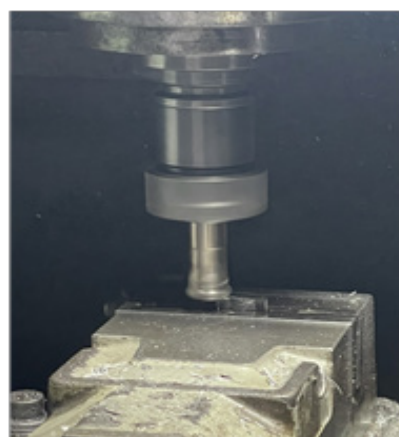
- **Đánh bóng mẫu:** Sử dụng máy đánh bóng để làm mịn bề mặt mẫu trong 5-10 phút, đảm bảo bề mặt đạt độ bóng cao, hỗ trợ tốt cho bước tẩm thực.

- **Tẩm thực axit:** Nhúng tẩm bông vào một lượng nhỏ axit, bôi đều lên bề mặt mẫu trong 15-20 giây, sau đó rửa sạch bằng nước và lau khô. Quá trình này giúp làm nổi bật cấu trúc mối hàn, dễ dàng quan sát và đo đạc.

- **Đo đạc mối hàn:** Sử dụng kính hiển vi có phân độ 0,1 mm và phần mềm ImageJ để xác định chiều cao, chiều rộng và độ ngấu của mối hàn một cách chính xác.



Hình 3. Mẫu sau hàn



Hình 4. Gia công mẫu sau hàn

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm được thực hiện trên các tấm thép có độ dày 5 mm nhằm tìm hiểu ảnh hưởng của các thông số hàn đến hình dạng và chất lượng của mối hàn. Mục tiêu chính là thu thập và phân tích dữ liệu về độ rộng, độ ngấu và chiều cao mối hàn để từ đó đưa ra các nhận xét quan trọng, giúp tối ưu hóa quy trình hàn.

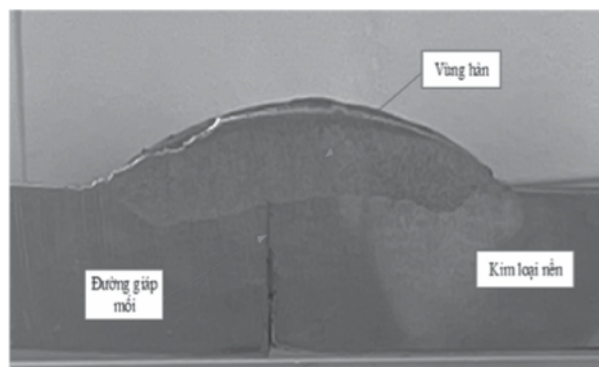


Để thực hiện việc đo đạc một cách chính xác, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm ImageJ, kết hợp với thước trắc vi. Phần mềm ImageJ hỗ trợ xử lý hình ảnh kỹ thuật số và phân tích hình thái học, cho phép đo lường kích thước các chi tiết nhỏ trên hình ảnh một cách thuận tiện và có độ chính xác cao. Trong khi đó, thước trắc vi hỗ trợ đo trực tiếp trên mẫu hoặc trên hình ảnh, cung cấp độ tin cậy bổ sung.

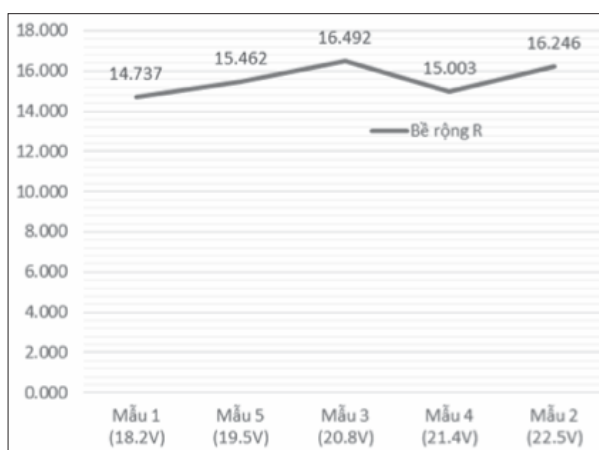
Tổng cộng 30 mẫu hàn đã được tiến hành phân tích kỹ lưỡng. Mỗi mẫu hàn sau khi hoàn thành được chụp ảnh bề mặt và lưu trữ kèm theo số liệu đo đạc cụ thể. Việc thu thập đầy đủ hình ảnh và bảng dữ liệu giúp đảm bảo tính khách quan cũng như độ tin cậy cao cho toàn bộ quá trình nghiên cứu.

