

MỤC LỤC

MỤC LỤC.....	i
LỜI CAM ĐOAN	iii
LỜI CẢM ƠN	iv
DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	v
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	vi
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	vii
MỞ ĐẦU	1
1. Lý do chọn đề tài	1
2. Mục đích nghiên cứu	2
3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu	2
4. Các phương pháp nghiên cứu	2
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ HÀN MA SÁT KHUẤY	3
1.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước	3
1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước	5
KẾT LUẬN CHƯƠNG 1	6
Chương 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VỀ CÔNG NGHỆ HÀN MA SÁT KHUẤY	7
2.1. Tổng quan về công nghệ hàn ma sát khuấy	7
2.1.1. Khái niệm.....	7
2.1.2. Nguyên lý	7
2.1.3. Khả năng ứng dụng	8
2.2. Công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm và hợp kim nhôm.....	10
2.2.1. Đặc điểm công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm.....	10
2.2.2. Các quá trình cơ nhiệt khi hàn FSW	13
2.2.2.1. Quá trình sinh nhiệt khi hàn	13

2.2.2.2. Dòng chảy vật liệu khi hàn	16
2.2.3. Thiết bị và đầu hàn ma sát khuấy	19
2.3. Các thông số công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm và hợp kim nhôm	29
2.4. Quy trình hàn ma sát khuấy nhôm.....	31
KẾT LUẬN CHƯƠNG 2.....	33
Chương 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM HÀN MA SÁT KHUẤY NHÔM A5052	34
* Mục tiêu thực nghiệm:.....	34
3.1 Thiết kế và chế tạo đầu hàn ma sát khuấy	34
3.1.1. Phân tích lựa chọn vật liệu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy	34
3.1.2. Chế tạo đầu hàn ma sát khuấy	38
3.2. Thực nghiệm hàn ma sát khuấy và xây dựng quy trình hàn.....	44
3.2.1. Mục tiêu thực nghiệm.....	44
3.2.2. Hàn thực nghiệm nối nhôm A5052	44
3.2.2.1. Chuẩn bị thiết bị, vật tư cho thí nghiệm.....	44
3.2.2.2. Hàn thực nghiệm để xác định thông số hàn	45
3.2.2.3. Hàn thực nghiệm đánh giá chất lượng các loại đầu khuấy:	53
KẾT LUẬN CHƯƠNG 3.....	55
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO	57
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	59

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan các kết quả trình bày trong luận văn là hoàn toàn do tôi nghiên cứu và thực hiện dưới sự hướng dẫn của tập thể cán bộ hướng dẫn, không có sự sao chép kết quả của người khác. Ngoài các số liệu, bảng biểu, đồ thịđã được trích dẫn trong các tài liệu tham khảo, các kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được công bố trong các công trình nào khác.

Tôi xin chịu trách nhiệm về lời cam đoan của mình.

Nam Định, ngày tháng năm 2021

Người cam đoan

Vũ Trọng Nghĩa

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

LỜI CẢM ƠN

Em xin chân thành cảm ơn sự hướng dẫn và giúp đỡ nhiệt tình của thầy TS. Nguyễn Thanh Tú và thầy TS. Vũ Văn Ba, Các Thầy cô trong Khoa Cơ khí, trường Đại học SPKT Nam Định; Các bạn đồng nghiệp tại trường Cao đẳng Cơ điện xây dựng Việt Xô đã giúp đỡ em trong quá trình thực hiện đề tài luận văn: **“Nghiên cứu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy để hàn giáp mối hợp kim nhôm A5052”**. Tác giả cũng xin trân trọng cảm ơn tất cả ban lãnh đạo Trường Đại học SPKT Nam Định và Trường Cao đẳng Cơ Điện Xây dựng Việt Xô đã tạo điều kiện cơ sở vật chất để tác giả thực hiện các thí nghiệm nhằm hoàn thành luận văn này.

Do kinh nghiệm của bản thân còn hạn chế nên luận văn không tránh khỏi thiếu sót. Tôi rất mong nhận được ý kiến nhận xét, góp ý của quý thầy cô và bạn bè đồng nghiệp để luận văn của tôi được hoàn thiện hơn./.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

Nam Định, ngày tháng năm 2021

Học viên

Vũ Trọng Nghĩa

DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

STT	Ký hiệu/ viết tắt	Ý nghĩa
1	MIG/MAG	Quá trình hàn hồ quang bằng điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ
2	TIG/GTAW	Quá trình hàn hồ quang bằng điện cực không nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ
3	FSW	Quá trình hàn sát khuấy
4	AWS	Hiệp hội hàn Mỹ
5	SZ	Vùng khuấy
6	HAZ	Vùng ảnh hưởng nhiệt
7	TMAZ	Vùng ảnh hưởng cơ nhiệt
8	Q	Nhiệt ma sát
9	μ	Hệ số ma sát
10	N	Tốc độ quay của dụng cụ
11	F'	Lực dọc trục
12	K	Hệ số công cụ
13	F	Tốc độ hàn ma sát khuấy
14	Z	Chiều sâu khuấy
15	T	Thời gian dừng ban đầu
16	Q ₁	Nhiệt tạo ra bởi đầu khuấy
17	Q ₂	Nhiệt tạo ra bởi vai tì đầu khuấy
18	Moment	Mô men
19	V _{han}	Vận tốc hàn
20	v/ph	Vòng/phút
21	TWI	Học Viện hàn của Vương Quốc Anh
22	FSW Tool	Đầu hàn ma sát khuấy

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 2.1. Các khuyết tật thường gặp khi hàn FSW nhôm [3]	12
Bảng 3.1. Thành phần hóa học nhôm A5052 (%) [10]	35
Bảng 3.2. Tính chất lý nhiệt và cơ tính của hợp kim nhôm A5052 [10]	35
Bảng 3.3 Thành phần hóa học của thép SKD61 [1]	37
Bảng 3.4 Tính chất cơ học của thép SDK61 [1]	37
Bảng 3.5. Bảng thông số của các đầu khuấy	38
Bảng 3.6. Thông số máy tiện CNC HAAS ST2020	42
Bảng 3.7. Bảng thông số hàn ma sát khuấy của đầu khuấy số 1	46
Bảng 3.8. Kết quả thực nghiệm hàn ma sát khuấy của đầu khuấy số 1	46
Bảng 3.9. Số liệu thực nghiệm và kết quả thử kéo	50
Bảng 3.10. Kết quả thử kéo và số liệu tính toán	51
Bảng 3.11. Kết quả tỉ lệ S/N của từng yếu tố tại từng mức	51
Bảng 3.12. Kết quả lực kéo đứt lớn nhất của từng yếu tố tại từng mức	52
Bảng 3.13. Ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt chi tiết theo ANOVA	52

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 2.1. Nguyên lý hàn ma sát khuấy	7
Hình 2.2. Tàu nhôm lớn nhất thế giới của Nhật bản.....	8
Hình 2.3. Thùng nhiên liệu tên lửa chế tạo bằng FSW	9
Hình 2.4. Các loại tàu tại Nhật bản được chế tạo bằng FSW	9
Hình 2.5. Các vùng mối hàn ma sát khuấy	10
Hình 2.5. Ảnh hưởng của điều kiện trượt- dính đến quá trình sinh nhiệt.....	14
Hình 2.6. Sơ đồ các giai đoạn của quá trình hàn.....	15
Hình 2.7. Các vùng kim loại trong mô hình.....	16
Hình 2.8. Sự kết hợp giữa các dòng chảy	17
Hình 2.9. Sự xen kẽ của hai dòng chảy.....	18
Hình 2.10. Cấu tạo chung của dụng cụ hàn ma sát khuấy	19
Hình 2.11. Các dạng vòng xoắn cơ bản trên đầu ngoáy	20
Hình 2.12. Đầu ngoáy MX-Triflute	21
Hình 2.13. Cấu trúc vĩ mô của mối hàn chồng nối hợp kim nhôm 5083-0 dày 6mm, sử dụng đầu ngoáy Flared-Triflute™ với tốc độ hàn 4mm/giây	21
Hình 2.14. Các biến thể khác nhau của các loại đầu ngoáy Flared-Triflute™	22
Hình 2.15. Nguyên lý cơ bản của đầu ngoáy Skew-Stir™ ở các vị trí khác nhau.....	22
Hình 2.16. Nguyên lý cơ bản về kỹ thuật đảo chiều quay của đầu ngoáy Re-Stir™	23
Hình 2.17. Cấu trúc vĩ mô của mối hàn giáp mối khi hàn với đầu ngoáy Re-Stir™ với vận tốc hàn 4,2 mm/giây sử dụng 8 vòng quay cho mỗi khoảng thời gian.	23
Hình 2.18. Hàn hợp kim nhôm 6082 dày 40 mm bằng đầu ngoáy thép Molybden.....	25
Hình 2.19.. Một dạng thiết kế cơ bản đầu ngoáy thép molybdenum sau khi hàn hợp kim nhôm 6082 với độ dày 40 mm giống như trong hình mà đầu dụng cụ không bị mòn...	25
Hình 2.20. Biểu diễn các dạng hàn khác nhau sử dụng hai đầu ngoáy.....	26
Hình 2.21. Hàn với hai đầu hàn so le đảm bảo cho hai mối hàn giao nhau.....	26
Hình 2.22. Hàn hai đầu ngoáy đối nghịch từ hai phía liên kết hàn đối đầu.....	27

Hình 2.23. Biểu diễn cấu tạo của đầu hàn với hai đầu khuấy	27
Hình 2.24. Bề mặt của mối hàn hợp kim nhôm 6083-T6 hàn với hai đầu khuấy Tandem Twin-Stir™	28
Hình 2.25. Mặt cắt ngang của mối hàn hợp kim nhôm 6083-T6 hàn với hai đầu ngoáy Tandem Twin-Stir™	28
Hình.2.26. Lỗ khuyết lõm khi kết thúc quá trình hàn bằng phương pháp hàn hai đầu ngoáy (Tandem Twin-stir™)	29
Hình 2.27.. Sự ảnh hưởng của các thông số quá trình đến việc tạo ra nhiệt mối hàn....	30
Hình 2.28. Độ bền kéo (MPa) của nhôm 5059	31
Hình 2.29. Quy trình hàn chồng bằng phương pháp ma sát khuấy.....	32
Hình 2.30. Kéo dài phần bắt đầu và kết thúc mối hàn	32
Hình 3.1. Cấu tạo của một đầu khuấy đơn giản	38
Hình 3.2. Hình ảnh thiết kế các loại đầu khuấy	39
Hình 3.3. Các kích thước cơ bản của đầu khuấy số 1	39
Hình 3.4. Các kích thước cơ bản của đầu khuấy số 2	40
Hình 3.5. Các kích thước cơ bản đầu khuấy số 3.....	40
Hình 3.6. Hình ảnh đầu khuấy dùng trong thực nghiệm.....	41
Hình 3.7. Máy tiện CNC HAAS ST20 có trục C.....	41
Hình 3.8. Phôi dùng trong thực nghiệm.....	44
Hình 3.9. Máy phay dùng để hàn thực nghiệm	44
Hình 3.10. Đồ gá dùng trong thực nghiệm.....	45
Hình 3.11. Kích thước mẫu thử kéo	48
Hình 3.12. Mẫu thử kéo	49
Hình 3.13. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 2 ở lần hàn thứ 1	53
Hình 3.14. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 2 ở lần hàn thứ 2.....	54
Hình 3.15. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 3 ở lần hàn thứ 1	54
Hình 3.16. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 3 ở lần hàn thứ 2.....	55

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Ngày nay với sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật, công nghệ hàn được phát triển mạnh với sự ra đời của hàng loạt các phương pháp hàn khác nhau. Tuy nhiên vấn đề con người quan tâm là công nghệ phát triển phải gắn liền với các vấn đề như năng lượng, môi trường, vật liệu ... và tiến tới hoàn thiện về nhiều mặt. Do đó tất cả các ngành cần nghiên cứu đổi mới công nghệ nhằm hạn chế tối đa mức năng lượng tiêu thụ, lượng khí thải khi sản xuất, vật liệu bền, nhẹ, đảm bảo tính công nghệ, phạm vi sử dụng ngày càng rộng hơn.

Một số các quá trình hàn nóng chảy thông dụng như TIG, MIG/MAG, hàn tự động dưới lớp thuốc ... chỉ phần nào đáp ứng được các yêu cầu trên. Hàn ma sát khuấy – Friction Stir Welding (FSW) là một lĩnh vực rất mới đang dần có những bước tiến trong thập kỷ qua, là một công nghệ hàn thân thiện với môi trường, hiệu quả năng lượng do không có quá trình nóng chảy không tạo khí độc khi hàn, không phát tia hồ quang và năng lượng bức xạ. Ngoài ra, FSW khắc phục được rất nhiều khó khăn mà những biện pháp hàn truyền thống mắc phải, không cần dùng kim loại phụ để điền đầy mối hàn, hầu như không biến dạng và không có nứt kết tinh.

Nhôm và hợp kim của nó là một trong những vật liệu khó hàn khi hàn nóng chảy, tuy nhiên nó có khả năng thích nghi tốt khi hàn FSW. Xét về mặt ưu điểm nó là vật liệu nhẹ nên ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp hàng không, vận tải, đóng tàu và các thiết bị quân sự và dân dụng.

Cho đến nay, ở trong nước việc nghiên cứu chưa được cập nhật đầy đủ các thông tin về công nghệ hàn FSW; cũng như có ít đề tài nghiên cứu ứng dụng công nghệ hàn FSW vào quá trình sản xuất thực tế, mới chỉ dừng ở nghiên cứu thử nghiệm trong phòng thí nghiệm. Trên cơ sở đó, đề tài nghiên cứu này sẽ tập trung phân tích, nghiên cứu và hệ thống hóa các kiến thức công nghệ hàn FSW và chế tạo đầu hàn FSW ứng dụng trong hàn nhôm A5052 nhằm làm sáng tỏ kiến thức lý thuyết và các kiến thức thực nghiệm về công nghệ hàn FSW trong phạm vi đề tài nghiên cứu này; các kết quả đạt được sẽ làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo để ứng dụng công nghệ hàn này vào sản xuất.

Tên của đề tài: “Nghiên cứu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy để hàn giáp mối hợp kim nhôm A5052”.

2. Mục đích nghiên cứu

- Nghiên cứu công nghệ, thiết bị, vật liệu hàn ma sát khuấy thông số công nghệ của quá trình hàn khi hàn hợp kim nhôm;
- Nghiên cứu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy để hàn giáp mối hợp kim nhôm A5052;
- Hàn thí nghiệm để đánh giá chất lượng đầu hàn và chất lượng mối hàn ma sát khuấy hợp kim nhôm A5052;
- Xây dựng bộ thông số công nghệ hàn ma sát khuấy khi hàn hợp kim nhôm.

3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

Đối tượng: Công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm và hợp kim nhôm; đặc điểm công nghệ đầu hàn ma sát khuấy;

Phạm vi nghiên cứu:

- Nghiên cứu cơ sở lý thiết về công nghệ, thiết bị, vật liệu hàn ma sát khuấy khi hàn hợp kim nhôm;
- Nghiên cứu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy để hàn giáp mối hợp kim nhôm A5052;

4. Các phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết:

Tìm hiểu về các công trình đã được công bố, tổng hợp và phân tích các tài liệu trước đó về phương pháp này, từ đó nắm vững được quá trình hàn.

Đọc tài liệu về các vấn đề liên quan đến hàn ma sát khuấy, nhiệt hàn ma sát, đặc tính vật liệu nhôm...

Nghiên cứu thực nghiệm:

Sử dụng máy CNC để gia công đầu hàn ma sát khuấy,

Hàn thử nghiệm hàn nhôm A5052 trên máy phay vạn năng 6P82 - 7,5 KW

Đánh giá chất lượng liên kết hàn

Tổng hợp kết quả, đánh giá chất lượng đầu khuấy, xác định được bộ thông số công nghệ hàn hợp lý nhất khi hàn giáp mối hợp kim nhôm A5052 có chiều dày 5 mm đảm bảo chất lượng mối hàn

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ HÀN MA SÁT KHUẤY

1.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Hàn ma sát khuấy được phát minh và thực nghiệm bởi John Wayne và các đồng sự vào năm 1991 bởi học Viện hàn của Vương Quốc Anh(The Welding Institute TWI)

Kể từ khi TWI phát minh ra vào năm 1991, hàn ma sát khuấy (Friction Stir Welding - FSW) đã trở thành một lĩnh vực đóng góp lớn cho ngành hàng không, đường sắt và đóng tàu đặc biệt là trong việc chế tạo các kết cấu hợp kim nhôm. Quá trình sử dụng một đầu khuấy ít bị ăn mòn để tạo ra sức nóng ma sát trong phôi.

