# ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG MỐI HÀN KHI HÀN MA SÁT KHUẤY CÓ HỖ TRỢ ĐIỆN ÁP

WELD QUALITY ASSESSMENT WHEN WELDING FRICTION STIRRING WITH VOLTAGE

**Lê Thái Sơn, Lê Phú Cường**
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh

**TÓM TẮT**

*Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp đến chất lượng mối hàn EAFSW trên máy phay CNC có so sánh với kết quả hàn FSW không hỗ trợ của điện áp của nhóm nghiên cứu khác. Các thông số chế độ hàn được khảo sát gồm: Tốc độ quay trục chính (S), vận tốc hàn (F), lượng dịch chuyển của đầu khuấy (t) và điện áp hỗ trợ (U) có ảnh hưởng đáng kể đến cơ tính mối hàn. Kết quả đánh giá chất lượng mối hàn EAFSW cho thấy độ bền kéo của mối hàn tăng lên từ 167 MPa đến 174 MPa so với hàn FSW.*

**Từ khoá:** *FSW – Hàn ma sát khuấy; EAFSW – Hàn ma sát khuấy có hỗ trợ điện áp.*

**ABSTRACT**

*The article presents the results of experimental research on the influence of voltage on the quality of EAFSW welds on CNC milling machines compared with the results of FSW welding without voltage support of another research group. The investigated welding mode parameters include: Main shaft rotation speed (S), welding speed (F), displacement of the stirring head (t) and supporting voltage (U) which have significant effects on the mechanical properties of the weld. The results of the evaluation of the quality of EAFSW welds show that the tensile strength of the weld increases from 167 MPa to 174 MPa compared to FSW welding.*

**Keywords:** *FSW – Friction stir welding; EAFSW – Voltage assisted friction stir welding.*

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hàn ma sát khuấy được phát minh và thực nghiệm vào năm 1991 tại Học viện hàn của Vương Quốc Anh (The Welding Institude - TWI) bởi John Wayne và các đồng sự. Từ khi ra đời cho đến nay, hàn ma sát khuấy (Friction Stir Welding - FSW) đã trở thành một lĩnh vực đóng góp lớn cho các ngành công nghiệp [1], [2]. Ở ngoài nước, để nâng cao chất lượng mối hàn khi hàn FSW đã có nhiều công trình đi sâu nghiên cứu như: Hàn ma sát khuấy hỗ trợ siêu âm (UAFSW), Hàn ma sát khuấy hỗ trợ điện áp (EAFSW) được phân tích vùng khuấy (SZ), vùng ảnh hưởng nhiệt cơ học (TMAZ) và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ). ☞

Hàn ma sát khuấy – Friction Stir Welding (FSW) [2] có thể được cho là một lĩnh vực khá mới mẻ đang có những bước tiến lớn gần đây, là một hướng công nghệ thân thiện với môi trường do không tạo khí độc khi hàn, không phát tia hồ quang và năng lượng bức xạ. Ngoài ra, FSW khắc phục được nhiều khó khăn mà những giải pháp hàn truyền thống mắc phải, không cần dùng kim loại phụ để điền đầy mối hàn, mối hàn biến dạng ít và không bị nứt khi kết tinh [4], [5]. Tuy nhiên, vấn đề cần tập trung nghiên cứu để đưa công nghệ hàn FSW sang công nghệ hàn EAFSW nhằm nâng cao chất lượng mối hàn đang còn là hướng mở. Tác dụng của dòng điện một chiều tạo nên sự dịch chuyển điện tích trong quá trình hàn, đã tham gia làm nóng phôi tạo nên sự khác biệt giữa hàn FSW so với hàn EAFSW. Quá trình sử dụng một đầu khuấy ít bị ăn mòn để tạo ra sức nóng ma sát trong phôi [3]. Hàn EAFSW cũng được hình thành theo 3 giai đoạn: Giai đoạn đầu (làm nóng sơ bộ); Giai đoạn chính (khuấy vật liệu); Giai đoạn kết thúc (làm nguội và đông đặc): vật liệu hàn nguội dần và kết tinh thành mối hàn có độ bền cao [6]. Khi được hỗ trợ điện áp, cơ tính mối hàn EAFSW được tăng lên đáng kể so với hàn FSW.