Kết quả phân tích các mẫu cho thấy sự biến thiên đáng kể về hình dạng mối hàn giữa các mẫu. Cụ thể, mẫu số 1 có độ rộng mối hàn đạt 14,737 mm, độ ngấu 0,741 mm và chiều cao 1,992 mm. Trong khi đó, mẫu số 30 lại có độ rộng mối hàn lớn nhất, lên đến 28,459 mm, nhưng độ ngấu chỉ đạt 0,702 mm và chiều cao là 1,776 mm. Điều này phản ánh rằng các yếu tố ảnh hưởng đến hình dạng mối hàn không chỉ phụ thuộc vào một thông số duy nhất mà còn do sự kết hợp của nhiều thông số kỹ thuật khác.

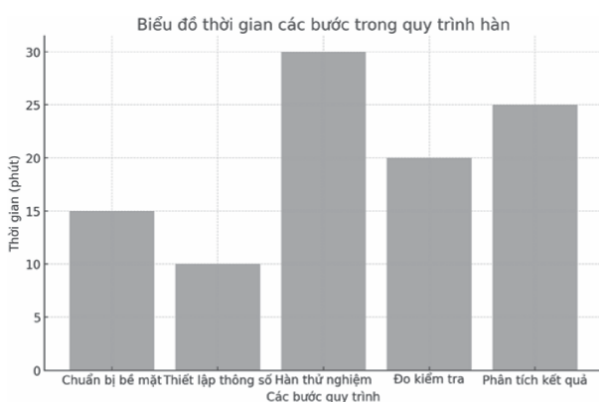
Đáng chú ý là mẫu số 28 có độ ngấu khá cao (2,3 mm) và chiều cao mối hàn lớn nhất (4,433 mm), nhưng độ rộng mối hàn lại chỉ là 7,54 mm. Ngược lại, mẫu số 29 ghi nhận độ rộng mối hàn tương đối lớn (26,066 mm) nhưng chiều cao chỉ đạt 1,719 mm. Những khác biệt này phản ánh ảnh hưởng phức tạp của các thông số hàn (như cường độ dòng điện, tốc độ hàn, loại que hàn, góc độ hàn...) đến hình thái mối hàn.



Hình 5. Kết quả kiểm tra hình dáng đường hàn



Hình 6. Thể hiện sự thay đổi bề rộng của nhóm A



Hình 7. Phân bố thời gian giữa các bước

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về quy trình chế tạo và thử nghiệm độ bền mẫu hàn liên kết dạng đầu mí trên thép tấm dày 5 mm đã mang lại những

kết quả đáng chú ý. Thông qua việc đo đạc các thông số mỗi hàn như độ rộng, độ ngấu và chiều cao bằng phần mềm ImageJ và thước trắc vi, thí nghiệm trên 30 mẫu hàn cho thấy sự biến thiên rõ rệt trong hình dạng và chất lượng mỗi hàn. Các mẫu như mẫu số 28 và 30 đạt các giá trị đặc biệt về độ ngấu và độ rộng, phản ánh ảnh hưởng mạnh mẽ của thông số hàn đến hiệu suất mỗi hàn. Những phát hiện này không chỉ làm sáng tỏ mối quan hệ giữa các thông số kỹ thuật và chất lượng mỗi hàn mà còn cung cấp dữ liệu thực tiễn để tối ưu hóa quy trình hàn trong công nghiệp. Nghiên cứu đề xuất điều chỉnh chính xác dòng điện, áp suất điện cực và thời gian hàn để giảm thiểu khuyết tật và nâng cao độ bền. Hướng nghiên cứu tiếp theo có thể tập trung vào việc thử nghiệm các vật liệu khác hoặc tích hợp tự động hóa để cải thiện hiệu quả và độ đồng nhất của mỗi hàn.

