

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ BỀN KÉO MỐI HÀN MA SÁT KHUẤY GIỮA NHÔM VÀ ĐỒNG

INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS ON TENSILE STRENGTH OF DISSIMILAR FRICTION STIR WELDING COPPER TO ALUMINUM

LƯU PHƯỚC HIỀN^{1,a}, MAI ĐĂNG TUẤN¹, LƯU PHƯƠNG MINH²

¹Trường Đại học SPKT Vĩnh Long

²Trường Đại học Bách khoa TP HCM

^aTác giả liên hệ: luuhien724@gmail.com

Nhận bài (Received): 23/10/2024; Phản biện (Reviewed): 10/11/2024; Chấp nhận (Accepted): 9/12/2024

TÓM TẮT

Hàn ma sát khuấy (FSW) là bước tiến quan trọng nhất về lĩnh vực hàn trong thập niên qua và là một “công nghệ xanh” do hiệu quả năng lượng và thân thiện môi trường. FSW là một công nghệ liên kết vật liệu ở trạng thái rắn với hiệu suất cao, chi phí thấp, dễ sử dụng, quy trình vận hành đơn giản và phù hợp cho việc kết nối các vật liệu có tính chất vật lý, cơ học khác nhau mà các phương pháp hàn nhiệt không hàn được. Trong đó vật liệu được sử dụng phổ biến nhất bằng phương pháp này là nhôm và đồng. Việc liên kết hai vật liệu này mang lại nhiều ứng dụng quan trọng trong các lĩnh vực công nghiệp như truyền tải điện, điện tử và giao thông vận tải. Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm mối hàn kết cấu dạng tấm phẳng giữa đồng và hợp kim nhôm 6063. Bằng phép quy hoạch thực nghiệm nêu lên mối liên hệ giữa các thông số hàn (tốc độ quay, tốc độ hàn và lượng dịch chuyển), từ đó tối ưu các thông số hàn nhằm đạt được chất lượng mối hàn cao nhất.

Từ khóa: Hợp kim Al và hợp kim Cu, đặc tính kéo, thông số công nghệ.

ABSTRACT

Friction stir welding (FSW) is the most important advancement in the field of welding in the past decade and is a “green technology” due to its energy efficiency and environmental friendliness. FSW is a Solid State Bond with high efficiency, low cost, ease of use, simple operation process and suitable for connecting materials with different physical and mechanical properties that cannot be welded by thermal welding methods. The most commonly used materials by this method are aluminum alloy and copper. Bonding these two materials offers many important applications in industrial fields such as power transmission, electronics and transportation. This paper reports the results of statistical analysis conducted on the weld data obtained from friction stir butt welding between copper and AA 6063 plate. The output factors are measured in mechanical properties. Experimental data illustrates strong relation and robust comparison between the weldment strength and process parameters.

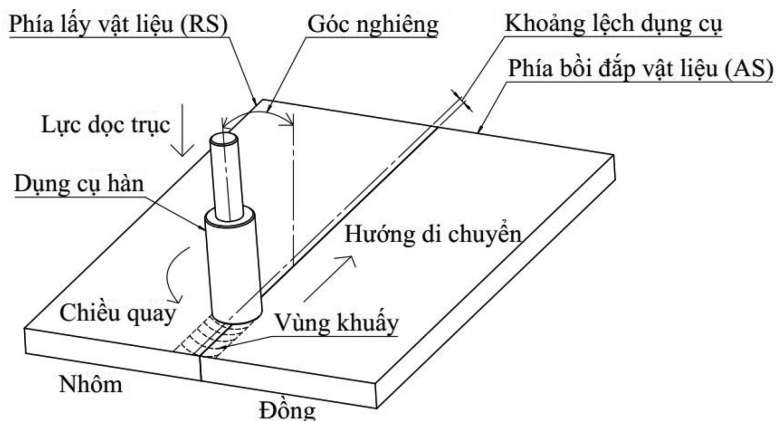
Keywords: Al-alloy and Cu-alloy, tensile properties, process parameters.