Trên thế giới, có thể kể đến một số nghiên cứu điển hình sau [2]:

Năm 1998, Russell và Shercliff cũng đã dùng mô hình phân tích dựa trên phương trình tạo nhiệt của mình để dự đoán và xấp xỉ nhiệt độ tính toán. Dòng nhiệt qua dụng cụ được xác định là khoảng 17% tổng năng lượng hàn.

Năm 2003, khi nghiên cứu mô hình số, Schmidt và Hayyel đã tính toán năng lượng sinh công vào dụng cụ bởi việc giảm lượng nhiệt vào dụng cụ và việc giảm lượng nhiệt vào phôi và khẳng định rằng 25% năng lượng cơ học cần thiết bởi tốc độ quay của trục chính sẽ đi vào dụng cụ, còn lại 75% tập trung vào phôi tại các mối hàn. Cùng với nghiên cứu trên hai ông cũng đã sử dụng mô hình số từ nguồn nhiệt do ma sát và nguồn nhiệt do biến dạng dẻo để tính nguồn nhiệt vào, trong đó 10% năng lượng sẽ đi vào dụng cụ, phần lớn lượng nhiệt vào vai dụng cụ sẽ tương ứng với kích thước đường kính vai. Ngoài ra, Shi cũng đã tính toán nguồn nhiệt vào dụng cụ là khoảng 8% tổng năng lượng cơ học trong mô hình số của mình nhưng sau đó ông đã điều chỉnh cho đến khi tương đương với kết quả thực nghiệm.

Một nghiên cứu khác của Langerman và Kvalvik đã dùng nguồn nhiệt hai chiều để xác định dòng vật liệu xung quanh đầu khuấy và dự đoán sự phân bố ứng suất dư trong phôi sau khi hàn. Nguồn nhiệt sinh ra trong khi hàn có quan hệ tuyến tính với đường kính vai của dụng cụ.

Song và Kovacevic đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của tốc độ dụng cụ đến moment xoắn khi hàn bằng cách thực nghiệm thay đổi với nhiều tốc độ quay và tốc độ ăn dao của dụng cụ. Tang đã thay đổi tốc độ dụng cụ và chiều sâu dụng cụ khi

tăng tốc độ xoay dụng cụ thì tăng nhiệt vào. Tất cả nghiên cứu trên nhằm nêu lên sự thay đổi nhiệt độ vùng hàn và thông số hàn nhưng không dự đoán chất lượng đường hàn.

Midling và Rorvik đã tính toán lượng nhiệt và dựa vào chiều rộng HAZ. Họ đã thay đổi số vòng quay dụng cụ, tốc độ ăn dao, lực tác dụng vào dụng cụ và chứng minh lượng nhiệt vào (Heat input) giảm khi chiều sâu và số vòng quay của dụng cụ giảm, lượng gia nhiệt tăng khi giảm tốc độ hàn (V_h). Một số tác giả đã kết hợp việc đo nhiệt độ (bằng Thermocouples-TC) vùng hàn và vùng HAZ. Gould và Feng quan sát khi thay đổi hai thông số hàn. Frigaard quan sát ở ba tốc độ đi xuống của dụng cụ. Song nghiên cứu với ba tốc độ quay dụng cụ. Cả ba tác giả trên đã cho thấy một mối liên hệ mật thiết giữa nhiệt độ lớn nhất và chiều rộng vùng HAZ.

Linder đã chứng minh những hạn chế của phương pháp đo nhiệt bằng Thermocouples. Trước hết là độ chênh lệch nhiệt độ trong FSW là thường rất phức tạp, vật liệu biến dạng dẻo rất lớn nên kết quả đo khó chính xác và việc xác định vùng HAZ cần rất nhiều thời gian và công sức (mẫu thử nghiệm phải đánh bóng và đánh dấu kỹ lưỡng để tiện cho việc đo đạc)

Zahedul và KhandKar đã tính toán moment xoắn của quá trình hàn, kết quả là nó không đổi với mọi thông số. Ngoài ra Schmidt và Leinart đã đo moment xoắn từ thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán, họ cũng khẳng định rằng moment xoắn không thay đổi với mọi thông số hàn.

Một số tác giả đã chứng minh rằng năng lượng hàn là một hàm của các thông số hàn. Colegrove đã trình bày năng lượng hàn của mình có liên quan đến tốc độ hàn nhưng bỏ qua tốc độ quay dụng cụ. Ngược lại, tốc độ quay dụng cụ đã được chứng minh là có ảnh hưởng đáng kể đến lượng nhiệt vào bởi một số thực nghiệm có giá trị.

Một phương pháp xác định lượng nhiệt vào nữa là bằng cách giảm số lượng những thông số và đã kết hợp tốc độ dụng cụ với tốc độ đi xuống với tên gọi là bước hàn (xác định bước tiến trên mỗi vòng quay dụng cụ). Họ chỉ nghiên cứu sơ bộ mối liên hệ giữa năng lượng hàn với bước hàn. Reynolds và Tang đã kiểm tra sự ảnh hưởng của bước hàn đến năng lượng hàn một cách rõ ràng hơn và cho thấy rằng

bước hàn không thể là một thông số để xác định năng lượng hàn một cách chính xác. Họ đã giữ tốc độ ăn dao và chiều sâu đầu khuấy không đổi trong khi đó thay đổi tốc độ quay dụng cụ để xác định lực hàn và cả lượng nhiệt vào.

1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Công nghệ hàn ma sát khuấy ở Việt Nam vẫn còn đang mới, đặc biệt tại các trung tâm nghiên cứu cũng như các trường đại học, cao đẳng, phương pháp này mới chỉ dừng lại ở mức độ giới thiệu khái niệm. Mặc dù đã có một số các nghiên cứu nhỏ, chủ yếu dưới dạng các bài báo nhưng chưa được biết đến rộng rãi. Đặc biệt, tại Việt Nam hầu như chưa có một cơ sở nào đưa phương pháp hàn này vào sản xuất.

Trong đó có một số nghiên cứu điển hình về hàn ma sát khuấy như sau:

Tạp chí khoa học và công nghệ thủy sản của tác giả Dương Đình Hào, Trần Hưng Trà, tại trường Đại học Nha Trang nghiên cứu về sự ảnh hưởng của thông số hàn đến sự phân bố nhiệt độ và cấu trúc mối hàn ma sát khuấy tấm hợp kim nhôm AA 7075 [5]. Bài báo đã khẳng định sự ảnh hưởng của tỉ số $\omega/v = 4-10$ vòng/mm thì mối hàn đạt chất lượng mà mối hàn đạt biến dạng dẻo cao nhất lần lượt là 76% và 68% so với vật liệu nền. Trong tất cả các chế độ cho thấy, tất cả các mẫu thử kéo đều có vị trí phá hủy nằm ngoài vùng mối hàn, nơi có độ cứng thấp nhất. Và khi tỉ số ω/v tăng thì giới hạn bền kéo cũng tăng theo, tuy nhiên độ biến dạng giảm xuống.

Báo cáo tại Hội nghị Khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí - động lực 2016, các tác giả Đỗ Thanh Tùng, Nguyễn Thúc Hà, Lê Đăng Thắng, Trần Văn Châu Đại học bách khoa Hà Nội [4] đã nghiên cứu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy đối với hợp kim nhôm. Vật liệu đầu khuấy được lựa chọn là thép C45, tôi cải thiện và tôi cao tần đạt độ cứng cần thiết và ứng dụng vào hàn ma sát khuấy nhôm A5052 dày 6mm. Nhưng đối với đầu hàn là thép C45 sau tôi để hàn khuấy hợp kim nhôm A5052 xảy ra hiện tượng mòn đầu hàn khi hàn với đường hàn dài và liên tục, do thép C45 sau tôi chỉ chịu được độ bền mòn ở giới hạn nhất định, khi nhiệt độ tăng lên khi hàn khuấy do ma sát làm cho độ bền mòn của đầu khuấy thép C45 tôi giảm nhanh.

Nhóm nghiên cứu Mai Đăng Tuấn, Lê Bảo Phụng, TS. Lưu Phương Minh, TS. Trần Thiên Phúc trường ĐHBK TPHCM tại hội nghị khoa học công nghệ năm 2012 đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố đến chất lượng mối hàn ma sát khuấy trên tấm nhôm phẳng. Bài báo đã trình bày một phương pháp lựa chọn chế độ công nghệ cho hàn ma sát khuấy mối hàn giáp mối trên nền vật liệu hợp kim nhôm 1050.

Hay gần đề tài nghiên cứu Luận văn thạc sỹ của Vũ Thị Thanh Ga nghiên cứu về công nghệ hàn ma sát khuấy trên nhôm A1100.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 1

Trên cơ sở tìm hiểu tổng quan về nghiên cứu công nghệ hàn ma sát khuấy trong và ngoài nước tác giả nhận thấy các nghiên cứu đó tập trung chủ yếu vào các thông số của quy trình hàn nhôm và hợp kim nhôm, đồng thời cũng tìm ra và nghiên cứu ban đầu về một số loại đầu khuấy sử dụng thép C45 sau tôi. Từ đó, tác giả đã xác định được hướng nghiên cứu và mục tiêu của đề tài của luận văn, tập trung nghiên cứu chế tạo đầu khuấy và hàn giáp mối hợp kim nhôm để tìm ra các thông số phù hợp của đầu hàn và chế độ hàn đối với vật liệu nhôm hợp kim A5052.

Chương 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VỀ CÔNG NGHỆ HÀN MA SÁT KHUẤY

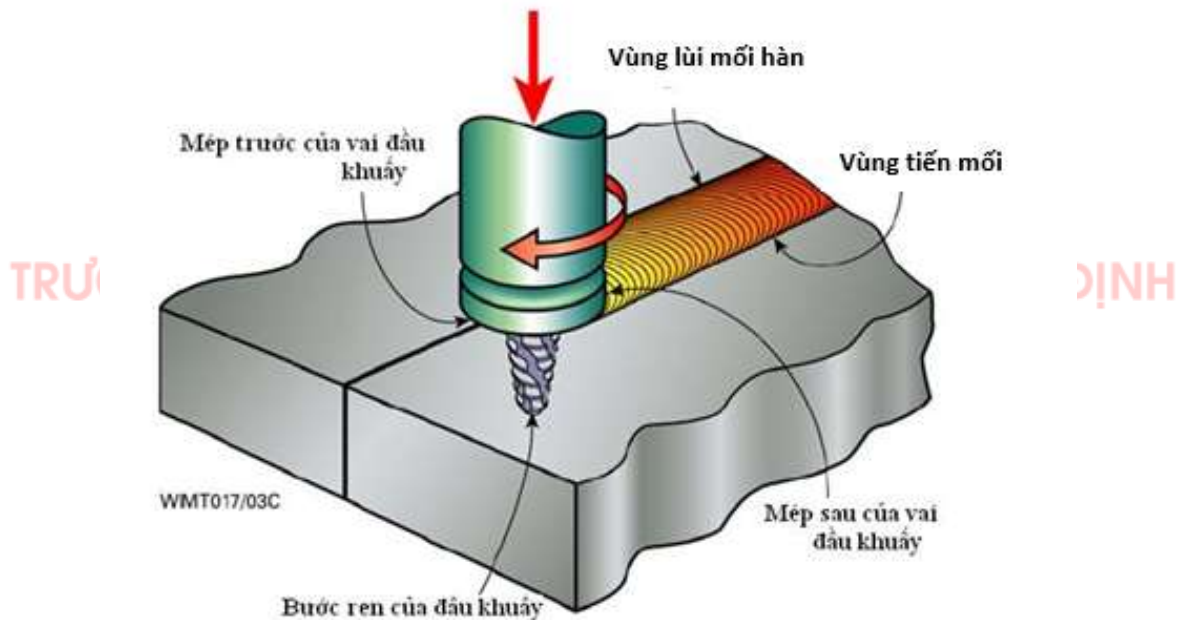
2.1. Tổng quan về công nghệ hàn ma sát khuấy

2.1.1. Khái niệm

Hàn ma sát khuấy là quá trình sử dụng đầu khuấy quay ở tốc độ nhất định, tạo ra nhiệt ma sát trong phôi. Bằng cách tác động của đầu khuấy trên một đường định trước trên phôi hàn, kim loại cơ bản nóng lên làm chúng chảy dẻo, khuếch tán vào nhau tạo ra đường hàn sau khi đầu khuấy đi qua. [1]

2.1.2. Nguyên lý

Hệ thống hàn ma sát khuấy được thể hiện trên hình 1.1 [1]



Hình 2.1. Nguyên lý hàn ma sát khuấy

Bằng cách giữ cho đầu hàn xoay và di chuyển dọc theo đường hàn để thực hiện quá trình hàn, vật liệu mềm ra khuấy trộn với nhau tạo thành một mối hàn mà không nóng chảy. Những mối hàn này yêu cầu năng lượng đầu vào thấp, không cần sử dụng vật liệu phụ và hầu như không biến dạng.

Phương pháp này ban đầu được ứng dụng cho vật liệu kim loại màu như nhôm, bằng cách sử dụng vật liệu đầu hàn thích hợp, sau đó đã được mở rộng đến các vật liệu có nhiệt độ nóng chảy cao hơn như thép, hợp kim titan và đồng. Từ

quan niệm của mình vào năm 1991, TWI đã có đáng kể những tiến bộ trong công nghệ hàn như việc tìm ra vật liệu chế tạo đầu khuấy và chế tạo các loại đầu khuấy có hình dáng phức tạp, hiệu quả hơn phù hợp với các kim loại được hàn, đồng thời quá trình hàn cũng được dần tự động hóa và kiểm soát tốt hơn nhờ công nghệ số phát triển.

2.1.3. Khả năng ứng dụng

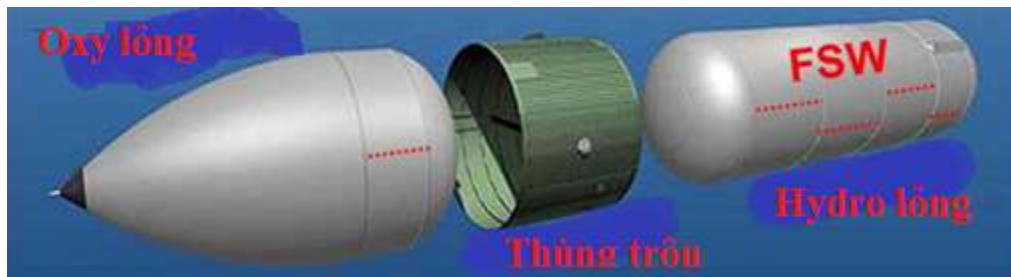
Lĩnh vực hàng hải: Người ta tin rằng việc áp dụng thương mại đầu tiên của FSW là sự kết hợp của ép đùn hợp kim 6xxx để sử dụng trong các nhà máy chế tạo khoang đóng băng cá cho tàu cá. Đã có rất nhiều ứng dụng của quá trình gia công nhôm đúc 6xxx để kết hợp trong vách ngăn và sàn tàu trong các loại tàu nhôm tốc độ cao khác nhau và trong các tàu du lịch bằng thép lớn hiện nay thường có cấu trúc siêu nhẹ. Trong các ứng dụng như vậy, các tấm dùm hàn FSW rất phẳng do sự biến dạng thấp, chúng được cắt và hàn thành các tấm lớn hơn, mà trước đây thường là do hàn MIG. Máy khuấy bằng ma sát đã được sử dụng rộng rãi trong các thân nhôm của các tàu du lịch như 'Seven Seas Navigator' có chứa nhiều mối hàn ma sát khuấy, chủ yếu là các lớp ép đùn 6xxx. Tàu nhôm lớn nhất thế giới, phà 'Ogasawara' của Nhật đã ra mắt vào năm 2004, sử dụng rộng rãi FSW trong cấu trúc thượng tầng.



Hình 2.2. Tàu nhôm lớn nhất thế giới của Nhật bản

Lĩnh vực hàng không, vũ trụ: Boeing ở Mỹ là một trong số những công ty đầu tiên chế tạo thùng nhiên liệu tên lửa được sử dụng trong không gian của mình

bằng FSW (hình 2.3). Bằng cách thay đổi từ phương pháp hàn TIG thông thường sang hàn FSW, công ty này đã giảm được 99% chi phí hàn – một điều đáng kinh ngạc. Rõ ràng, quá trình này có khả năng tuyệt vời và do đó nó được phát triển nhanh chóng, cải thiện các công cụ và tìm kiếm các vật liệu mới trong các ứng dụng của nó.