Ở Việt Nam, công nghệ hàn FSW và EAFSW đang được nhiều nhà nghiên cứu đưa vào ứng dụng trên thực tế. Tuy nhiên, những công bố về vấn đề này còn ít, vì vậy nghiên cứu ảnh hưởng của một số chế độ hàn EAFSW đến chất lượng mối hàn trong công trình này là cần thiết.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thiết bị thí nghiệm

Sử dụng máy phay CNC, Vcenter-85 (Đài Loan), đầu khuấy được chế tạo bằng thép hợp kim 40Cr (Liên bang Nga) được bọc cách điện. Phôi dùng thí nghiệm là hợp kim nhôm tấm A5052 có chiều dày 5 mm (xuất xứ từ Malaysia). Kiểm tra chất lượng mối hàn bằng máy siêu âm OLYPUSEPOCH 600 (Hoa Kỳ). Độ bền kéo mối hàn được xác định khi thực hiện thử phá hủy mẫu trên máy kéo - nén TYE – 2000 (Liên bang Nga). Sử dụng máy đo rung động để đánh giá và so sánh đối chứng chất lượng mối hàn khi hàn EAFSW so với hàn FSW.

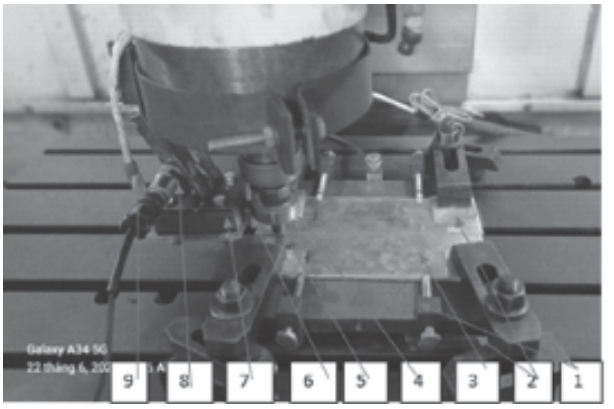
Khi nghiên cứu về hàn FSW, tác giả [1] đã chọn các số liệu trong bảng 1. Từ các nghiên cứu của [2], [3], [4] và [6] chọn chế độ hàn thử nghiệm như bảng 2.

*Bảng 1. Số liệu thí nghiệm khi hàn FSW*

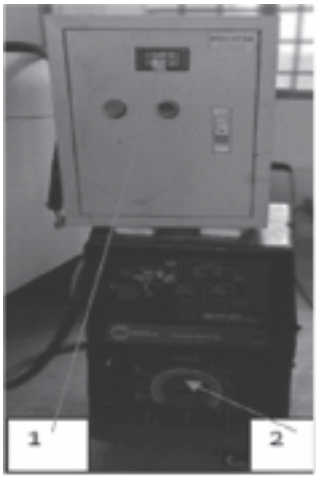
| TT | Tốc độ quay (S, vòng/ phút) | Vận tốc hàn (F, mm/ phút) | Lượng dịch chuyển (t, mm) | Điện áp hỗ trợ (U, V) |
|---|---|---|---|---|
| 01 | 800 | 50 | 0.15 | 0 |
| 02 | 800 | 100 | 0.15 | 0 |
| 03 | 800 | 150 | 0.15 | 0 |
| 04 | 800 | 200 | 0.15 | 0 |
| 05 | 1000 | 50 | 0.15 | 0 |
| 06 | 1000 | 100 | 0.15 | 0 |
| 07 | 1000 | 150 | 0.15 | 0 |
| 08 | 1000 | 200 | 0.15 | 0 |
| 09 | 1200 | 50 | 0.15 | 0 |
| 10 | 1200 | 100 | 0.15 | 0 |
| 11 | 1200 | 150 | 0.15 | 0 |
| 12 | 1200 | 200 | 0.15 | 0 |