1. Giới thiệu

Hàn ma sát khuấy giữa hai vật liệu khác nhau là một ứng dụng của công nghệ hàn ma sát khuấy (FSW), được Viện Hàn (TWI) phát minh vào năm 1991 [1]. Công nghệ này cho phép liên kết các kim loại cơ bản khác nhau như nhôm, đồng, thép, titan, magiê và nhiều vật liệu khác [2]. Trong quá trình FSW, nhiệt ma sát được tạo ra bởi một dụng cụ quay, làm mềm vật liệu và khuấy trộn chúng lại với nhau thông qua cả chuyển động quay và chuyển động tịnh tiến của dụng cụ [3]. Bộ môn Thiết bị và Công nghệ Vật liệu cơ khí thuộc Khoa Cơ khí trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh là đơn vị tiên phong về công nghệ hàn tiên tiến này với nhiều công trình nghiên cứu về hàn ma sát khuấy giữa hai vật liệu có đặc tính khác nhau, mang lại thành công bước đầu cho công nghệ hàn FSW ở nước ta [6]. Gần đây, còn có thêm nhiều nghiên cứu khác về phương pháp hàn giữa hai vật liệu khác nhau, nhưng vẫn

đang trong giai đoạn hoàn thiện.

Việc thực hiện một mối hàn ma sát khuấy giữa đồng và nhôm đạt chất lượng mong muốn là một thách thức lớn do hai kim loại này có sự khác biệt về tính chất vật lý và cơ học. Có nhiều thông số quá trình ảnh hưởng đến chất lượng mối hàn như: tốc độ quay, tốc độ tiến dụng cụ, góc nghiêng, độ lệch dụng cụ, độ xuyên dụng cụ, vị trí đặt phôi... Theo như các tài liệu tham khảo [5], [6], [8] và quá trình thí nghiệm thăm dò ta thấy 3 thông số công nghệ là: tốc độ quay (n), tốc độ tiến dụng cụ (v), khoảng lệch dụng cụ (x) có ảnh hưởng nhiều nhất đến chất lượng mối hàn. Do đó chọn 3 thông số này để nghiên cứu và thực hiện mối hàn giáp mí giữa nhôm 6063 và đồng C11000. Thực hiện thí nghiệm bền kéo với các chế độ hàn khác nhau, từ các kết quả này xây dựng phương trình hồi quy mối liên hệ giữa các thông số hàn ảnh hưởng đến chất lượng mối hàn.



Hình 1. Sơ đồ FSW Al-Cu

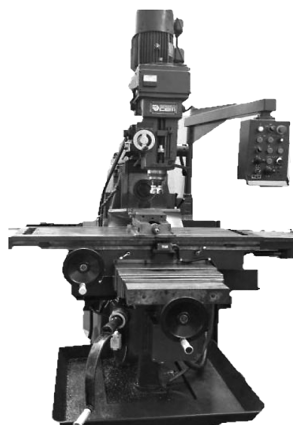
2. Nội dung

2.1. Thử nghiệm

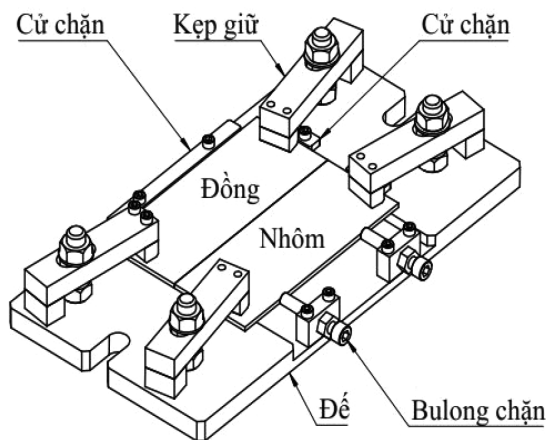
2.1.1. Thiết bị dùng để thử nghiệm

Phôi được định vị và kẹp chặt bằng đồ gá. Đồ gá được chế tạo để dễ thao tác gá lắp phôi, lắp đặt trên bàn máy và phù hợp cho việc thực hiện hàn ma sát khuấy.