Hình 2.3. Thùng nhiên liệu tên lửa chế tạo bằng FSW

Các nhà sản xuất (Boeing) cũng đã báo cáo hầu như không có khuyết tật hàn và hầu như tất cả các nhà sản xuất khung máy bay lớn đều đang điều tra việc sử dụng FSW (cùng với các quy trình hàn khác như hàn laser) để thay thế cho nhiều đỉnh tán trong cấu trúc hiện tại. Máy bay đầu tiên sử dụng rộng rãi FSW trong khung máy bay, máy bay phản lực kinh doanh Eclipse 500, hơn 7300 ốc vít (khoảng 60% tổng số) được thay thế bởi 263 mối hàn ma sát khuấy.

Lĩnh vực đường sắt:

Các loại xe lửa bằng nhôm tốc độ cao như Shinkansen Nhật Bản thường được chế tạo từ sự ép đùn hai lớp phức hợp trong các hợp kim 6xxx. Vì mỗi hàn này dài có thể lên đến 25m và thẳng, FSW là một quá trình lý tưởng, và biến dạng rất thấp được coi là một lợi ích lớn (hình 2.4)



Hình 2.4. Các loại tàu tại Nhật Bản được chế tạo bằng FSW

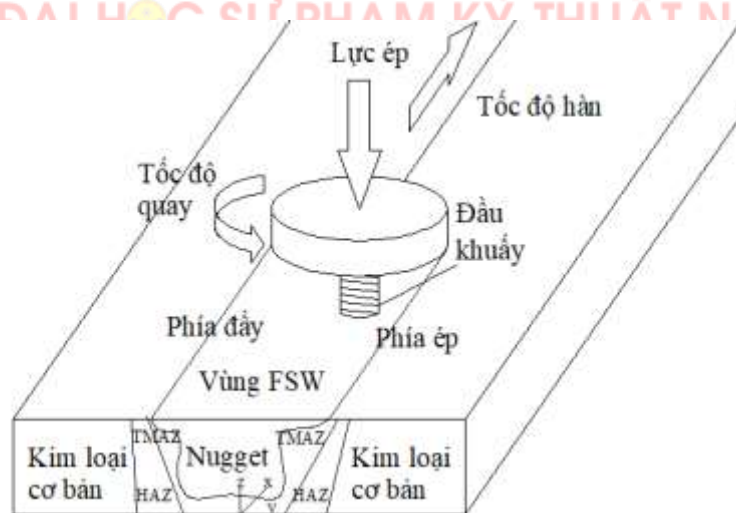
Lĩnh vực sản xuất ô tô: Có rất ít các mối hàn thẳng - dài trong xe ô tô, do đó việc áp dụng FSW chủ yếu dành cho các bộ phận như bộ phận treo, bánh xe, linh kiện chỗ ngồi, hộp giảm tốc ... ở đó một số công ty hàng đầu đã sử dụng quá trình sản xuất. Nhu cầu của ngành ô tô đã thúc đẩy sự phát triển của robot tự hành, để đối phó với những hình dạng phức, ví dụ trên chiếc xe thể thao Mazda Rx-8, nơi nó được sử dụng trên nắp đậy bằng nhôm và cửa sau. Hàn ma sát khuấy cũng đang được phát triển cho các xe bọc thép nhẹ với vật liệu có độ dày khoảng 25-40mm.

2.2. Công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm và hợp kim nhôm

2.2.1. Đặc điểm công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm

Lớp oxit ban đầu trên các bề mặt tấm trong quá trình hàn ma sát (FSW) chỉ như một mô hình dây chằng yếu trên mặt cắt ngang trong khi với các phương pháp hàn nóng chảy, nó là vật cản rất lớn. Khi các lớp oxit còn sót lại thường ảnh hưởng bất lợi đến các tính chất cơ học trong mối hàn.

Mối Hàn FSW thường bao gồm bốn vùng, khác với mối hàn "thông thường" chỉ gồm ba vùng (hình 2.5)



Hình 2.5. Các vùng mối hàn ma sát khuấy

Các vùng khác nhau như trong hình 2.5. a) Kim loại cơ bản không bị ảnh hưởng nhiệt; b) Vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ); c) Vùng ảnh hưởng cơ nhiệt (TMAZ) và (d) vùng khuấy bằng ma sát (FSP). Sự hình thành các vùng này bị ảnh hưởng bởi sự chuyển động của dòng chảy vật liệu dưới tác động của công cụ không

tiêu hao. Các chuyển động dòng chảy chịu ảnh hưởng lớn bởi các thông số hình học của công cụ FSW và các thông số quá trình hàn [8,10].

Vùng trung tâm mối hàn (nugget - SZ): Vùng này kim loại kết tinh lại hoàn toàn, đôi khi còn gọi là vùng khuấy để chỉ vùng mà trước đó dụng cụ đã chiếm lĩnh, có cấu trúc dạng hạt mịn, đẳng hướng do sự biến dạng dẻo mãnh liệt và nhiệt sinh ra do quá trình ma sát giữa vai dụng cụ và bề mặt phôi [2]

Vùng ảnh hưởng cơ nhiệt (TMAZ): Vùng này đã có sự biến dạng dẻo vật liệu mà chưa có sự kết tinh lại, nhiệt độ trong quá trình hàn cũng có ảnh hưởng đến vật liệu, ở đây có ranh giới rõ rệt giữa vùng kết tinh lại và vùng biến dạng [2]

Vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ): Nằm gần trung tâm mối hàn, vật liệu đã trải qua chu trình nhiệt nên bị thay đổi cấu trúc mạng tinh thể và đặc tính cơ học đặc biệt là độ cứng, tuy nhiên trong vùng này chưa có sự biến dạng dẻo xảy ra [2]

Vùng kim loại cơ bản (Base metal): Là vùng nằm xa tâm mối hàn nhất, tại vùng này có nhiệt độ thấp nên kim loại chưa có sự thay đổi cấu trúc mạng tinh thể và cũng không có biến dạng dẻo xảy ra.

* **Ưu nhược, điểm khi hàn FSW nhôm [3]**

- **Ưu điểm:**

+ Là một quá trình hàn ở trạng thái rắn nên nó được áp dụng cho tất cả các hợp kim nhôm mà lại tránh được các vấn đề nứt nóng, rỗ khí, mất mát phần tử, vv phổ biến cho quá trình hàn nhiệt nhôm;

+ Quá trình hàn như một quá trình cơ học, ít có sự can thiệp thủ công nên nó ít phụ thuộc vào tay nghề của người thợ hàn;

+ Không cần sử dụng khí bảo vệ và kim loại phụ;

+ Giảm thiểu sự co ngót kim loại so với hàn nóng chảy khi đông đặc và làm nguội, do đó giảm đáng kể biến dạng khi hàn;

+ Linh hoạt trong việc có thể hàn nối cùng lúc với một, hai, ba chi tiết và có thể hàn ở mọi vị trí khác nhau;

+ Đặc tính cơ học tuyệt vời khi so sánh với các phương pháp hàn khác;

+ Thân thiện với môi trường: không có tia UV hoặc các mối nguy hại về bức xạ điện từ khi không có hồ quang; quy trình này không gây tiếng ồn hơn máy phay

có công suất tương tự, và không tạo ra khói và các chất ô nhiễm khác;

+ Năng lượng yêu cầu tại mỗi hàn cho FSW nằm trong khoảng hàn laser (đòi hỏi ít năng lượng hơn) và hàn kim loại trong môi trường khí trơ (MIG);

+ Tốc độ hàn cao: Trong các mối hàn đơn lẻ với vật liệu mỏng hơn (độ dày 0 đến ≤ 5 mm), FSW có tốc độ hàn lớn hơn các phương pháp hàn nhiệt khác; Trong vật liệu dày hơn, FSW có thể được thực hiện trong một lần hàn (ví dụ đầu khuấy 50 mm), trong khi các quy trình khác cần nhiều lần mới có thể hàn xong. Điều này dẫn đến FSW có tỷ lệ hoàn thành mỗi ghép cao hơn, mặc dù tốc độ hàn có thể thấp hơn.

- Nhược điểm:




Ngoài những ưu điểm vượt trội kể trên, FSW cũng có một số tồn tại sau:

+ Do quá trình hàn được cơ giới hóa nên hạn chế ứng dụng trong những trường hợp mối hàn nhỏ lẻ khác;

+ Tồn lại một vết lõm cuối đường hàn;

+ Khó ngăn chặn một phần vật liệu theo dòng xoáy thoát lên trên bề mặt.

Bảng 2.1. Các khuyết tật thường gặp khi hàn FSW nhôm [3]

Kiểu khuyết tật	Vị trí	Nguyên nhân
1. Khoảng trống	Phía cạnh tiến 	Lực dọc trục yếu. Tốc độ hàn quá cao. Tấm không được kẹp đủ chặt hoặc khe hở quá rộng
2. Vết dài trong mối hàn	Dưới bề mặt đầu mối hàn 	Tốc độ hàn quá cao dẫn đến oxit trên bề mặt bị phá vỡ bởi đầu khuấy bị trộn lẫn vào theo dòng chảy vật liệu
3. Lỗ hổng ở đáy mối hàn	Dọc đáy mối hàn 	Đầu khuấy quá ngắn hoặc tính toán phần đầu khuấy ăn sâu vào vật liệu chưa đúng, giữ đầu khuấy yếu
4. Còn lại vết đường liên kết chung	Danh giới giữa các tấm	Chưa loại bỏ oxit từ mép tấm hoặc dụng cụ phá vỡ và loại bỏ oxit chưa triệt để

2.2.2. Các quá trình cơ nhiệt khi hàn FSW

Quá trình hàn ma sát khuấy đề cập đến các vấn đề cơ bản là quá trình sinh nhiệt làm mềm kim loại xung quanh đầu khuấy và cơ chế của dòng chảy kim loại.

2.2.2.1. Quá trình sinh nhiệt khi hàn

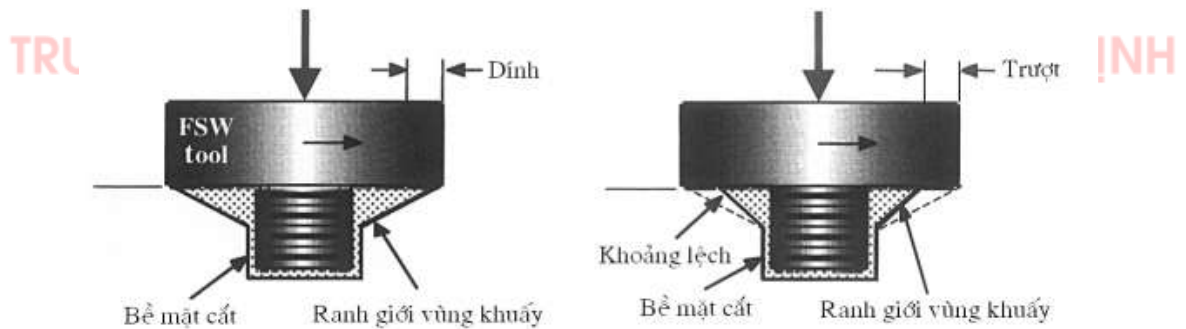
Quá trình nhiệt khi hàn là sự tăng nhiệt độ của vật hàn dưới ảnh hưởng của sự tạo nhiệt, sự truyền nhiệt vào vật hàn và sự thoát nhiệt vào môi trường xung quanh (và vào đe dưới). Sự thay đổi nhiệt độ xác định một loạt các quá trình xảy ra đồng thời trong kim loại vật hàn. Chuyển biến tổ chức tinh thể, thay đổi thể tích, biến dạng đàn - dẻo, ... Các quá trình này ảnh hưởng lớn đến chất lượng mối hàn và toàn bộ kết cấu nói chung.

Nguồn nhiệt hàn được tạo thành do sự kết hợp của quá trình ma sát giữa dụng cụ phôi và quá trình phân tán dẻo trong khi vật liệu bị biến dạng. Cơ chế tạo nhiệt bị ảnh hưởng bởi: các thông số hàn, tính dẫn nhiệt của vật liệu phôi, đầu khuấy và đe, đặc tính hình học của dụng cụ. Thông thường thì điều kiện hàn nóng là hàn với số vòng quay (rpm) cao và vận tốc hàn (Vh) thấp, ngược lại, hàn với tốc độ cao và rpm thấp thì được gọi là hàn lạnh. Trường nhiệt độ xung quanh đầu khuấy là không đối xứng, trong vùng lõi của mối hàn có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ vùng tiến. Điều này thể hiện khi thử phá hỏng do kéo vết nứt trên cạnh lõi trong vùng HAZ là xảy ra nhiều hơn. Để tránh hiện tượng quá nhiệt trong vùng tâm hàn thì hạn chế số vòng quay của dụng cụ dưới 15000v/ph.

Những nghiên cứu thực nghiệm gần đây đã cho thấy nguồn nhiệt sinh ra chủ yếu ở bề mặt vai và phôi. Điều khiển cơ chế tạo nhiệt là do ma sát và sự phân tán dẻo phụ thuộc vào điều kiện tiếp xúc giữa hai bề mặt. Đặc trưng hình học của dụng cụ (đầu khuấy, vai) sẽ ảnh hưởng đến hai bề mặt trượt, dính hoặc giữa hai dạng trên, nhiệt độ tạo ra giữa đầu khuấy và phôi là khá lớn và cũng nên đưa vào để xác định trường nhiệt. Cơ chế tạo nhiệt giữa đầu khuấy và phôi cũng do ma sát và phụ thuộc vào điều kiện trượt hoặc dính ở bề mặt tiếp xúc, lượng nhiệt từ sự biến dạng nhiệt quanh dụng cụ khoảng từ 2-20%, nhiệt độ tối đa khi hàn hợp kim nhôm là từ 514⁰C - 565⁰C.

Vùng gần sát với đầu khuấy là gần như đẳng nhiệt tối đa có thể ở tại ranh giới cắt của kim loại xung quanh đầu khuấy. Đối với các vật hàn dày thì nhiệt độ bị ảnh hưởng bởi chiều sâu của đầu khuấy, nhiệt độ cao nhất là tại bề mặt tiếp xúc giữa vai đầu khuấy và bề mặt vật hàn,...

Khi nhiệt độ vật liệu mối hàn tăng lên thì sẽ tiếp tục làm mềm kim loại, moment xoắn giảm và một lượng nhiệt được truyền đi bởi công cơ học. Điều này tạo thành một cơ chế nhiệt tương đối ổn định và tránh tối đa hiện tượng nóng chảy của kim loại mối hàn. Điều khiển nhiệt độ có thể thực hiện bằng cách thay đổi điều kiện ở bề mặt chung giữa đỉnh và trượt. Khi kim loại nguội dưới nhiệt độ tới hạn, khi đó ứng suất dòng biến dạng tăng lên trên giá trị ứng suất trượt. Nếu trượt xảy ra giữa dụng cụ và phôi, lượng nhiệt vào sẽ giảm và dẫn đến giảm nhiệt độ mối hàn. Thay đổi điều kiện biên ở bề mặt tiếp xúc có thể dẫn đến sự mất ổn định về nhiệt độ và có thể dao động qua lại giữa hai hiện tượng đỉnh và trượt. Hình 4.2 minh họa điều kiện biên ở vai dụng cụ sẽ ảnh hưởng đến dòng vật liệu tâm hàn.



Hình 2.5. Ảnh hưởng của điều kiện trượt-đỉnh đến quá trình sinh nhiệt

Có thể chia quá trình ma sát khuấy thành 5 giai đoạn sau:

Giai đoạn ban đầu (Plunge period): Trong giai đoạn này, dụng cụ xoay đến chạm vật liệu phôi tại mối ghép. Ban đầu hệ số ma sát cao (0,4-0,5), moment xoắn và lực đi xuống của dụng cụ cần đủ lớn để đầu khuấy xâm nhập vào phôi. Bằng thực nghiệm thông thường thời gian để đầu khuấy hoàn toàn tiến sâu vào phôi là từ 2s-5s, tùy thuộc vào chiều dày phôi, số vòng quay và lực tác dụng.