*Bảng 2. Chế độ hàn EAFSW thử nghiệm và kết quả*

| TT | Tốc độ quay (S, vòng/ phút) | Vận tốc hàn (F, mm/ phút) | Lượng dịch chuyển (t, mm) | Điện áp hỗ trợ (U, V) |
|---|---|---|---|---|
| 01 | 600 | 50 | 0.15 | 3 |
| 02 | 600 | 100 | 0.15 | 6 |
| 03 | 600 | 150 | 0.15 | 9 |
| 04 | 600 | 200 | 0.15 | 12 |
| 05 | 800 | 50 | 0.15 | 3 |
| 06 | 800 | 100 | 0.15 | 6 |
| 07 | 800 | 150 | 0.15 | 9 |
| 08 | 800 | 200 | 0.15 | 12 |
| 09 | 1000 | 50 | 0.15 | 3 |
| 10 | 1000 | 100 | 0.15 | 6 |
| 11 | 1000 | 150 | 0.15 | 9 |
| 12 | 1000 | 200 | 0.15 | 12 |




*Hình 1. Sơ đồ hệ thống thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của điện áp đến chất lượng mối hàn EAFSW: 1. Thanh kẹp; 2. Tấm cách điện; 3. Phôi hàn; 4. Bạc tiếp điện; 5. Đầu khuấy; 6. Lõi than chì; 7. Bạc phíp; 8. Đầu đo rung; 9. Dây dẫn điện*

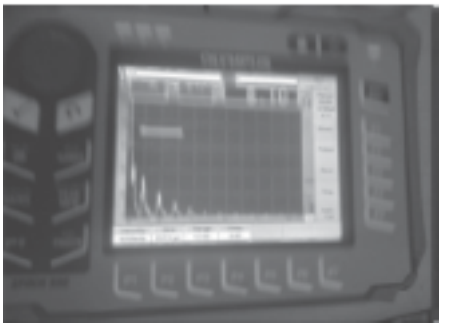



*Hình 2. Thiết bị cung cấp dòng điện một chiều: 1. Đồng hồ hiển thị; 2. Núm điều chỉnh.*

### 2.2. Kết quả thí nghiệm

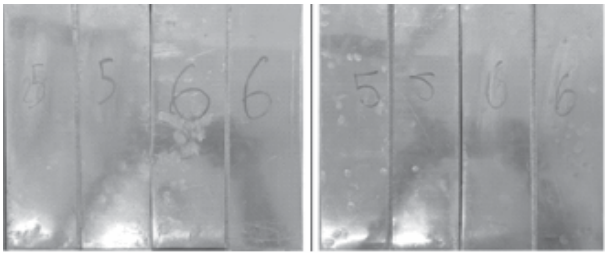
* Tiến hành thực nghiệm theo bảng 1 và bảng 2, thu nhận được các kết quả như sau:

*(a)*



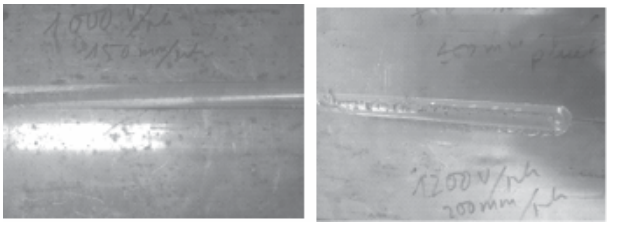
*(b)*

*Hình 3. Kết quả siêu âm mẫu 06 khi hàn FSW so với hàn EAFSW: (a) Siêu âm khi hàn FSW (b) Siêu âm khi hàn EAFSW*

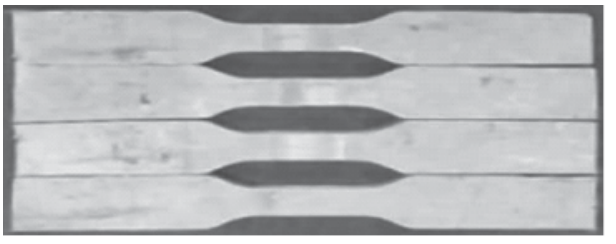


*(a)* *(b)*

*Hình 4. Kết quả chụp ảnh mẫu 05 và mẫu 06: (a) Chụp mặt trước, (b) Chụp mặt sau khi hàn EAFSW*