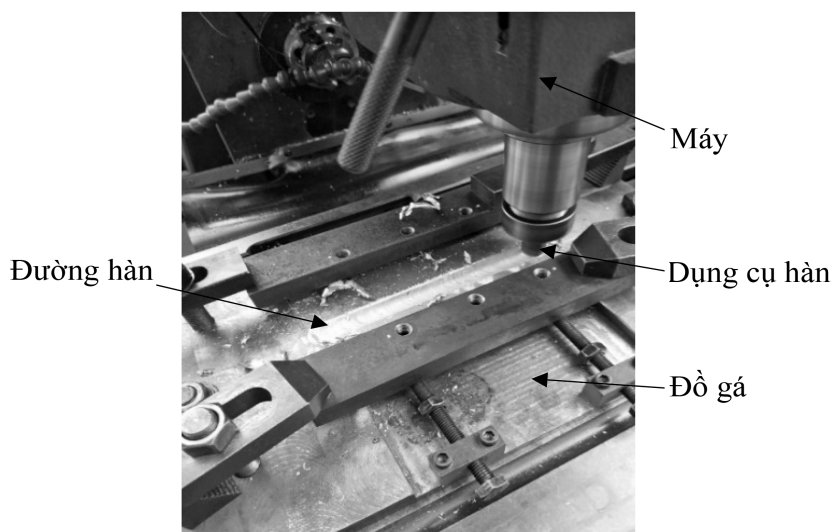
Thử nghiệm thực hiện trên máy phay vạn năng PHOEBUS PBM-GEVS500A. Truyền động trục chính được điều khiển bằng động cơ biến tần hoặc bước, kích thước bàn 1270×370 mm, tốc độ quay trục chính 90-3800 vg/ph, tốc độ tiến dao ngang 30-3000 mm/ph, tốc độ tiến dao dọc 30-1150 vg/ph, góc nghiêng trục chính 0-45°.



Hình 2. Máy phay vạt năng PHOEBUS PBM GEV5500A.



Hình 3. Sơ đồ gá kẹp



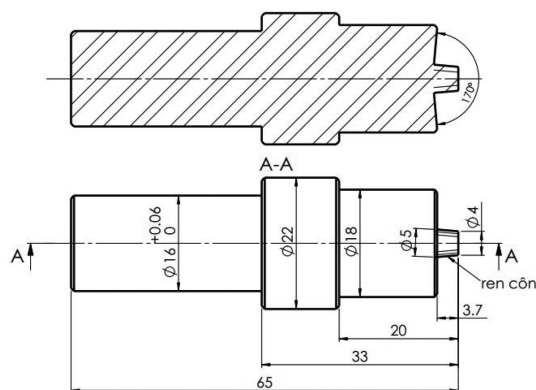
Hình 4. Thực nghiệm hàn

2.1.2. Dụng cụ hàn và phôi hàn

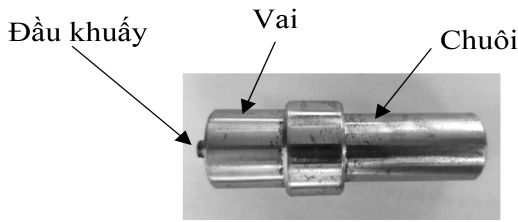
Dụng cụ hàn được chế tạo từ thép dụng cụ SKD61 (tiêu chuẩn JIS) hoặc H13 (tiêu chuẩn AISI). Thành phần chính gồm Crom (Cr), Silic (Si), Mangan (Mn), Molybden (Mo), và Vanadi (V).

Trong quá trình hàn FSW, dụng cụ hàn phải chịu các lực: lực dọc trục, lực hướng kính, lực tiếp tuyến do ảnh hưởng của độ nhớt vật liệu và quán tính dòng chảy [4]. Từ các cơ sở lý thuyết và qua các đề tài nghiên cứu [4], [5], [6], dụng cụ để hàn thường có vai lõm hình nón, góc hình nón phụ thuộc vào độ dày của phôi và đường kính của vai. Thông thường vai hình nón với góc khoảng

2-10° giúp đẩy vật liệu xuống dưới thông qua lực ly tâm tạo ra dòng vật liệu thích hợp để hình thành mối hàn [7], [8].