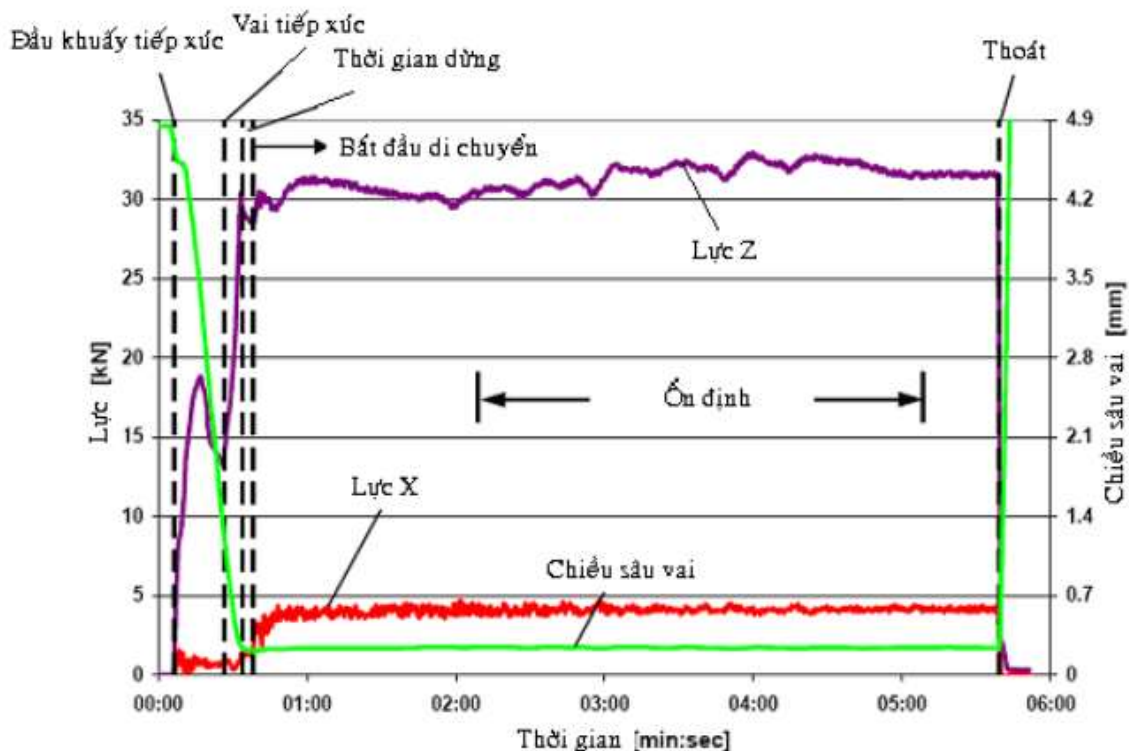
Giai đoạn quay tại chỗ (Dwell): Khi vai vừa tiếp xúc vào phôi, giai đoạn dừng bắt đầu, lực đi xuống giảm dần. Ban đầu lượng nhiệt tạo ra trong giai đoạn này là khá cao so với nhiệt độ tạo ra trong lúc dụng cụ di chuyển, khi vật liệu phôi

được làm mềm, hệ số ma sát giảm đến 0,35. Vật liệu dưới vai được nung nóng cùng với hiện tượng biến dạng dẻo trước khi hàn.

Giai đoạn nhiệt không ổn định (Transient Heating): Lực đi xuống tăng khi vai đến tiếp xúc với vật liệu mới. Hệ số ma sát giảm đến 0,3. Nhiệt bắt đầu hình thành xung quanh vai cho đến khi trạng thái bão hòa xảy ra.

Giai đoạn chuẩn ổn định (Pseudo Steady State): Lực đi xuống và moment xoắn ổn định, duy trì ở 0,3, không có thêm nhiệt hình thành xung quanh vai. Nhiệt độ gần như duy trì không đổi.

Giai đoạn sau ổn định (Post Steady State): Gần cuối đường hàn nhiệt độ có thể phản hồi từ cuối tấm dẫn đến tăng thêm nhiệt xung quanh vai dụng cụ. Để đạt được quá trình xử lý tốt, vật liệu hàn phải được nung nóng trước cùng với quá trình biến dạng dẻo trong khi thực hiện. Điều này có thể đạt được bằng cách tăng số vòng quay n hoặc tăng bán kính vai R_s . Khi V_h tăng, nhiệt độ trước dụng cụ giảm, điều này xảy ra là do không đủ thời gian để phân phối nhiệt.



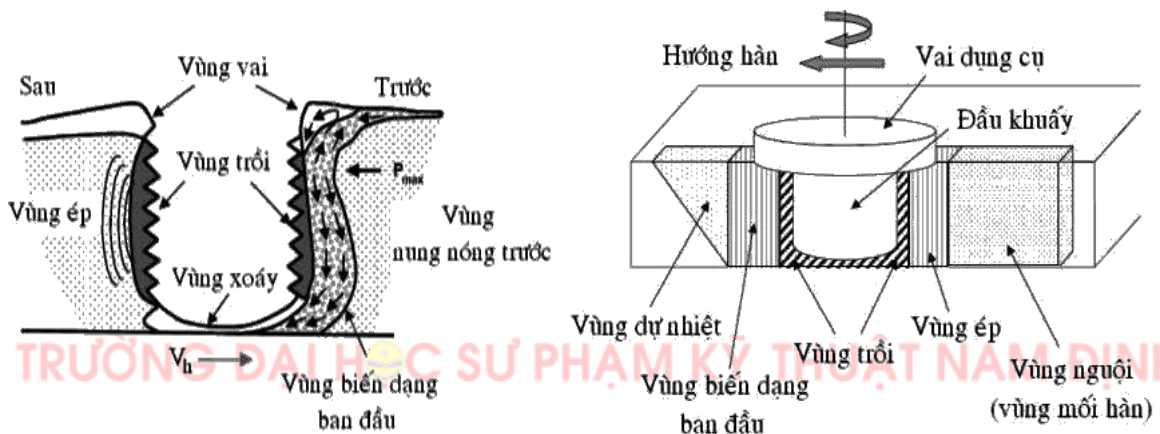
Hình 2.6. Sơ đồ các giai đoạn của quá trình hàn

Ngoài ra, theo Schmidt, tỉ số của sự tạo nhiệt từ đầu khuấy và sự tạo nhiệt bởi vai là bằng 0,128.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = 0,128(2.4)$$

2.2.2.2. Dòng chảy vật liệu khi hàn

Dòng chảy vật liệu theo 3 chiều không hề đơn giản không chỉ vì sự phức tạp về mặt hình học mà còn bởi tác động qua lại trong phản ứng dòng chảy với các điều kiện bề mặt và nhiệt độ. Một tính năng khác của dòng chảy mà là sự hình thành một khoảng trống ổn định ngay phía sau công cụ. Một ví dụ ban đầu của kỹ thuật này được thể hiện trong Hình sau:



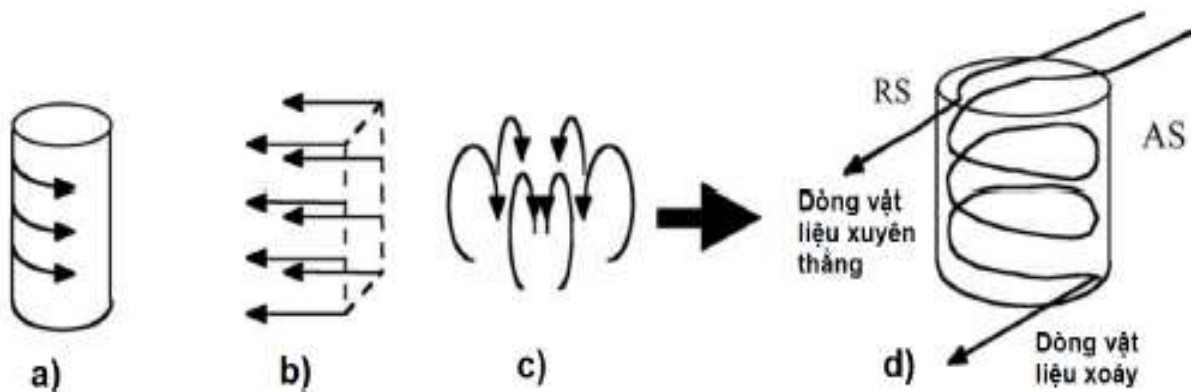
Hình 2.7. Các vùng kim loại trong mô hình

Kim loại bề mặt đã dày và còn nguyên vẹn, trong khi ở phía dưới nó không đầy đủ. Các điều kiện dẫn đến sự hình thành của khoảng trống này, và liệu nó có bất kỳ liên quan nào trong việc tạo ra một khớp trống tự do, vẫn là những câu hỏi nghiên cứu mở.

Khi đầu khuấy đi xuống và cắt vật liệu, phần vật liệu bị cắt sẽ xoay theo chiều quay của dụng cụ. Sau đó tạo thành vòng xoáy vật liệu xếp chồng nhau bao quanh đầu khuấy và được tạo bởi bước răng của đầu khuấy. Hai dòng chảy này được giới hạn bởi vùng cắt và chuyển động đều xuống dưới vùng hàn. Phần vật liệu không bị cuốn vào vòng xoáy sẽ quay quanh dụng cụ theo dòng chảy xuyên thẳng, còn những phần vật liệu bị cuốn theo vòng xoáy sẽ trải qua sự biến dạng cơ nhiệt rất cao bởi vì chúng có thể quay quanh nhiều vòng quanh đầu khuấy. Sự thay đổi hướng ren (hoặc cấu hình đầu khuấy) sẽ dẫn đến sự thay đổi hướng lên hoặc hướng xuống của vật liệu.

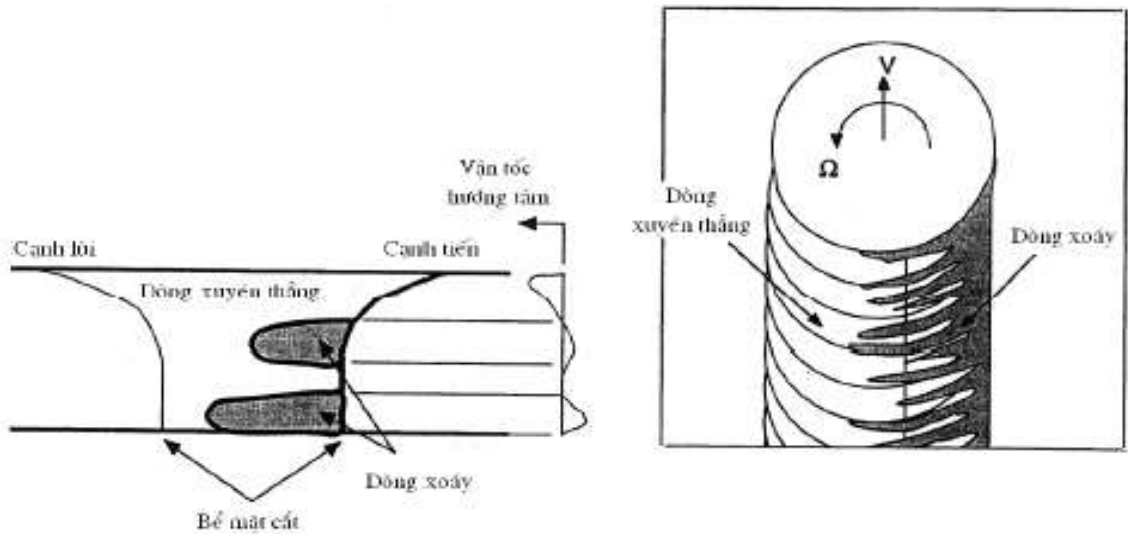
Vật liệu trong cạnh lùi của mỗi hàn di chuyển từ phía trước đầu khuấy ra phía sau đầu khuấy rồi dừng lại là do tác dụng của dòng chảy xuyên thẳng của vật liệu. Phần vật liệu trong cạnh tiến của mỗi hàn sau một thời gian quay quanh đầu khuấy bị kẹt lại bởi dòng chảy ly tâm của phần vật liệu ở dưới vai dụng cụ. Dòng chảy ly tâm của vật liệu là một phần của dòng xoáy vật liệu lưu thông gây ra bởi ren của đầu khuấy. Sự lưu thông của dòng xoáy sẽ chuyển vật liệu bị kẹt lại xuống dưới đầu khuấy. Sự xoáy của dòng vật liệu quay quanh đầu khuấy và dòng vật liệu hướng xuống đầu khuấy càng thể hiện rõ hơn khi đầu khuấy di chuyển đi tới (ra khỏi vùng khuấy).

Sự thay đổi hướng ren sẽ làm thay đổi hướng dòng chảy vật liệu trong vùng xoáy từ sự di chuyển lên hoặc di chuyển xuống dọc đầu khuấy. Hai dòng chảy trên sẽ quyết định lượng kim loại trải qua quá trình cơ nhiệt trong mỗi dòng chảy và sẽ quyết định đến chất lượng mỗi hàn.



Hình 2.8. Sự kết hợp giữa các dòng chảy

Sự xen kẽ của hai dòng chảy được thể hiện trong hình 2.8, sự xảy ra các hiện tượng trượt, dính hoặc cả trượt và dính giữa bề mặt dụng cụ và phôi là nguồn gốc sự xen kẽ trên. Dòng chảy xuyên thẳng sẽ chiếm lĩnh vùng lùi của mỗi hàn (vùng phía trên đầu khuấy) và dòng chảy xoáy nằm ở vùng tiến (dưới đầu khuấy).



Hình 2.9. Sự xen kẽ của hai dòng chảy

Được nghiên cứu như một quá trình gia công kim loại, gồm năm vùng: vùng nung nóng trước (1), vùng biến dạng ban đầu (2), vùng trôi (3), vùng ép (4) và vùng nguội (5) (hình 2.9)

Nguồn nhiệt được tạo thành bởi dụng cụ quay nung dự nhiệt phần kim loại ở phía trước theo hướng đi tới của dụng cụ hàn chuyển động quay của dụng cụ hàn sẽ hình thành vùng biến dạng ban đầu làm mềm kim loại, trong vùng kim loại bị ép vào vai dụng cụ và sau đó bị đẩy xuống vùng trôi. Ở vùng trôi, kim loại đã mềm ở phía trước di chuyển quanh đầu khuấy và ra phía sau của đầu khuấy lấp vào khoảng trống do đầu khuấy để lại khi di chuyển tới dọc theo đường hàn. Phần kim loại được điền đầy là kết quả của sự đan xen giữa vùng trôi phía trên và phía dưới đầu khuấy. Phần phía sau của vai dụng cụ sẽ đi qua vùng trôi, vùng ép và nhờ áp lực đủ lớn giúp cho quá trình đông đặc mỗi hàn. Khi dụng cụ đi qua, kim loại được nguội dần tạo thành liên kết hàn, và cứ thế dọc theo chiều dài mỗi ghép tạo thành đường hàn.

Từ mô hình dòng chảy này có thể kết luận rằng:

- Nếu lực ép không đủ lớn thì sẽ bị lỗ hỏng theo chiều dài đường hàn
- Không đủ chiều sâu ngấu, là do chiều dài đầu khuấy không đủ.

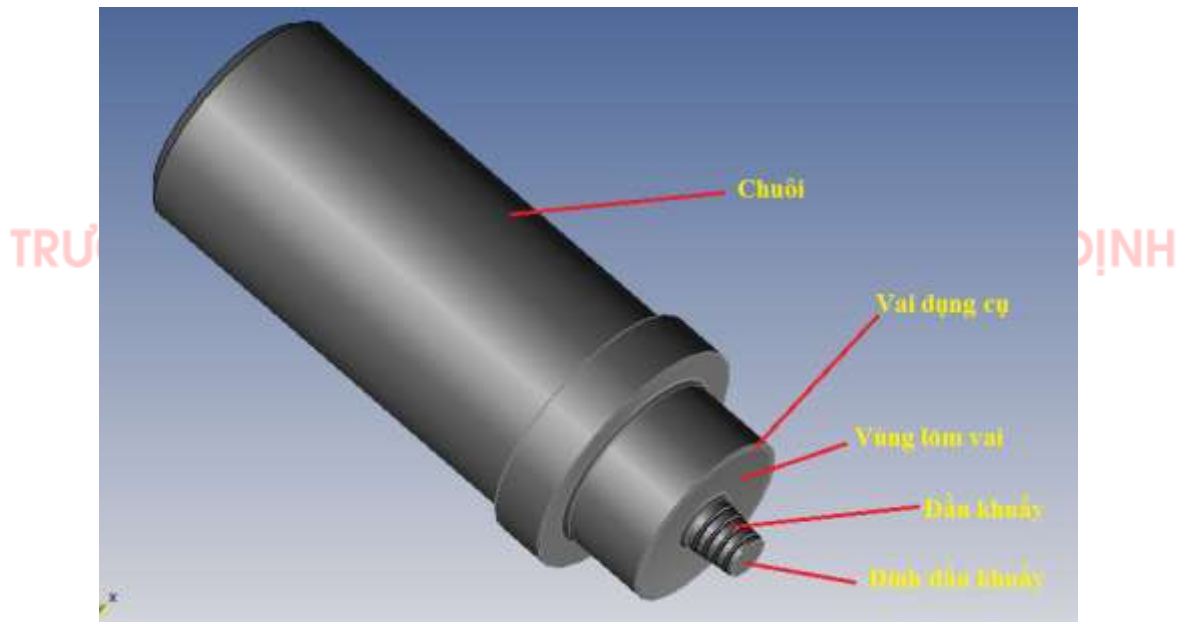
2.2.3. Thiết bị và đầu hàn ma sát khuấy

Thiết bị hàn ma sát khuấy: Hiện tại do điều kiện cơ sở vật chất chưa có thiết bị hàn chuyên dụng, vì vậy việc thí nghiệm được thực hiện trên máy phay đứng. Thiết bị thay thế có các thông số kỹ thuật đảm bảo đủ điều kiện thí nghiệm cần thiết.