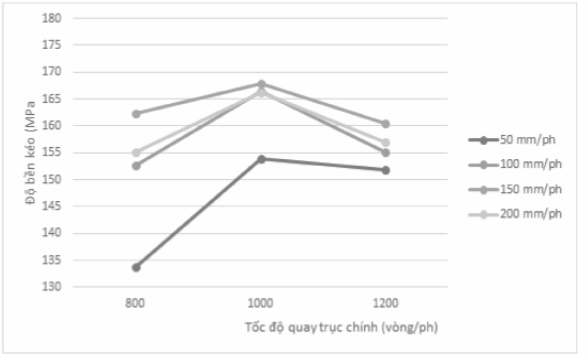


*Hình 5. Kết quả chụp ảnh mặt trước mẫu 07 và mẫu 12 khi hàn FSW*



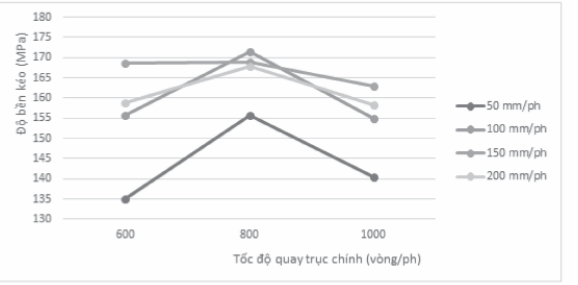
*Hình 6. Ảnh phôi được chuẩn bị để đưa vào kéo theo TCVN 197-1:2014*

* Kết quả kiểm tra độ bền kéo khi S; F thay đổi của hàn FSW theo bảng 1:




*Hình 7. Độ bền kéo khi S; F thay đổi của hàn FSW*

* Kết quả kiểm tra độ bền kéo khi S; F; V thay đổi của hàn EAFSW theo bảng 2:




*Hình 8. Độ bền kéo khi S; F thay đổi của hàn EAFSW*

### 2.3. Thảo luận kết quả

Nhìn vào kết quả của việc đo siêu âm và việc kéo đứt mẫu thử để kiểm tra chất lượng mối hàn trên hình 7 và 8, ta thấy chất lượng mối hàn EAFSW đã được tăng lên so với kết quả khi hàn FSW. Nếu được đầu tư nghiên cứu sẽ tìm được bộ thông số tối ưu cho quá trình hàn, nhôm và các kim loại màu:

- Khi hàn ở chế độ S = 600 v/phút; t = 0,15mm; F = 50mm/phút; 100mm/phút; 150mm/phút; 200mm/phút, thay đổi U từ 3V-12V. Từ kết quả trên cho thấy mối hàn không ngấu, kim loại chưa điền đầy mối hàn, bên trong còn có rỗ xốp, chất lượng mối hàn chỉ đạt 50% - 70% so với tính chất của kim loại ban đầu. Ở chế độ hàn này, do khuấy tốc độ không cao, chế độ dịch chuyển chậm nên khi kim loại bị khuấy chảy loãng không đều do chưa đủ nhiệt để giúp phần kim loại bị khuấy hòa trộn vào nhau. Ở chế độ hàn này xảy ra chậm nên một phần nhiệt sinh ra truyền vào mặt đe (phần đồ gá), như vậy đối với nhôm A5052 khi hàn EAFSW không nên sử dụng chế độ này.

- Khi hàn ở chế độ S = 800v/phút; t = 0,15mm; F = 50mm/phút; 100mm/phút; 150mm/phút; 200mm/phút, thay đổi U từ 3V-12V. Kết


ISSN 2615 - 9910 (bản in), ISSN 2815 - 5505 (online)
**TẠP CHÍ CƠ KHÍ VIỆT NAM**, Số 331, tháng 8 năm 2025
**cokhivietnam.vn**

quả trên cho thấy chất lượng mối hàn tăng lên, tuy nhiên kim loại vẫn chưa điền đầy mối hàn, bên trong còn có rỗ xốp, chất lượng mối hàn đã đạt 80% - 90% so với tính chất của kim loại ban đầu. Ở chế độ hàn này, do khuấy tốc độ cao, chế độ dịch chuyển tăng lên nên khi kim loại bị khuấy chảy loãng đều hơn, do nhiệt truyền vào vùng hàn nhiều hơn, phần kim loại bị khuấy đã được hòa trộn vào nhau. Ở chế độ hàn này xảy ra trung bình nên một phần nhiệt sinh ra truyền vào mặt đe (phần đồ gá), như vậy đối với nhôm A5052 khi hàn EAFSW nên sử dụng chế độ này để hàn, đặc biệt khi S = 800 v/phút; F = 100mm/phút; U = 6V đã thu được chất lượng mối hàn tốt nhất.