Hình 5. Bản vẽ dụng cụ hàn



Hình 6. Dụng cụ hàn



Hình 7. Đầu khuấy hình côn có

Vật liệu phôi là đồng đỏ và nhôm hợp kim 6063, các vật liệu này có thể dễ dàng tìm thấy trên thị trường. Quy cách phôi 200x80x4 mm.

Bảng 1 Thành phần hóa học của C11000

Nguyên tố	Cu	P	Các chất khác
Hàm lượng (%)	≥ 99,9	0,015 ≤	Không đáng kể

Bảng 2 Thành phần hóa học của hợp kim nhôm 6063

Nguyên tố	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
Hàm lượng (%)	95,7~97,7	0,15~0,35	0,1 max	0,4 max	2,2~2,8	0,1 max	0,25 max	0,1 max

Bảng 3 Một số tính chất cơ học của hợp kim nhôm 6063 và đồng C11000

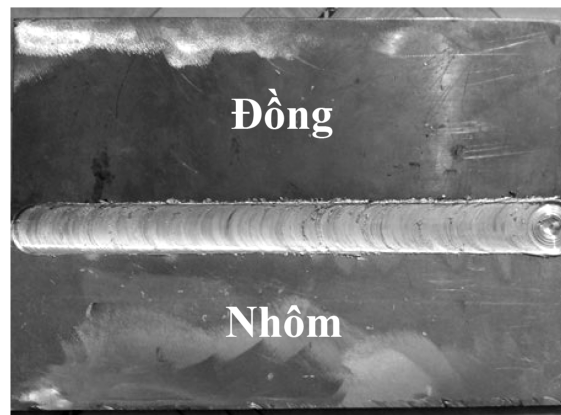
Vật liệu	Khối lượng riêng g/cm ³	Độ bền kéo tối đa MPa	Độ giãn dài %	Nhiệt độ nóng chảy °C	Môđun đàn hồi GPa	Hệ số poisson
Hợp kim nhôm 6063	2,7	172	22	616-654	69.8	0,33
Đồng C11000	8.89	220	55	1065-1083	115	0,33

2.1.3. Phương pháp hàn và chế độ hàn

Phôi được định vị và kẹp chặt bằng đồ gá. Đồ gá được chế tạo để dễ thao tác gá lắp phôi, lắp đặt trên bàn máy và phù hợp cho việc thực hiện hàn ma sát khuấy. Góc nghiêng dụng cụ là 2° và độ sâu nhấn vai là 0,1mm được giữ nguyên trong suốt quá trình thử nghiệm.

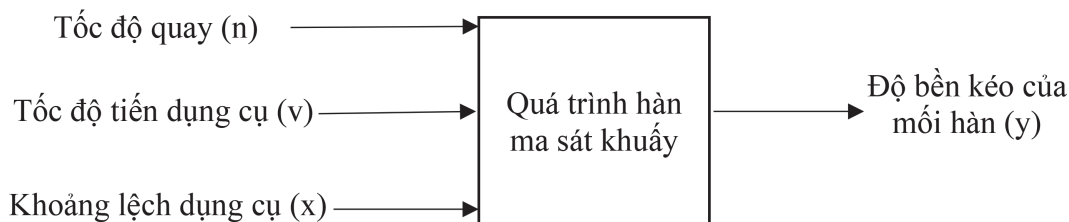
Chế độ hàn được biểu thị qua ba thông số: tốc độ quay, tốc độ tiến dụng cụ, khoảng lệch dụng cụ. Số lần thực nghiệm được tính theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm Box-Behnken. Qua tham khảo các tài liệu [5], [6] và các thử nghiệm thăm dò, ta chọn chế độ hàn ở mức cơ sở là: số vòng quay

1400 vg/ph, vận tốc hàn 50 mm/ph, khoảng lệch dụng cụ 1.5mm về phía Al.