Thiết kế công cụ hàn là rất quan trọng Trong FSW. Tối ưu thông số hình học của công cụ để tạo ra nhiều nhiệt hơn hoặc đạt được hiệu quả "khuấy" hơn cung cấp hai lợi ích chính: Cải thiện phá vỡ và pha trộn của lớp oxit, tạo nhiệt hiệu quả hơn, tạo tốc độ hàn cao hơn và, tất nhiên, nâng cao chất lượng mối hàn [7].

Đầu hàn ma sát khuấy: Chiều dài của đầu khuấy cần ngắn hơn so với chiều sâu hàn yêu cầu và vai dụng cụ cần phải tiếp xúc tốt với bề mặt vật hàn.

Dụng cụ hàn cấu tạo gồm bốn phần chính sau [2]:



Hình 2.10. Cấu tạo chung của dụng cụ hàn ma sát khuấy

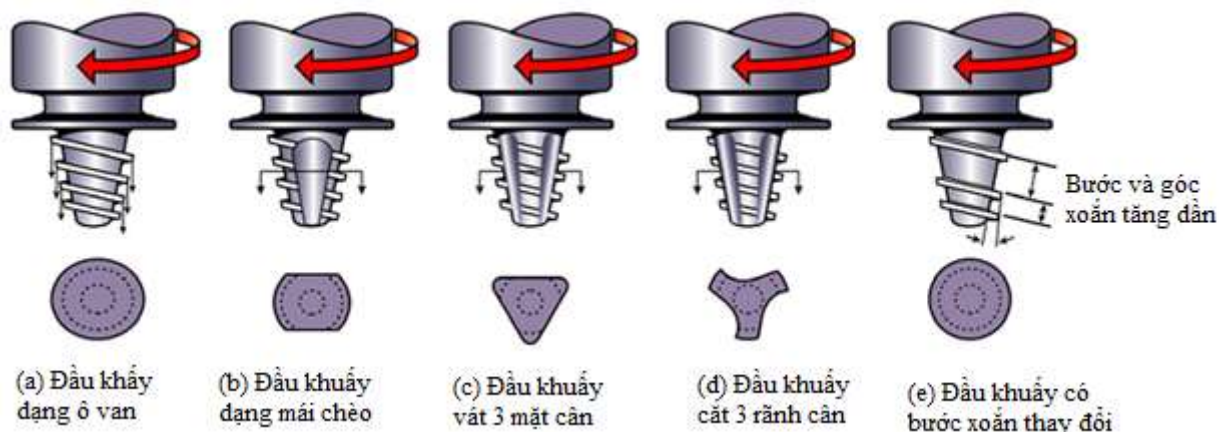
- Chuôi: Phần dùng để lắp vào trục chính của máy và cũng góp phần tạo moment xoắn, tạo lực quán tính giúp dụng cụ di chuyển dễ dàng hơn.
- Vai dụng cụ: Tiếp xúc với bề mặt phôi khi hàn, sinh nhiệt do ma sát giữa hai bề mặt tiếp xúc, không chế vật liệu,... ép vật liệu.
- Đầu khuấy: làm nhiệm vụ đâm xuyên vào vật liệu hàn, cắt nguồn kim loại tại mối hàn và di chuyển vật liệu đó từ trước ra sau dụng cụ khi dụng cụ đi tới, khuấy vật liệu từ đỉnh đầu cắt lên phần vai dụng cụ.

- Đỉnh đầu khuấy: Tạo nhiệt do ma sát với phần gần với mép dưới của vật hàn. Lượng nhiệt này và lượng nhiệt do ma sát giữ vai dụng cụ với bề mặt vật liệu cộng với lượng nhiệt do quá trình biến dạng dẻo sẽ làm mềm vật liệu xung quanh đầu khuấy.

Thiết kế vai và đầu khuấy có vai trò rất quan trọng đối với chất lượng của mối hàn. Đầu khuấy của dụng cụ tạo ra nhiệt và khuấy động vật liệu được hàn, nhưng vai của dụng cụ cũng rất quan trọng như cung cấp thêm nhiệt ma sát và ngăn chặn vật liệu dẻo tự thoát ra từ vùng hàn. Vật liệu dẻo được ép đùn từ tâm cho đến cạnh của công cụ, nhưng bị chặn lại bởi vai dụng cụ di chuyển dọc theo mối hàn để tạo ra một bề mặt nhẵn khi kết thúc quá trình hàn.

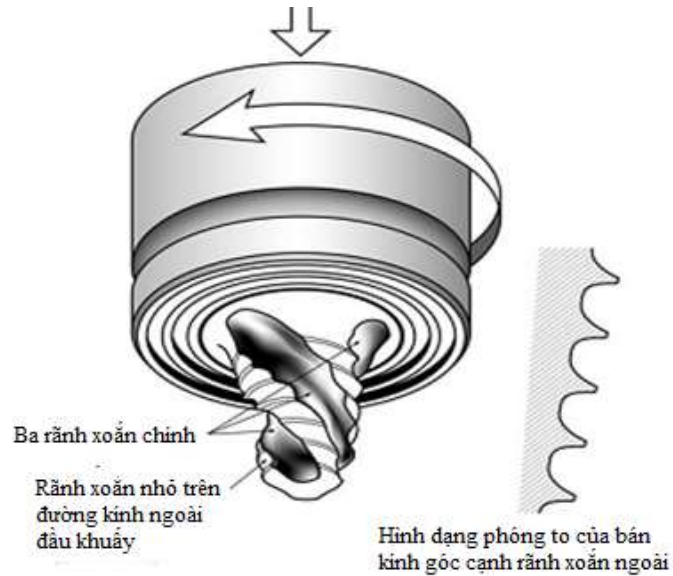
Rõ ràng, các vật liệu khác nhau và độ dày khác nhau đòi hỏi profile đầu ngoáy khác nhau và mối hàn có thể được hàn từ một phía hoặc hàn hai phía với vật liệu có độ dày lớn.

Một số loại đầu khuấy điển hình [7] được minh họa trong hình 2.12, có thể được thiết kế để hàn những tấm vật liệu có chiều dày lớn hơn 60mm ở tốc độ hàn cao hơn so với đầu khuấy thông thường.



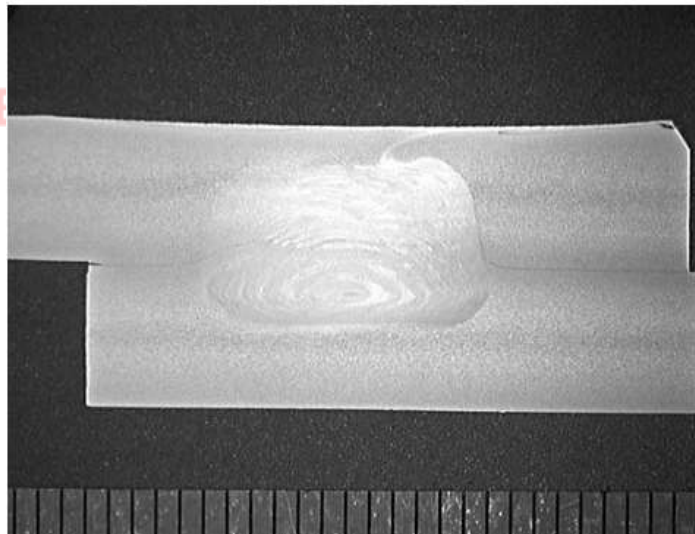
Hình 2.11. Các dạng vòng xoắn cơ bản trên đầu ngoáy

Một đầu ngoáy khác như hình 2.12 nó có thể tạo ra mối hàn với vùng mối hàn hẹp và các cạnh mối hàn song song nhau [1]



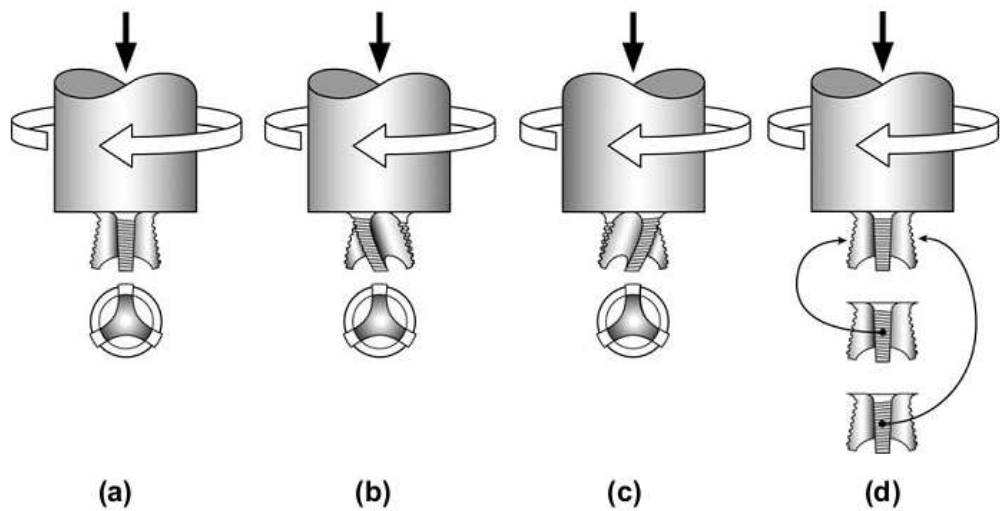
Hình 2.12. Đầu ngoáy MX-Triflute

Hàn ma sát khuấy cũng được sử dụng để hàn nối mối ghép chồng, đầu ngoáy quay và chạy xuyên từ tấm trên xuống tấm dưới như hình 2.13. [1]



Hình 2.13. Cấu trúc vĩ mô của mối hàn chồng nối hợp kim nhôm 5083-0 dày 6mm, sử dụng đầu ngoáy Flared-Triflute™ với tốc độ hàn 4mm/giây

Với các mối hàn chồng nối, nó thực sự làm tăng thêm bề rộng của vùng mối hàn để thu được liên kết tốt hơn bằng thiết kế đầu ngoáy Flared-Triflute™ mô tả như hình 2.14. [1]

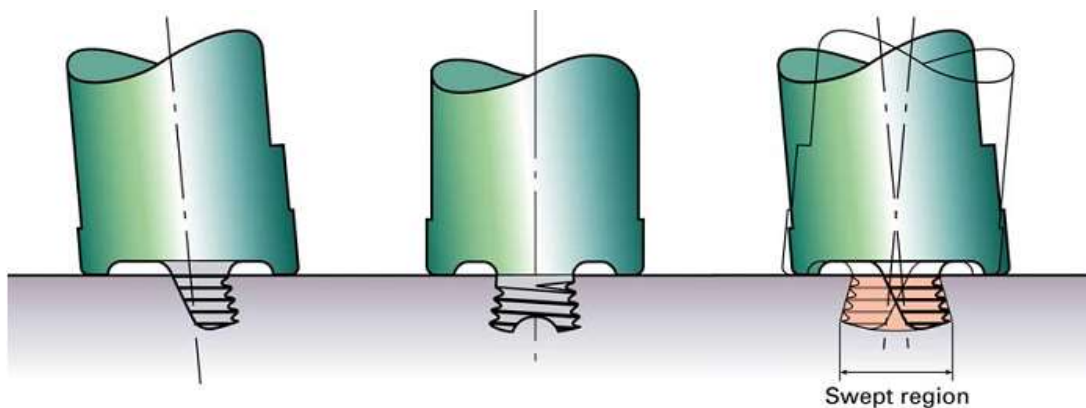


Hình 2.14. Các biến thể khác nhau của các loại đầu ngoáy Flared-Triflute™

Rãnh đầu ngoáy có loại rãnh máng thẳng như hình a, rãnh xoắn trái như hình b, rãnh xoắn phải như hình c, đầu ngoáy (d) là sự kết hợp cả ba dạng đầu ngoáy (a), (b), (c) bao gồm một rãnh thẳng, một rãnh xoắn trái và một rãnh xoắn phải.

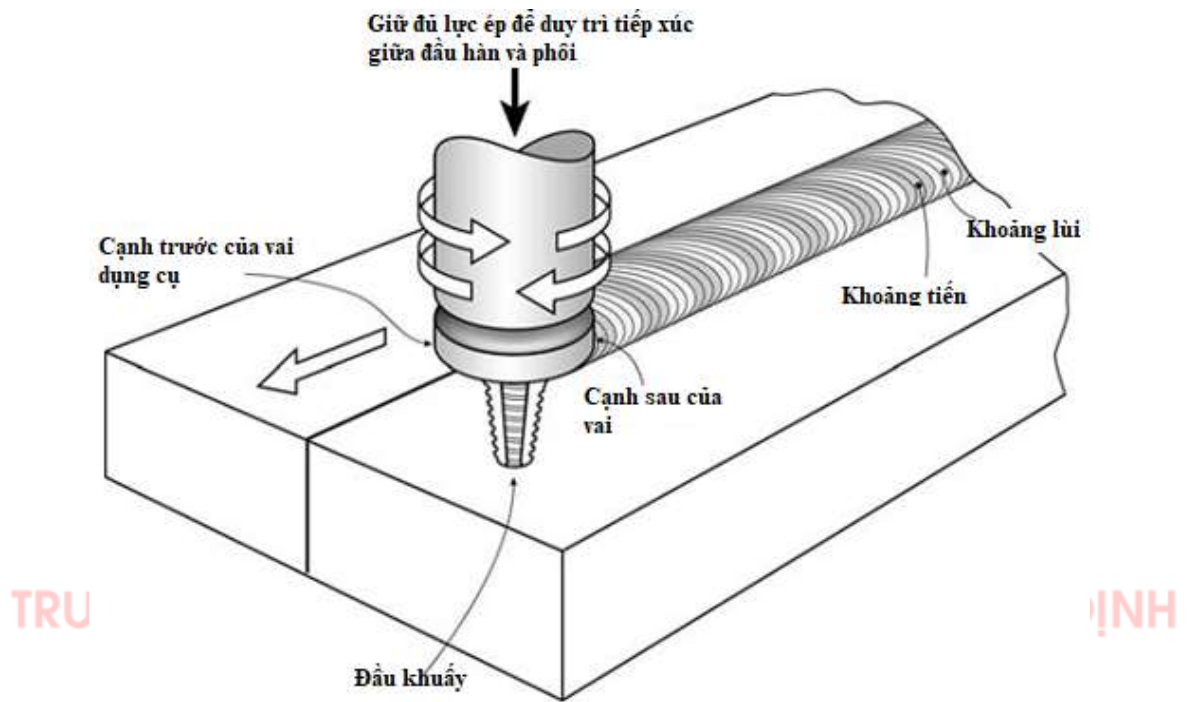
Độ cao các sống của rãnh cũng rất quan trọng trong việc xác định các tính chất của đầu dụng cụ. Các đường lằn xoắn cho phép vật liệu dẻo bị lệch hướng theo hướng yêu cầu, đặc biệt là để đánh lệch hướng oxit từ trung tâm của mối hàn đến bề mặt.