Từ kết quả trên cho thấy thông số công nghệ hàn ma sát sử dụng hợp lý sẽ giảm thiểu khoảng cách về nhiệt giữa vùng tâm mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt, đồng thời khống chế nhiệt độ của vùng khuấy là những vấn đề đáng được quan tâm. Nhiệt độ tại tâm mối hàn càng cao gần đến nhiệt độ nóng chảy của vật liệu nền càng khiến mối hàn trở nên quá nhiệt và giòn là điều chúng ta không mong muốn [2, 6]. Tuy nhiên cũng không nên quá thấp vì lúc đó vật liệu sẽ không đủ dẻo để khuấy lẫn vào nhau nên rất dễ bị khuyết tật đường hàn.

- Khi hàn ở chế độ S = 1000v/phút; t = 0,15mm; F = 50mm/phút; 100mm/phút; 150mm/phút; 200mm/phút, thay đổi U từ 3V-12V. Từ đó cho thấy thấy chất lượng mối hàn tăng lên nhưng kim loại vẫn chưa điền đầy mối hàn, bên trong còn có rỗ xốp, chất lượng mối hàn đã đạt 70% - 80% so với tính chất của kim loại ban đầu. Ở chế độ hàn này, do khuấy tốc độ cao, chế độ dịch chuyển tăng lên nên khi kim loại bị khuấy chảy loãng đều hơn, do đó nhiệt truyền vào vùng hàn nhiều hơn, phần kim loại bị khuấy đã được hòa trộn vào nhau. Ở chế độ hàn này xảy ra chậm nên một phần nhiệt sinh ra cũng truyền vào mặt đe (phần đồ gá). Tuy nhiên, do F tăng nên khả năng truyền nhiệt giảm, như vậy đối với nhôm A5052 khi hàn EAFSW nếu máy đủ vận tốc quay lớn thì ta có thể sử dụng chế độ này.

## 3. KẾT LUẬN

Bằng thực nghiệm trên máy phay CNC Vcenter-85 đã đưa ra bộ thông số hàn EAFSW hợp lý vật liệu nhôm A5052 chiều dày 5 mm gồm: S = 800 v/phút; F = 100 mm/phút; t = 0,15 mm; U = 6V, đảm bảo chất lượng hàn tốt nhất.❖

Ngày nhận bài: **02/6/2025**
Ngày phản biện: **12/6/2025**

**Tài liệu tham khảo:**

[1]. Nguyễn Công Trạng (2021), "*Nghiên cứu ảnh hưởng của rung động đến chất lượng của mối hàn khi hàn ma sát khuấy*". Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh.

[2]. Moosa Sajed, John William Grimaldo Guerrero, Hamed Aghajani Derazkola (2023), "*A Literature Survey on Electrical-Current-Assisted Friction Stir Welding*". https://doi.org/10.3390/app13031563.

[3]. Kaushik Sengupta, Dilip K. Singh, Arpan K. Mondal, D. Bose, Debtanu Patra, Arindam Dhar (2021), "*Characterization of tool wear in similar and dissimilar joints of MS and SS using EAFSW*". https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.012, Volume 44, Part 6, 2021, Pages 3967-3975.

[4]. Kaushik Sengupta, Dilip Kr.Singh, Arpan K Mondal, D. Bose, Biswajit Ghosh (2021), "*Analysis of mechanical property of electrically assisted friction stir welding to enhance the efficiency of joints*". https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.321, Volume 38, Part 5, 2021, Pages 2263-2270.

[5]. Ivy Chowdhury, Kaushik Sengupta, Kaustav Kumar Maji, Swapna Roy, Sujit Ghosal (2022), "*Investigation of mechanical properties of dissimilar joint of Al6063 aluminium alloy and C26000 copper alloy by ultrasonic assisted friction stir welding*". https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.103, Volume 50, Part 5, 2022, Pages 1527-1534.

[6]. Ivy DasChowdhury, Kaushik Sengupta, DilipKr. Singh, Swapna Roy, Sujit Ghosal, Arpan Kr Mondal, Ujan Sengupta (2021), "*Study of mechanical properties of mild steel joint made by electrically assisted friction stir welding using DC and AC*". https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.011, Volume 44, Part 6, 2021, Pages 3959-3966.