Hình 8. Mẫu phôi hàn FSW giữa Al và Cu

Với 3 thông số nghiên cứu, mô hình bài toán có dạng:



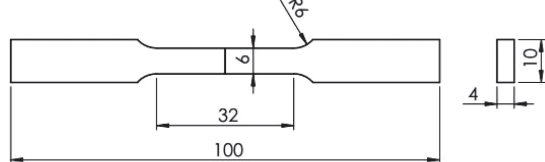
Hình 9. Mô hình bài toán hộp đen

Miền quy hoạch của các thông số đầu vào như sau: tốc độ quay n: 1200; 1400; 1600 (vg/ph), tốc độ tiến dụng cụ v: 40; 50; 60 (mm/ph), khoảng lệch dụng cụ x: 1; 1,5; 2 (mm).

2.1.4 Phương pháp kiểm nghiệm

Thực hiện đo độ bền kéo từng chế độ hàn, lấy giới hạn bền kéo làm hàm mục tiêu của mô hình bài toán.

Các mẫu thử kéo được cắt dây theo tiêu chuẩn ASTM E08. Hướng tải của mẫu kéo vuông góc với đường hàn. Thử nghiệm kéo được thực hiện trên máy Instron-300DX với tốc độ 2 mm/phút.



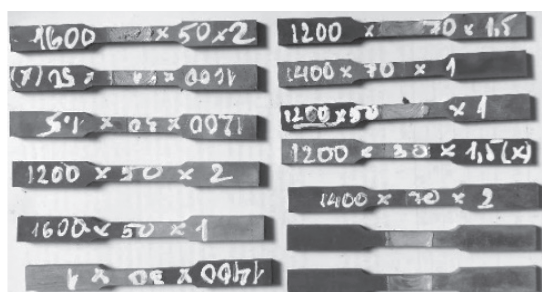
Hình 10. Kích thước mẫu thử kéo



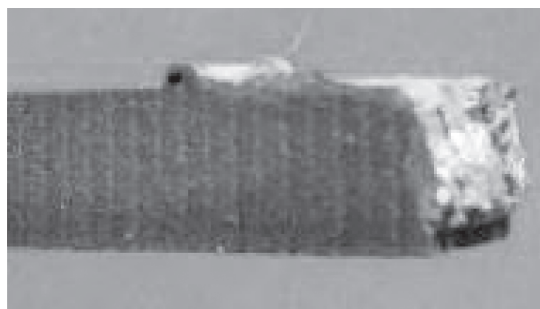
Hình 11. Máy Instron-300DX

2.2 Kết quả và thảo luận

Thực hiện hàn 15 mẫu với số lần lặp là 3 lần. Thông số hàn và giá trị trung bình độ bền kéo được tổng hợp ở bảng 1. Với số liệu y (MPa) đo được, ta thấy rằng các thông số công nghệ có ảnh hưởng phi tuyến đến hàm mục tiêu từ đó tiến hành quy hoạch thực nghiệm nghiệm toàn phần.



Hình 12. Các mẫu hàn sau khi cắt dây



Hình 13. Vết đứt sau khi kéo

Quá trình tính toán, xử lý số liệu được thực hiện bằng phần mềm Minitab. Phương trình hồi quy liên hệ giữa 3 thông số hàn và chất lượng mối hàn như sau:

$$y = -562,4 + 0,7039n + 5,675v + 59,58x - 0,000208n^2 - 0,06273v^2 - 0,05075nx \tag{1.1}$$