Để tăng sự trộn trong mối hàn chông nổi, sử dụng đầu ngoáy xiên so với trục của dụng cụ ngoáy một góc, trong một biến thể của đầu dụng cụ hàn ma sát ngoáy như Skew-Stir™ được minh họa trong hình 2.15. Nó cho thấy rằng vùng được ngoáy là lớn hơn nhiều so với dùng đầu ngoáy thông thường;

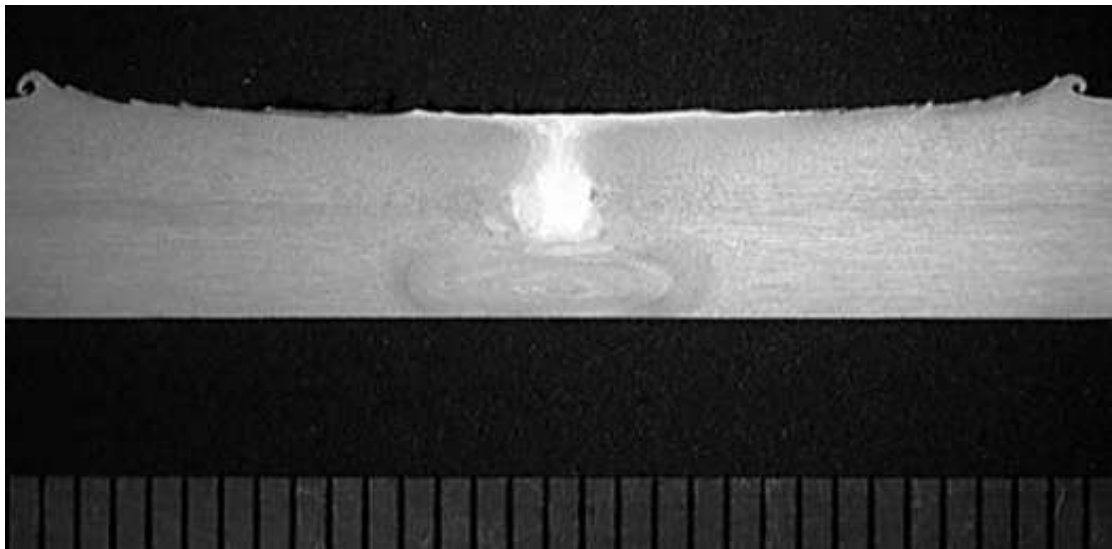


Hình 2.15. Nguyên lý cơ bản của đầu ngoáy Skew-Stir™ ở các vị trí khác nhau

Đầu ngoáy Re-Stir™ là một loại đầu ngoáy giống như một đầu ngoáy trong quá trình hàn ma sát thông thường, nhưng đầu ngoáy đảo chiều liên tục trong suốt quá trình hàn, sự đảo chiều quay trong mỗi một vòng quay hoặc sau một hoặc nhiều vòng quay khép kín. Quá trình này được miêu tả trong hình 4.2.16 và mỗi hàn được tạo ra như trong hình 2.17



Hình 2.16. Nguyên lý cơ bản về kỹ thuật đảo chiều quay của đầu ngoáy Re-Stir™



Hình 2.17. Cấu trúc vĩ mô của mỗi hàn giáp mỗi khi hàn với đầu ngoáy Re-Stir™ với vận tốc hàn 4,2 mm/giây sử dụng 8 vòng quay cho mỗi khoảng thời gian.

Một dạng khác nữa đã được nghiên cứu bao gồm một vai của đầu ngoáy độc lập với thân đầu ngoáy, cả hai quay cùng một hướng như khác nhau về tốc độ quay. Rõ ràng, các biến thể khác nhau trong thiết kế đầu công tác là vô hạn với sự kết hợp của đường kính vai, biên dạng vai, chiều dài đầu ngoáy, đường kính và biên dạng của đầu ngoáy, tất cả đều là những thông số quan trọng trong việc xác định vận tốc hàn và chất lượng của mối hàn.

Một thông số quan trọng trong việc xác định sự phù hợp của một đầu công tác cho một ứng dụng cụ thể chính là vật liệu chế tạo đầu công tác. Hàn được thực hiện khoảng 70 - 90% điểm nhiệt độ nóng chảy của vật liệu vì vậy điều quan trọng là vật liệu của đầu công tác có đủ độ bền ở nhiệt độ này nếu không vì các đầu công tác có thể bị xoắn và phá vỡ.

Đối với các loại hợp kim nhôm thông thường, đầu công tác làm bằng thép cho một kết quả tốt, nhưng với các loại hợp kim cứng hơn thì yêu cầu một số vật liệu chế tạo đầu công tác phải có độ bền cao hơn. Chẳng hạn như các hợp kim siêu bền, các loại hợp kim ôxít tán sắc (ODS) và các vật liệu khó nóng chảy như là các hợp kim Molybdenum.

Tuy nhiên, mặc dù các vật liệu có tính nóng chảy rất cao, nhưng chúng lại khó chế tạo đầu dụng cụ đặc biệt trong một số loại đầu dụng cụ có hình dạng phức tạp đã được miêu tả ở trên.

Những khó khăn trong chế tạo dẫn đến tăng giá thành đầu dụng cụ và do đó mà ta thường mong muốn giảm một số tính bền để cho giá thành hợp lý hơn. Trong một điều kiện lý tưởng, người sử dụng yêu cầu sản xuất ra các mối hàn rất dài mà không bị mòn đầu công cụ hoặc thoái hóa xảy ra do đó phải nhập ngoại thêm một số vật liệu và các thiết kế có thể tăng hiệu quả sử dụng.



Hình 2.18. Hàn hợp kim nhôm 6082 dày 40 mm bằng đầu ngoáy thép Molybden

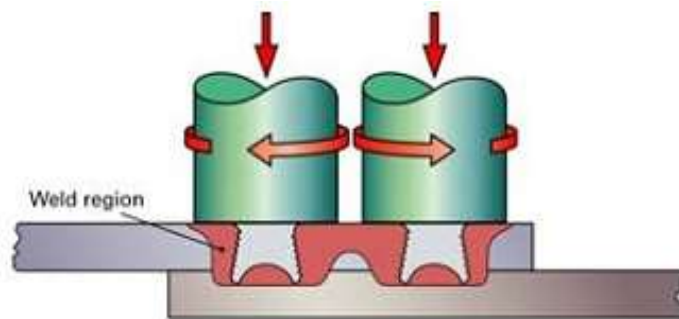
Trong quá trình hàn ma sát khuấy, khi kết thúc mỗi hàn đầu khuấy rút ra khỏi mối hàn thường để lại một lỗ. Có nhiều cách để xử lý với vấn đề này. Có thể hàn điền đầy lỗ khuyết này bằng phương pháp hàn TIG thông dụng, phần mối hàn với lỗ khuyết lõm này cũng có thể cắt bỏ đi, hoặc kết thúc mối hàn ở tấm công nghệ và sau đó loại bỏ tấm công nghệ này đi. Một phương pháp khác là từ từ di chuyển đầu ngoáy ra khỏi điểm cuối mối hàn, nhưng điều này không được khuyến cáo vì điểm cuối mối hàn không ngấu đầy đủ và sau đó không sử dụng vùng này vào trong quá trình chế tạo.



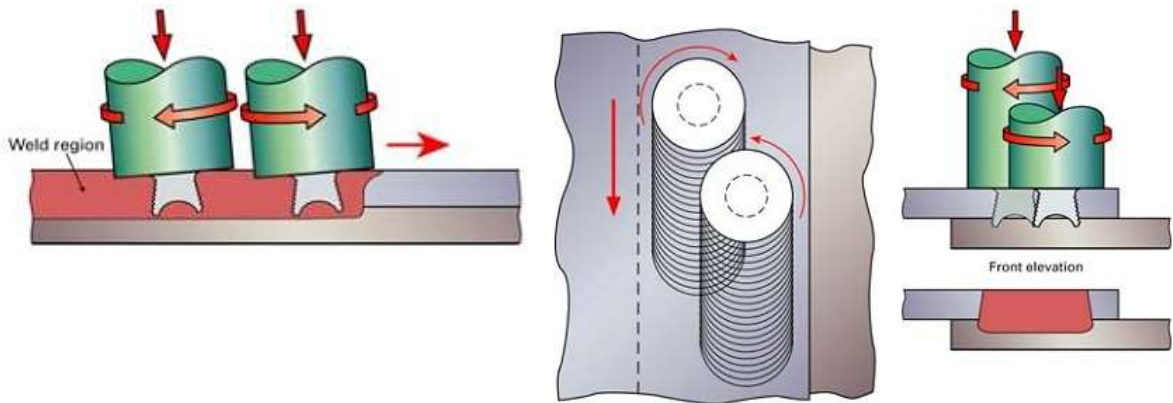
Hình 2.19.. Một dạng thiết kế cơ bản đầu ngoáy thép molybdenum sau khi hàn hợp kim nhôm 6082 với độ dày 40 mm giống như trong hình mà đầu dụng cụ không bị mòn

Ngoài ra còn có thể sử dụng các dạng khác của hàn ma sát khuấy hoặc đầu hàn ma sát khuấy đôi [1]

Một vấn đề xảy ra với quá trình hàn ma sát thông thường đó là các tấm kim loại được nối với nhau yêu cầu được kẹp chặt cả phương ngang và phương dọc để ngăn chúng không liên kết với nhau trong quá trình đầu ngoáy quay để hàn. Một quá trình hàn mới được phát minh gần đây của viện hàn TWI, trong cách này sử dụng hai đầu ngoáy quay ngược chiều nhau để thực hiện hàn. Điều này được biểu diễn như hình 2.21, phương pháp này đặc biệt hữu ích khi hàn mối ghép chồng nối hoặc hàn giáp mối như hình 2.22



Hình 2.20. Biểu diễn các dạng hàn khác nhau sử dụng hai đầu ngoáy.



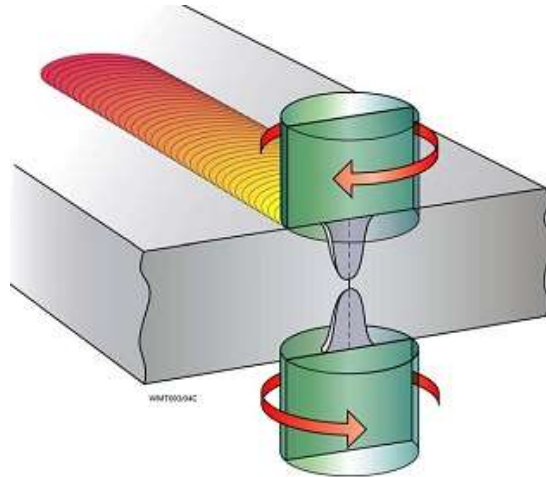
Hình a

Hình b

Hình 2.21. Hàn với hai đầu hàn so le đảm bảo cho hai mối hàn giao nhau

Hình a. Hàn hai đường hàn song song theo hướng hàn

Hình b. Một đầu hàn trước và một đầu hàn sau dọc theo hướng hàn



Hình 2.22. Hàn hai đầu ngoáy đối nghịch từ hai phía liên kết hàn đối đầu



Hình 2.23. Biểu diễn cấu tạo của đầu hàn với hai đầu khuấy

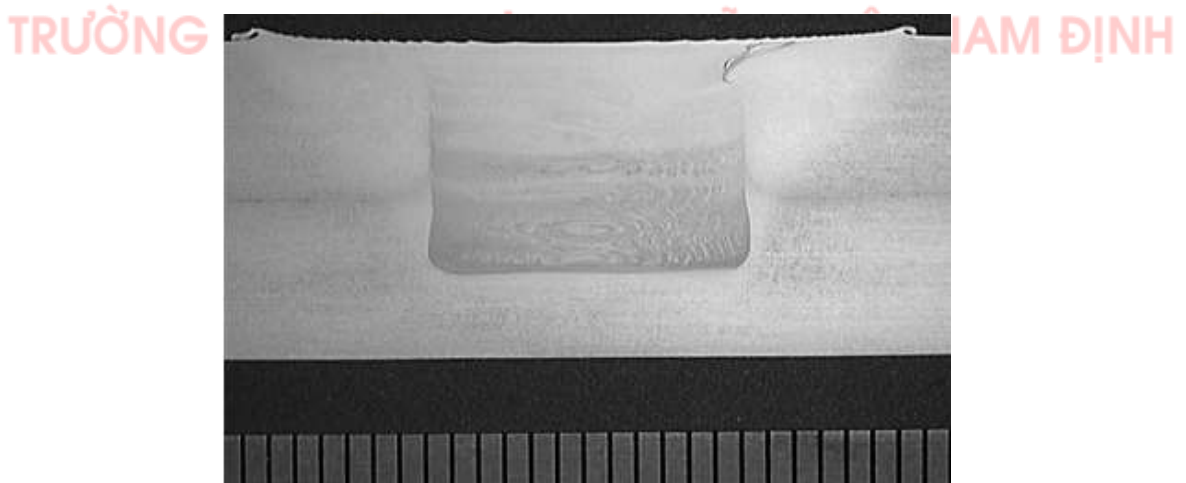
Trong đó bao giờ sử dụng kỹ thuật hàn này sẽ tạo ra mô-men xoắn bởi một đầu khuấy này chống lại mô men xoáy tạo ra bởi đầu ngoáy khác và vì vậy mà yêu cầu lực kẹp và định vị các tấm kim loại được hàn rất nhỏ. Khoảng cách giữa hai đầu khuấy giúp cố định vị trí của tấm hàn. Quá trình hàn Twin-Stir™ giảm thiểu sự phức tạp của việc gá kẹp và mở ra cánh cửa để chế tạo các tấm kim loại rất lớn, có lẽ như là tấm vỏ tàu được chế thành một tấm đủ lớn và sau đó mới tạo hình dạng theo biên dạng của vỏ.

Hiện tại, khoảng cách của các cơ cấu kẹp xác định theo kích thước của kết cấu mỗi hàn và mặc dù không phụ thuộc vào độ dài của tấm, tấm hàn có thể di chuyển qua giữa các cơ cấu kẹp sau khi hàn để cho thay đổi vị trí gá kẹp sang phần tiếp theo, chiều rộng thực sự của các cơ cấu kẹp thường bị hạn chế vì vậy dẫn đến hạn chế về kích thước bề rộng của liên kết hàn được chế tạo.

Với phương pháp hàn hai đầu ngoáy Twin-Stir™ có thể thay thế phần lớn các cơ cấu kẹp bằng các mối hàn đỉnh thông thường. Mối hàn được tạo ra với chất lượng rất tốt. Hình 2.24 biểu diễn bề mặt của mối hàn chông nổi hàn bằng phương pháp hàn hai đầu ngoáy một đầu đi trước và một đầu đi sau, vật liệu hợp kim nhôm 6083-T6 và mặt cắt ngang của mối hàn này như hình 2.25



Hình 2.24. Bề mặt của mối hàn hợp kim nhôm 6083-T6 hàn với hai đầu khuấy Tandem Twin-Stir™



Hình 2.25. Mặt cắt ngang của mối hàn hợp kim nhôm 6083-T6 hàn với hai đầu ngoáy Tandem Twin-Stir™

Tuy nhiên một trong những nhược điểm của phương pháp hàn hai đầu ngoáy (Twin-Stir™) là để lại hai lỗ khuyết lõm khi nhấc đầu ngoáy ra khi kết thúc quá trình hàn như hình 2.27, yêu cầu phải xử lý hai lỗ khuyết lõm này theo các phương pháp đã đề cập ở phần trên.



Hình.2.26. Lỗ khuyết lõm khi kết thúc quá trình hàn bằng phương pháp hàn hai đầu ngoáy (Tandem Twin-stir™)

2.3. Các thông số công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm và hợp kim nhôm

Nghiên cứu các thông số công nghệ hàn ma sát sao cho giảm thiểu khoảng cách về nhiệt giữa vùng tâm mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt, đồng thời không chế nhiệt độ của vùng khuấy sao cho không bị nóng chảy 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. 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.

Công nghệ hàn ma sát khuấy hợp kim nhôm gắn liền với nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số như: Tốc độ quay và tốc độ di chuyển của đầu khuấy, lực dọc trục và thông số hình học của đầu khuấy (như chiều dài, đường kính của đầu khuấy, đường kính của vai đầu khuấy, góc nghiêng, tỉ lệ giữa đường kính vai và đường kính đầu khuấy, biên dạng đầu khuấy).

Trong phạm vi nghiên cứu của đề tài, các thông số hình học của đầu khuấy có thay đổi, do đó cần phải xét đến các thông số còn lại là tốc độ quay của đầu khuấy, tốc độ di chuyển của đầu khuấy (tốc độ hàn, lượng di chuyển đầu hàn) và lực dọc bởi với mỗi đầu khuấy và thông số hình học của đầu khuấy khác nhau sẽ có chế độ hàn ma sát khuấy khác biệt nhau.