(*) 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: Phạm Sĩ Hưng, Nguyễn Lê Tường, Huỳnh Quang Duy, Vũ Quang Huy.

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: SV2025-361. ❖

Ngày nhận bài: 05/5/2025

Ngày phản biện: 19/5/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Benakis, M., Costanzo, D., & Patran, A. (2020), "Current mode effects on weld bead geometry and heat affected zone in pulsed wire arc additive manufacturing of Ti-6Al-4V and Inconel 718". *Journal of Manufacturing Processes*, 60, 61–74. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.10.038>
- [2]. Kiran, D. V., Cho, D. W., Song, W. H., & Na, S. J. (2014), "Arc behavior in two wire tandem submerged arc welding". *Journal of Materials Processing Technology*, 214(8), 1546–1556. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.02.027>
- [3]. Ding, X. P., Li, H., Wei, H. L., & Liu, J. Q. (2016), "Numerical analysis of arc plasma behavior in double-wire GMAW". *Vacuum*, 124, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2015.11.014>
- [4]. Wang, X. L., Zhang, Q., Yang, Y. S., Luo, C. F., & Hu, Q. X. (2025), "Impact of welding current on arc physical characteristics in single-power, double-wire, single-arc gas metal arc welding". *Welding in the World*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s40194-024-01675-9>
- [5]. Zhan, J. T., Ye, X. Y., Liu, Z. Z., Zhong, S. T., Zhou, Y. C., Zhang, R., Liang, Z. X., & Shi, Y. H. (2025), "Numerical investigation of dynamic arc behavior in K-TIG welding enhanced by an external sinusoidal alternating longitudinal magnetic field". *International Journal of Thermal Sciences*, 212, Article 109744. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2024.109744>
- [6]. Wu, K. Y., Zhan, J. T., Cao, X. W., Zeng, M., & Ding, N. (2020), "Metal transfer of aluminum alloy double-wire pulsed GMAW with a median waveform". *Journal of Materials Processing Technology*, 286, Article 116761. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116761>
- [7]. Wu, K. Y., Xie, P. M., Liu, Z., Zeng, M., & Liang, Z. Y. (2020), "Investigation of double arc interaction mechanism and quantitative analysis of double arc offset in high-power double-wire DP-GMAW". *Journal of Manufacturing Processes*, 49, 423–437. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.12.006>
- [8]. Scalet Rossini, L. F., Valenzuela Reyes, R. A., & Spinelli, J. E. (2019), "Double-wire tandem GMAW welding process of HSLA50 steel". *Journal of Manufacturing Processes*, 45, 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.07.006>
- [9]. Wu, K. Y., Chen, Q. R., Liu, Z. T., Wu, Y. M., & Zeng, Y. C. (2025), "Arc characteristic in aluminum alloy double-wire variable polarity double base pulsed gas metal arc welding". *Vacuum*, 233, Article 113914. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2024.113914>
- [10]. Bellamkonda, P. N., Dwivedy, M., & Addanki, R. (2024), "Cold metal transfer technology - A review of recent research developments". *Results in Engineering*, 23, Article 102423. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102423>
- [11]. Liu, C., Li, Q., & Yang, X. D. (2023), "Analysis of arc plasma characteristics and energy distribution in EDM based on two-temperature model". *Precision Engineering*, 83, 204–315. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2023.06.006>
- [12]. Zhao, Y. Y., & Chung, H. (2017), "Numerical simulation of droplet transfer behavior in variable polarity gas metal arc welding". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 111, 1129–1141. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.04.071>