Bảng 4. Kết quả kiểm tra độ bền kéo khi n, v, x thay đổi

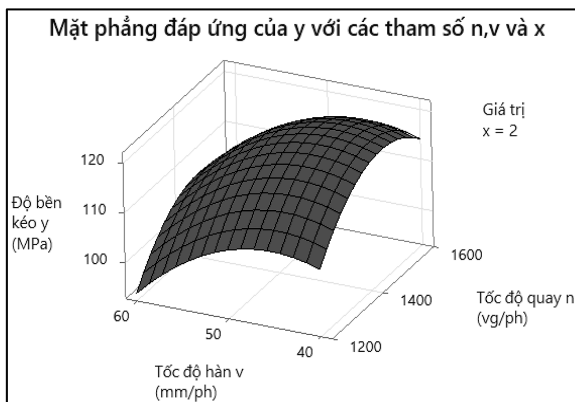
STT	Tốc độ quay (vg/ph)	Tốc độ tiến dụng cụ (mm/ph)	Khoảng lệch dụng cụ (mm)	Kết quả trung bình (MPa)
	n	v	x	\bar{y}
1	1200	40	1,5	107,61
2	1600	40	1,5	125,4
3	1200	60	1,5	93,94
4	1600	60	1,5	113,64
5	1200	50	1	108,23
6	1600	50	1	135,29
7	1200	50	2	106,88
8	1600	50	2	113,64
9	1400	40	1	129,88
10	1400	60	1	117,7
11	1400	40	2	117,46

STT	Tốc độ quay (vg/ph)	Tốc độ tiến dụng cụ (mm/ph)	Khoảng lệch dụng cụ (mm)	Kết quả trung bình (MPa)
12	1400	60	2	107,25
13	1400	50	1,5	124,09
14	1400	50	1,5	125,05
15	1400	50	1,5	124,86

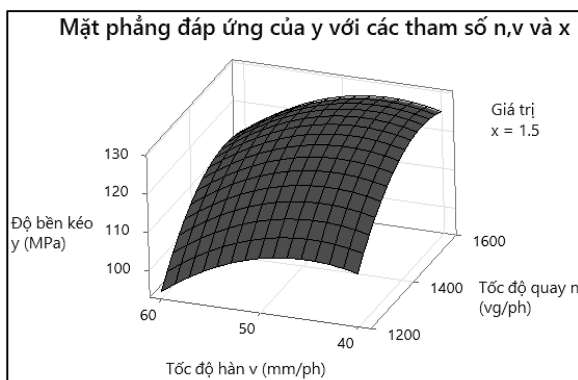
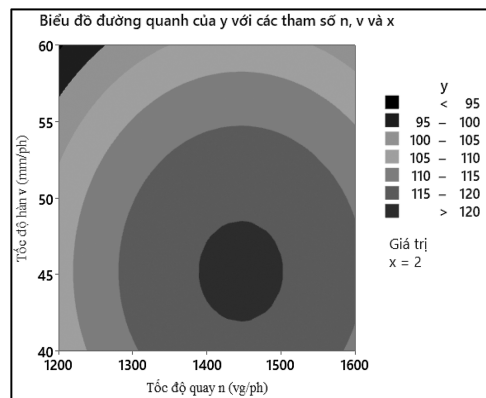
Bảng 5. Kết quả kiểm tra độ bền kéo của mẫu nhôm

Tên mẫu	1	2	3
Độ bền kéo (MPa)	180,12	179,92	180,81

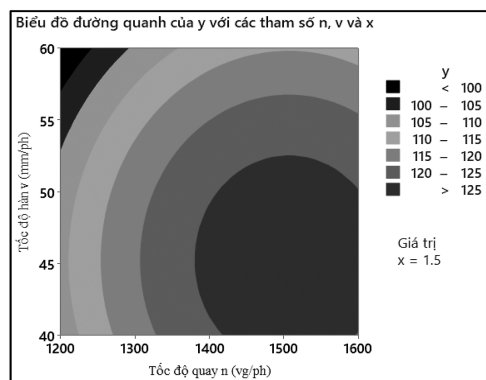
Từ đây, các mặt phẳng đáp ứng và đồ thị biểu diễn mối liên hệ của 3 thông số hàn đầu vào là: tốc độ quay (n), tốc độ tiến dụng cụ (v), khoảng lệch dụng cụ (x) với độ bền kéo (Y) của quá trình hàn ma sát như sau:

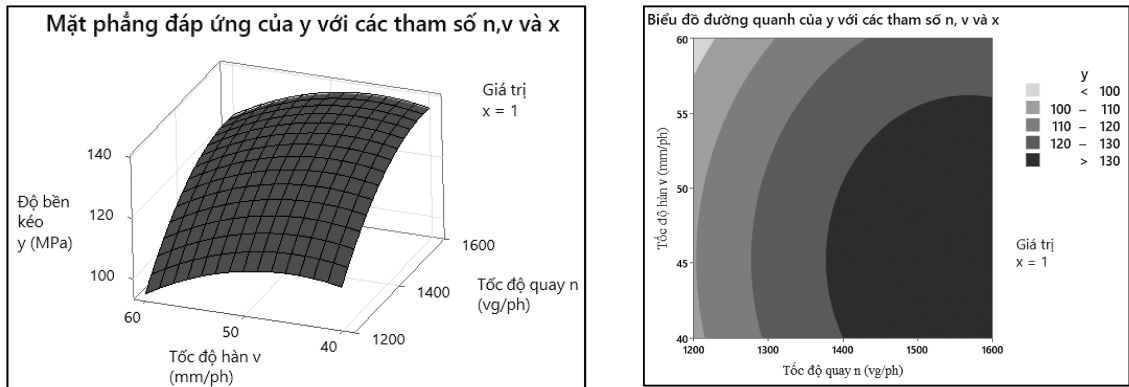


(a)



(b)





(c)

Hình 14. Mặt phẳng đáp ứng của y với đến hàm mục tiêu

- a) Khoảng lệch dụng cụ $x = 2$; b) Khoảng lệch dụng cụ $x = 1.5$;
- c) Khoảng lệch dụng cụ $x = 1$

Dựa vào các đồ thị ta nhận thấy:

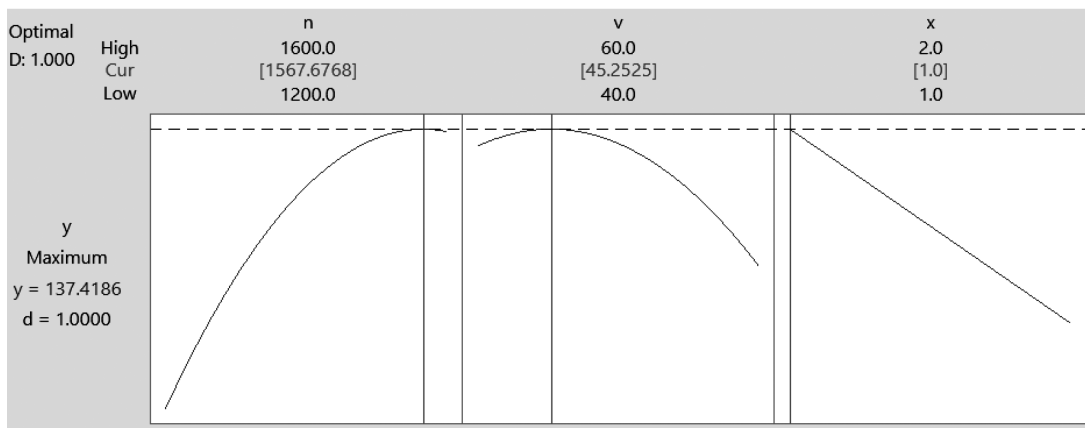
a) Khi khoảng lệch dụng cụ $x = 2$ kết quả thí nghiệm kéo lớn hơn 125 MPa khi tốc độ quay từ 1400 ~ 1500 (vg/ph) và tốc độ tiến dụng cụ từ 42 ~ 48 (mm/ph), nếu các thông số nhỏ hơn thông số này cho thấy độ bền kéo giảm.

b) Khi khoảng lệch dụng cụ $x = 1.5$ kết quả thí nghiệm kéo lớn hơn 120 MPa khi tốc độ quay từ 1400 ~ 1600 (vg/ph) và tốc độ tiến dụng cụ từ 40 ~ 52 (mm/ph), nếu các thông số nhỏ hơn thông số này cho thấy độ bền kéo giảm.

c) Khi khoảng lệch dụng cụ $x = 1$ kết

quả thí nghiệm kéo lớn hơn 130 MPa khi tốc độ quay từ 1380 ~ 1600 (vg/ph) và tốc độ tiến dụng cụ từ 40 ~ 55 (mm/ph), nếu các thông số nhỏ hơn thông số này cho thấy độ bền kéo giảm. Ta có thể xác định với tốc độ quay 1550 (vg/ph) và tốc độ tiến dụng cụ 45 (mm/ph) sẽ cho kết quả tối ưu về độ bền kéo.