Tác dụng của các đơn thông số như sau:

Tốc độ quay: Phá vỡ lớp oxit, trộn vật liệu và tạo nhiệt ma sát. (n - vòng/phút)

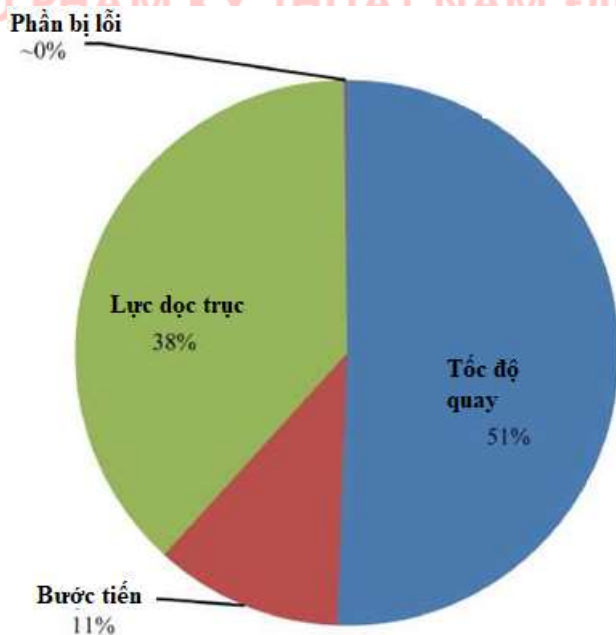
Tốc độ hàn: Kiểm soát nhiệt. (f – mm/vòng)

Lực dọc trục: Duy trì điều kiện tiếp xúc. (F – N)

Theo quan điểm của Lakshminarayanan [8]:

- Khi tốc độ quay thấp, xuất hiện một lỗ sâu ở phía lùi của vùng khuấy do nhiệt thấp và chuyển động kim loại không đủ nhanh;
- Khi tốc độ quay cao, có thể thấy một khiếm khuyết ở đáy bể khuấy do quá nhiều nhiễu loạn gây ra;
- Khi tốc độ hàn thấp, xuất hiện kiểu lỗ khoan do nhiệt đầu vào quá nhiều trên một đơn vị chiều dài của mỗi hàn và không có chuyển động thẳng đứng của kim loại;
- Khi tốc độ hàn cao, một lỗ hồng ở phía dưới ở phía lùi của mỗi hàn đã được phát hiện do không đủ nhiệt đầu vào do dòng chảy không đều của vật liệu;
- Khi lực dọc thấp, lỗ hồng dài và vết nứt giống như ở giữa của mặt cắt hàn ở phía lui đã được thấy vì lực xuống không gây ra dòng chảy thẳng đứng của vật liệu;
- Khi lực dọc quá cao, một khối lượng lớn kim loại bị nóng quá mức gần khu vực quanh đầu khuấy đã được phát hiện.

Nhiều nghiên cứu cho thấy rằng tốc độ quay của đầu khuấy là một tham số quan trọng để kiểm soát các đặc tính của quá trình hàn như nhiệt độ cao nhất và khoảng cách HAZ đến đường hàn cũng như các tính chất cơ học của đường hàn. [8]



Hình 2.27. Sự ảnh hưởng của các thông số quá trình đến việc tạo ra nhiệt mỗi hàn

Theo nghiên cứu của một số tài liệu trong nước và nước ngoài, tốc độ hàn của nhôm hợp kim cao, sẽ giảm đi nhiều so với hàn nhôm hợp kim thấp, như thông số hàn đối với tấm nhôm hợp kim 5083Al có độ dày 6.35 mm, thì tốc độ quay ở

khoảng $n=400$ vòng/phút và tốc độ hàn $f=25.4$ mm [12], nhưng nhôm 1100Al, tốc độ hàn tăng lên đến 60mm/phút.

2.4. Quy trình hàn ma sát khuấy nhôm

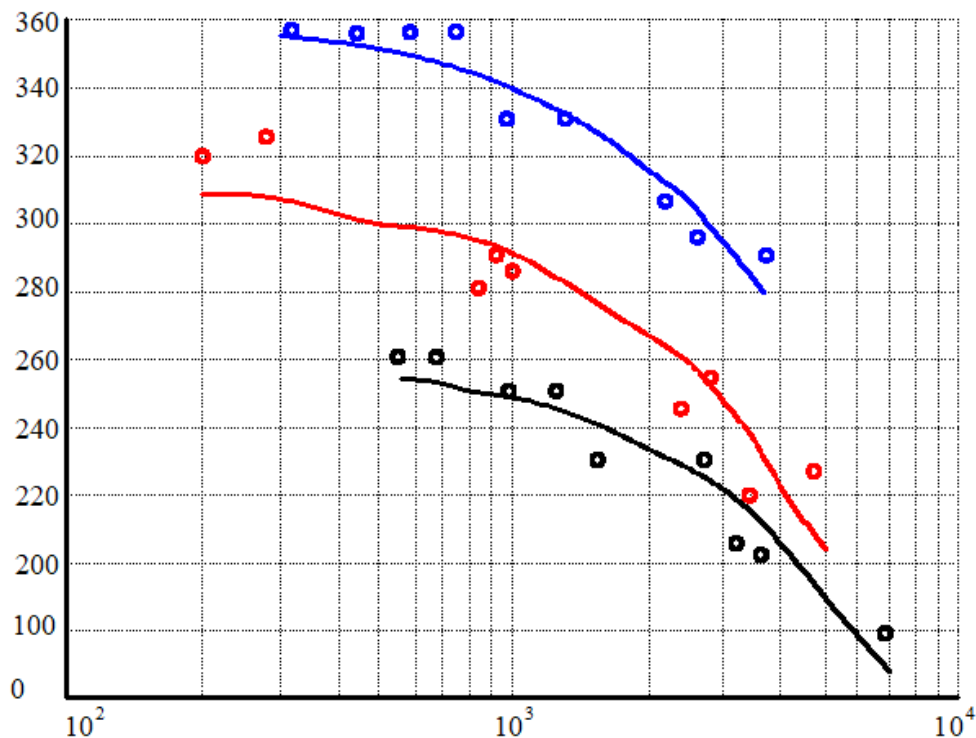
Quy trình FSW Liên quan đến sự tạo ra vùng khuấy dưới nhiệt độ nóng chảy của vật liệu cơ bản, thường khoảng 80-90% nhiệt độ nóng chảy.

Với hàn ma sát khuấy, các thông số chế độ hàn truyền thống - dòng điện và điện áp - không có mặt vì đầu vào hoàn toàn là nhiệt cơ học và do đó thay thế bằng lực, ma sát và tốc độ quay. Một số nghiên cứu đã được tiến hành để xác định cách nhiệt được tạo ra và chuyển giao cho khu vực khuấy. Một cách đơn giản được mô tả trong phương trình sau đây:

$$Q=\mu\omega F'K$$

Trong đó nhiệt (Q) là nhiệt ma sát liên quan đến hệ số ma sát (μ), (ω) là tốc độ quay của dụng cụ, (F') là lực dọc trục và (K) là hệ số công cụ.

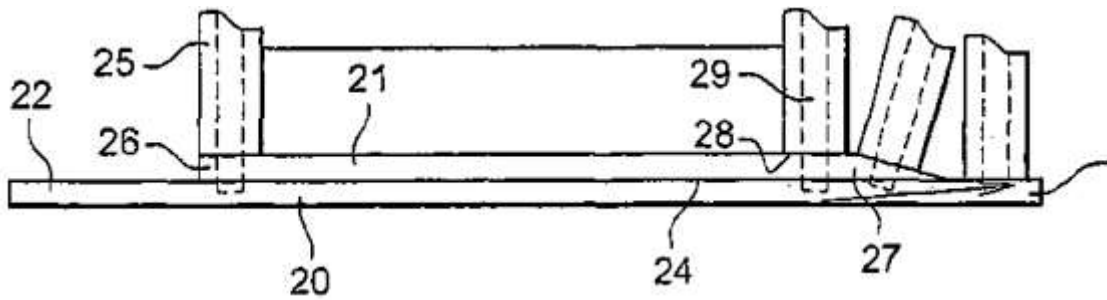
Chất lượng của mối hàn FSW luôn luôn cao hơn các mối hàn truyền thống. Hình 2.29 minh họa rõ ràng về hiệu suất cải tiến của FSW so với một mối hàn MIG trên vật liệu cơ bản được lựa chọn. Độ bền kéo là một đặc tính chất lượng quan trọng [8]



Hình 2.28. Độ bền kéo (MPa) của nhôm 5059

(Trên: KLCB, Giữa: FSW, Dưới: MIG)

Quy trình hàn ma sát khuấy được mô tả tổng quát như hình 2.30 [9]



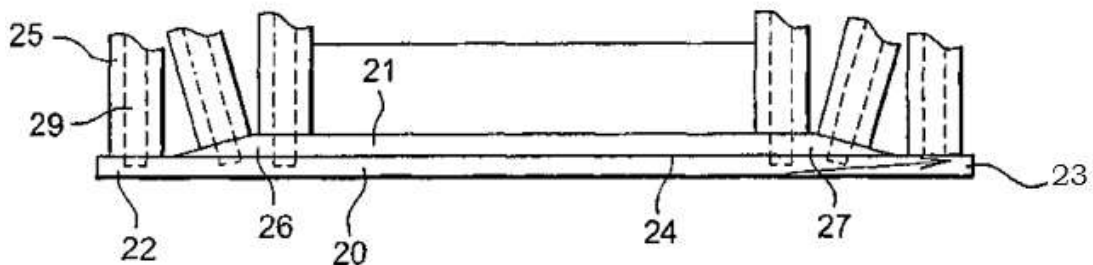
Hình 2.29. Quy trình hàn chông bằng phương pháp ma sát khuấy

Quy trình hàn ma sát khuấy hai tấm (20,21): tương ứng với tấm trên (21) và tấm dưới (20), theo đó mỗi hàn được tạo ra giữa đầu bắt đầu và phần kéo dài thứ hai ở cuối các tấm, sử dụng một đầu hàn (25), quá trình này bao gồm các bước sau:

- Định vị và giữ hai tấm (20, 21) tiếp xúc nhau trên cùng một bề mặt (24) ở vị trí tương đối mong muốn sau khi hàn,

- Đưa thiết bị hàn tiếp xúc với một hoặc nhiều tấm trong một khu vực ở phía đầu đường hàn để tạo thành sự khởi đầu của mỗi hàn, hàn dọc hai tấm bằng cách di chuyển thiết bị hàn tới phía cuối của liên kết. Tiếp tục chuyển động của thiết bị hàn (25) kéo dài ra ngoài để có một đường hàn liên tục trên toàn bộ chiều dài của mỗi hàn và để ngăn chặn sự xuất hiện của một lỗ hàn.

Để tối ưu đường hàn về mặt thẩm mỹ, người ta không chỉ có phần kéo dài mỗi hàn khi kết thúc mà còn kéo dài ở phần bắt đầu đường hàn [9]



Hình 2.30. Kéo dài phần bắt đầu và kết thúc mỗi hàn

Quy trình hàn ma sát khuấy thực hiện trên mỗi hàn giáp mỗi tương tự quy trình hàn chông ở trên.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Trên cơ sở tìm hiểu các nội dung lý thuyết về khái niệm, nguyên lý, khả năng ứng dụng và đặc điểm của công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm, tác giả thấy rằng công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm là công nghệ có sự ảnh hưởng nhiệt của vùng hàn đối với kim loại lặn cận nhỏ, cho mỗi hàn chất lượng cao. Cho phép khả năng tự động hoá và nâng cao chất lượng mỗi hàn.

Trong chương này tác giả tập trung nghiên cứu cơ sở lý thuyết của các nội dung:

- Các quá trình cơ nhiệt khi hàn FSW;
- Thiết bị và đầu hàn ma sát khuấy;
- Các thông số công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm và hợp kim nhôm;
- Quy trình hàn ma sát khuấy nhôm;

Qua nghiên cứu thấy rằng chất lượng của mỗi hàn ma sát khuấy phụ thuộc nhiều vào chế độ hàn, đồng thời cấu trúc của đầu hàn cũng ảnh hưởng không nhỏ đến tính quá trình hàn. Trong đó ảnh hưởng nhiều hơn là thông số vận tốc quay, tốc độ tiến ngang của đầu khuấy sau đó là cấu trúc của mỗi loại đầu khuấy;

Trên thực tế, công nghệ, trang thiết bị và chế độ hàn ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng mỗi hàn. Do đó những nội dung được nghiên cứu tại chương này nhằm mục đích làm cơ sở nghiên cứu những vấn đề quan trọng trong các nội dung tiếp theo của luận văn bao gồm lựa chọn vật liệu, công nghệ để chế tạo đầu khuấy; lựa chọn máy móc, trang thiết bị, vật liệu và thông số công nghệ cho quá trình hàn ma sát khuấy phù hợp nhất.

Chương 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM HÀN MA SẮT KHUẤY NHÔM A5052

*** Mục tiêu thực nghiệm:**

- Phân tích và lựa chọn được vật liệu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy;
- Lập quy trình công nghệ chế tạo và gia công được các loại đầu hàn ma sát khuấy để hàn hợp kim nhôm A5052;
- Thực nghiệm hàn giáp mối hợp kim nhôm A5052 đánh giá chất lượng mối hàn để tìm ra bộ thông số hàn;
- Hàn thực nghiệm đánh giá chất lượng các loại đầu khuấy khác nhau với cùng bộ thông số hàn.

3.1 Thiết kế và chế tạo đầu hàn ma sát khuấy

3.1.1. Phân tích lựa chọn vật liệu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy

- Vật liệu cơ bản được lựa chọn để hàn là nhôm tấm A5052 chiều dày 5 mm với các đặc tính sau:

Nhôm A5052 là hợp kim nhôm biến dạng không hóa bền, dễ hàn. Nó được làm cứng bằng quá trình làm lạnh.

Nhôm tấm A5052 là nhôm hợp kim dạng tấm, với thành phần chủ yếu là Mg và Cr. Nó có khả năng chống ăn mòn bởi môi trường bên ngoài và có độ cứng cao. Nhôm A5052 có độ bền trung bình tính hàn tốt và dễ định hình. Có khả năng chống ăn mòn tuyệt vời bao gồm cả khả năng chống nước muối.

Tính dẫn điện và dẫn nhiệt cao, có độ giãn nở nhiệt nhỏ.

Nhiệt độ chảy thấp (660°C) có thể làm dễ ràng cho quá trình nấu luyện song các hợp kim nhôm không làm việc được ở nhiệt độ cao. Tính đúc không cao do độ co ngót lớn (lên tới 6%).