Ta dựa vào Minitab tính toán thông số tối ưu, các thông số này sẽ ảnh hưởng đến việc cho ra những thông số để có độ bền kéo tốt nhất. Bộ thông số tối ưu là: tốc độ quay $n = 1567.67$ vg/ph, tốc độ tiến dụng cụ $v = 45.25$ mm/ph, khoảng lệch dụng cụ $x = 1$ mm, với giá trị độ bền kéo $y = 137.41$ Mpa.



Hình 15. Đồ thị tối ưu

3. Kết luận

Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của việc thay đổi các thông số trong quá trình hàn ma sát khuấy: tốc độ quay (n), tốc độ tiến dụng cụ (v), khoảng lệch dụng cụ (x) ảnh hưởng đến độ bền kéo mối hàn.

Các thử nghiệm với tốc độ quay 1400 – 1600 vg/ph, tốc độ tiến dụng cụ 40 – 60 mm/ph, khoảng lệch dụng cụ về phía nhôm 1 mm cho thấy mối hàn đạt được chất lượng tốt không có khuyết tật, đạt độ bền kéo từ 117 ~ 135 MPa. Trong đó độ bền kéo lớn nhất là 135.29 MPa, đạt 75% so với kim loại nhôm. Trong điều kiện giữ

nguyên khoảng lệch dụng cụ, khi tăng tốc độ quay và giảm tốc độ tiến dụng cụ thì độ bền kéo tăng.

Bộ thông số tối ưu của quá trình hàn: tốc độ quay $n = 1567.67$ vg/ph, tốc độ tiến dụng cụ $v = 45.25$ mm/ph, khoảng lệch dụng cụ $x = 1$ mm, với giá trị độ bền kéo $y = 137.41$ Mpa.

Từ các kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm cho phép xác định các thông số công nghệ phù hợp, có thể làm cơ sở để thiết kế công nghệ hàn ứng dụng vào thực tế sản xuất cho các kết cấu phẳng giữa đồng và nhôm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] W. M. Thomas, E. D. Nicholas, J. C. Needham, “ Friction-stir butt welding”. Patent GB Patent No. 9125978.8, 1991.
- [2] Sheikh-Ahmad, “: Friction Stir Welding of High Density Polyethylene –,” Journal of Materials Processing Technology, pp. 10-12, 27 9 2018.
- [3] R.S. Mishra, Z.Y. Ma “Friction stir welding and processing,” Materials Science and Engineering, vol. 4, no. R50, p. 10, 2005.
- [4] R. Rai, A.De, H.K.D.H Bhandeshia and T. DebRoy (2011), “Review: friction stir welding tools”, *Institute of Materials Minerals and Mining*.
- [5] Mai Đăng Tuấn, “Nghiên cứu ứng dụng phương pháp hàn ma sát khuấy cho các kết cấu dạng tấm bằng hợp kim nhôm”, Luận văn thạc sĩ, Trường ĐHBK TPHCM, TP.HCM, 2008.
- [6] Trương Minh Nhật, “Nghiên cứu hàn kết cấu dạng tấm phẳng giữa thép không gỉ 304 và hợp kim nhôm 6061 bằng phương pháp ma sát khuấy”, Luận văn thạc sĩ, Trường ĐHBK TPHCM, TP.HCM, 2018.
- [7]. I Galvao, R Leal, A Loureiro, D Rodrigues, “Material flow in heterogeneous friction stir welding of aluminium and copper thin sheets,” *Science and Technology of Welding & Joining*, vol 15, no 8, pp.654-660, 2010.
- [8]. I. Galvao, D. Verdera, D. Gesto, A. Loureiro, D.M. Rodrigues, “Analysing the challenge of aluminum to copper FSW,” *In proceedings of 9th international symposium on friction stir welding, Huntsville, Alabama 2012*.