Bảng 3.1. Thành phần hóa học nhôm A5052 (%) [10]

Magnesium(Mg)	2.20-2.80%
Chromium (Cr)	0.15-0.35%
Iron (Fe)	0.0-0.40%
Silicon (Si)	0.0- 0.25%
Others (Total)	0.0 - 0.15%
Copper (Cu)	0.0 - 0.10%
Zinc (Zn)	0.0 - 0.10%
Manganese (Mn)	0.0 - 0.10%
Other (Each)	0.0 - 0.05%
Aluminum (Al)	Còn lại

Bảng 3.2. Tính chất lý nhiệt và cơ tính của hợp kim nhôm A5052 [10]

Tính chất	A5052
Khối lượng riêng	2,713 g/cm ³
Nhiệt độ nóng chảy	643-657 ⁰ c
Hệ số dẫn nở nhiệt	23.6 x 10 ⁻⁶ /°C
Modul đàn hồi	70-80 Gpa
Hệ số dẫn nhiệt	218 W/mK
Độ bền	166 Mpa
Độ bền kéo đứt	Min: 152 Mpa
Độ giãn dài	5 %
Độ cứng	28 HB

Căn cứ vào tính chất cơ, lý nhiệt của nhôm A5052, vật liệu để chế tạo đầu hàn ma sát khuấy hàn hợp kim nhôm này cần có các thành phần vật liệu đặc biệt và phải phù hợp với vật liệu cần hàn. Các yêu cầu cụ thể với vật liệu của dụng cụ như sau:

Bền nhiệt: Trong quá trình hàn ma sát khuấy, nhiệt độ có thể đạt 70÷90% nhiệt độ chảy của vật liệu cần hàn. Do đó, vật liệu làm đầu hàn phải có tính bền nhiệt và làm việc ổn định ở khoảng nhiệt độ này [1]. Ví dụ, Khi hàn FSW hợp kim nhôm A5083, nhiệt độ tại khu vực hàn nằm trong khoảng 500-600⁰C tùy thuộc vào các thông số của chế độ;

Chống mài mòn: Một đầu hàn ma sát bị mòn sẽ có một số tác dụng không mong muốn lên tổ chức tế vi của liên kết hàn, tuổi thọ thấp;

Không tương tác với vật liệu phôi hàn: Nếu xảy ra tương tác có thể sẽ tạo ra các tổ chức, pha không mong muốn trong liên kết hàn và điều này có thể làm hư hỏng đầu hàn nhanh chóng;

Hệ số giãn nở nhiệt thấp: Trong quá trình hàn, đầu hàn luôn làm việc trong môi trường nhiệt độ cao. Do đó với một hệ số dẫn nhiệt của vật liệu đầu hàn hợp lý sẽ làm giảm ứng suất phá huỷ và sự biến dạng do nhiệt độ;

Độ dai va đập tốt: Trong FSW, đầu hàn phải đối mặt với rất lực tác dụng, do đó vật liệu chế tạo đầu hàn cần có độ dai va đập tốt để chống lại những lực gây biến dạng và phá huỷ đầu hàn;

Khả năng gia công: Đây là một yêu cầu rất quan trọng khi chế tạo các đầu hàn có biên dạng đầu ngoáy và vai tỳ phức tạp;

Đảm bảo tính kinh tế: Vật liệu chế tạo vừa đủ đảm bảo tính công nghệ, đảm bảo chi phí vật liệu thấp.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

Trước đây một số đề tài nghiên cứu cũng đã sử dụng thép C45 sau nhiệt luyện để làm đầu khuấy tuy nhiên nhược điểm thép C45 sau tôi là trong quá trình hàn ma sát khuấy với đường hàn lớn và làm việc lâu dài, đầu khuấy có su hướng mòn và bị mỏi ở nhiệt độ cao. Do bị tôi cứng nên độ bền uốn bị giảm đi làm cho đầu hàn sẽ có nguy cơ gãy trong quá trình khuấy. Do đó cần tìm ra một loại thép hợp kim phù hợp với những đặc tính chống mài mòn tốt, chịu nhiệt cao. Căn cứ vào các tính chất cơ lý hóa học của hợp kim nhôm A5052 đã được phân tích ở trên và các yêu cầu về chọn vật liệu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy, chọn vật liệu chế tạo đầu hàn ma sát khuấy là vật liệu SKD61.

Thép SKD61 là một loại thép làm khuôn dập nóng được sản xuất theo tiêu chuẩn JIS G4404 của Nhật Bản. Đây là loại thép công cụ hợp kim crôm có độ cứng cao và có khả năng chống mài mòn tốt sau khi được xử lý nhiệt vô cùng phù hợp để sản xuất các loại khuôn dập nóng yêu cầu độ chính xác và tuổi thọ sản phẩm cao.

Các mác thép tương đương:

– Mác thép H13 được sản xuất theo tiêu chuẩn AISI của Mỹ

- Mác thép 1.2344 được sản xuất theo tiêu chuẩn DIN của Đức
- Mác thép 4Cr5MoSiV được sản xuất theo tiêu chuẩn GB của Trung Quốc

Bảng 3.3 Thành phần hóa học của thép SKD61[1]

Mác thép	Thành phần hóa học (%)							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	V	Mo
SKD61	0.35 ~0.42	0.25 ~0.5	≤0.03	≤0.02	0.8~1.2	4.8 ~5.5	0.8 ~1.15	1.0~1.5
H13	0.35 ~0.45	0.25 ~0.6	≤0.03	≤0.03	0.8~1.25	4.75 ~5.5	0.8 ~1.2	1.1~1.75
1.2344	0.35 ~0.42	0.25 ~0.5	≤0.03	≤0.02	0.8~1.2	4.8 ~5.5	0.85 ~1.15	1.1~1.5
4Cr5MoSiV	0.33 ~0.43	0.20 ~0.5	≤0.03	≤0.03	0.8~1.2	4.75 ~5.5	0.30 ~0.60	1.1~1.6

Bảng 3.4 Tính chất cơ học của thép SKD61[1]

Mác thép	Giới hạn chảy	Độ bền kéo	Độ dẫn dài	Sự giảm mặt cắt	Độ bền va đập (charpy)	Độ cứng
SKD61	≥ 785 kgf/mm ²	≥ 980 kgf/mm ²	≥ 9%	≥ 45%	≥ 47J/cm ²	≤ 207HB

***) Đặc tính của thép SKD61**

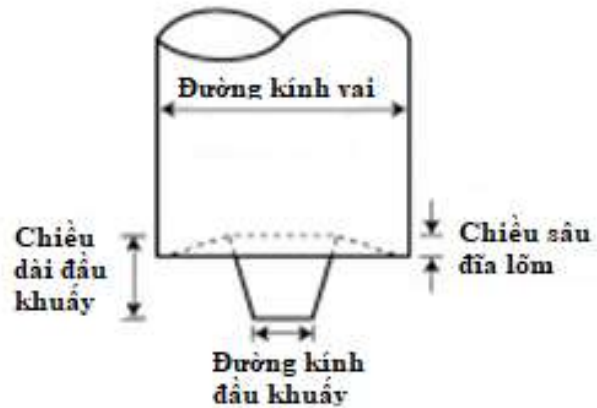
- Khả năng chống mài mòn và chịu nhiệt tốt (có thể tiếp xúc với phôi nóng tới 2.000°C).
- Độ bền và độ dẻo dai cao.
- Khả năng gia công và đánh bóng tuyệt vời. Điều đó giúp thép SKD61 ít bị biến dạng trong quá trình tôi thép.
- Độ cứng vừa cao. Sau khi xử lý nhiệt, độ cứng của thép SKD61 có thể lên đến 53HRC.

*** Nhiệt luyện thép SKD61**

- Ủ: 820~870°C
- Tôi: 1000~1050°C, làm nguội trong không khí
- Ram: 550~650°C, làm nguội trong không khí

3.1.2. Chế tạo đầu hàn ma sát khuấy

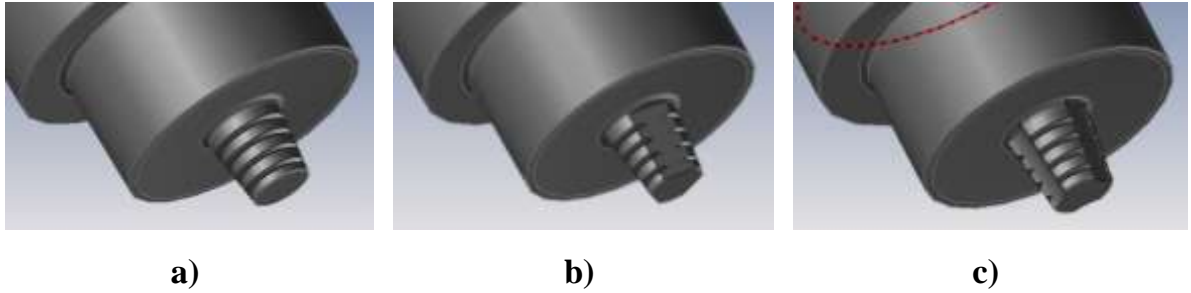
Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết ở chương 2, tác giả đề xuất nghiên cứu thực nghiệm với 3 loại đầu khuấy và thực hiện chế tạo đầu hàn FSW trên máy tiện CNC và không xử lý vật liệu đầu hàn để đảm bảo độ dẻo dai cho đầu hàn.



Hình 3.1. Cấu tạo của một đầu khuấy đơn giản

Bảng 3.5. Bảng thông số của các đầu khuấy

TT	Thông số cơ bản của đầu khuấy						Ghi chú
	Đường kính vai (mm)	Chiều dài đầu khuấy (mm)	Đường kính đầu khuấy (mm)	Chiều sâu đĩa lõm (mm)	Góc côn của đầu khuấy (độ)	Chiều dày phôi hàn (mm)	
1	16	5.1	5.5	0.3	7	5	Đầu khuấy tròn ren thang Bo tròn bờ vai R=0.5
2	16	5.1	5.5	0.3	7	5	Đầu khuấy phay vát đều 3 mặt ren thang Bo tròn bờ vai R=0.5
3	16	5.1	5.5	0.3	7	5	Đầu khuấy phay rãnh trụ 3 mặt ren thang Bo tròn bờ vai R=0.5

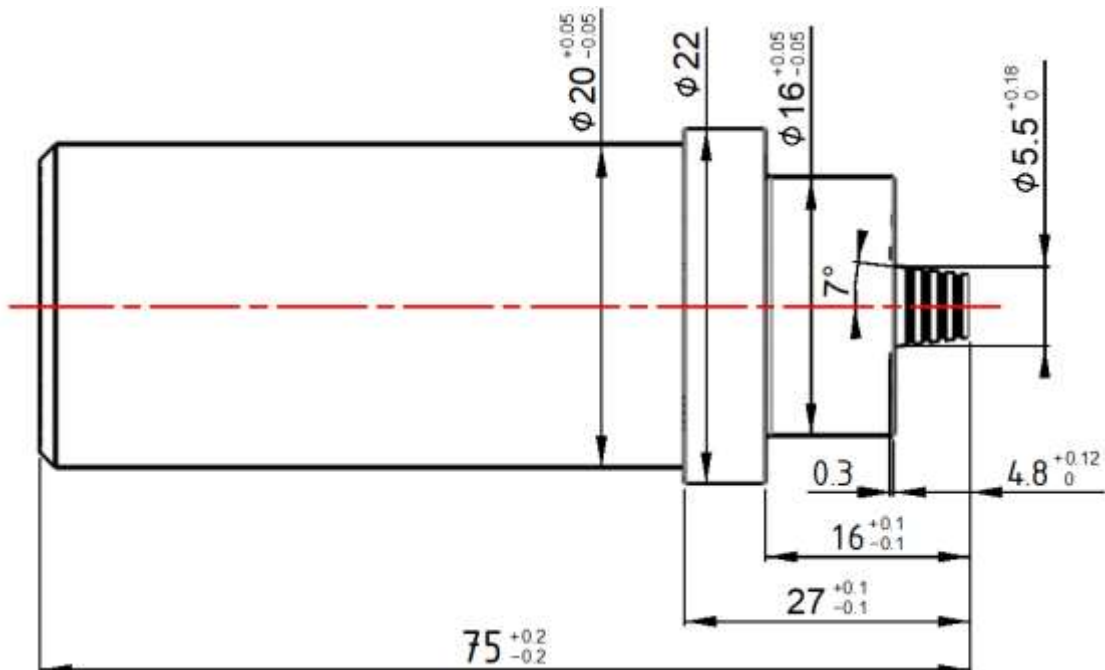


Hình 3.2. Hình ảnh thiết kế các loại đầu khuấy

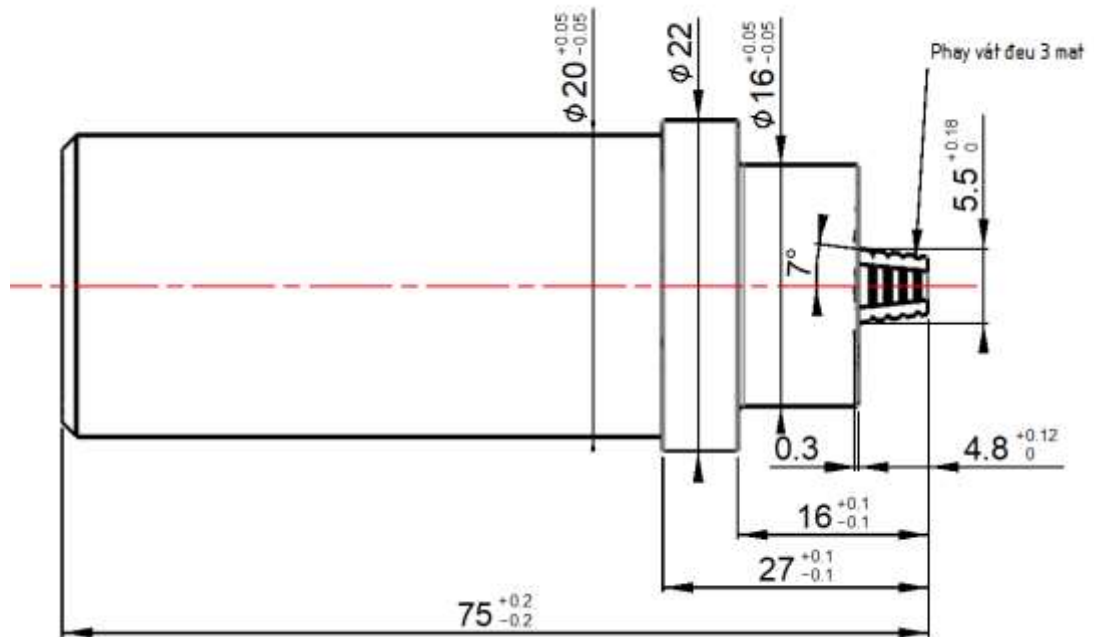
a) đầu khuấy số 1; b) đầu khuấy số 2; c) đầu khuấy số 3

Các đầu khuấy cơ bản có các thông số kích thước giống nhau nhưng chỉ khác nhau ở cấu trúc biên dạng của loại đầu khuấy: Đầu khuấy số 1 chỉ được tiện ren thang, đầu khuấy số 2 được phay vát 2 mặt phẳng cân xứng, đầu khuấy số 3 được phay 3 rãnh trụ cân xứng. Ba loại đầu khuấy này có hình dạng cơ bản phù hợp với khả năng công nghệ chế tạo hiện có để phục vụ quá trình thực nghiệm được diễn ra thuận tiện.

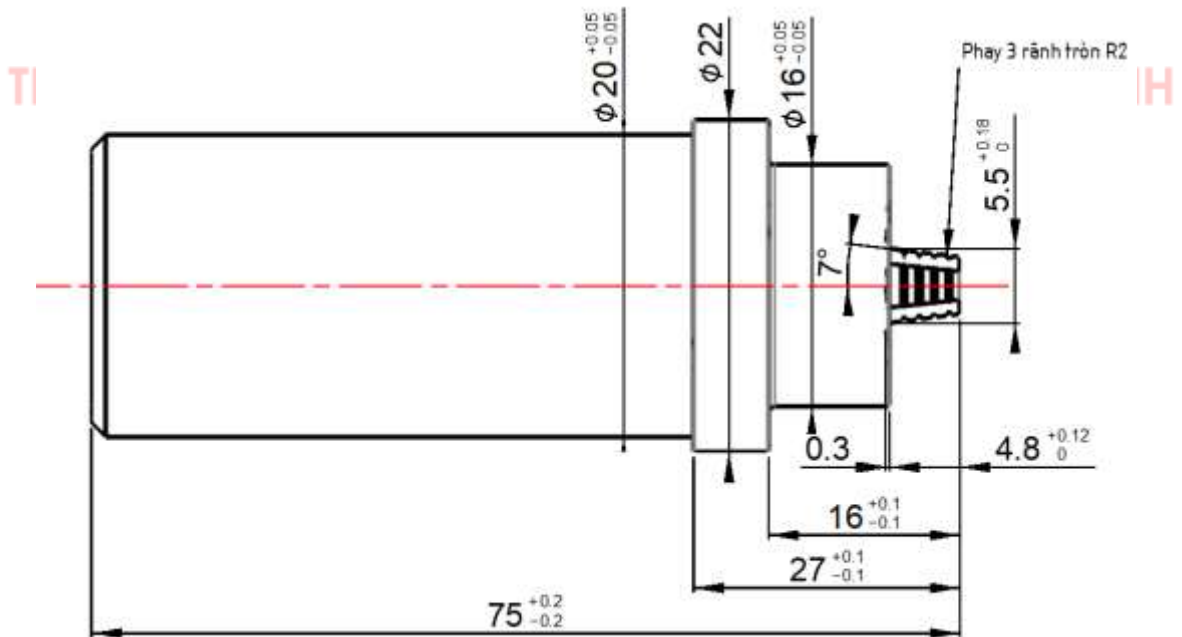
***) Thông số chế tạo của đầu khuấy**



Hình 3.3. Các kích thước cơ bản của đầu khuấy số 1



Hình 3.4. Các kích thước cơ bản của đầu khuấy số 2



Hình 3.5. Các kích thước cơ bản đầu khuấy số 3



a)

b)

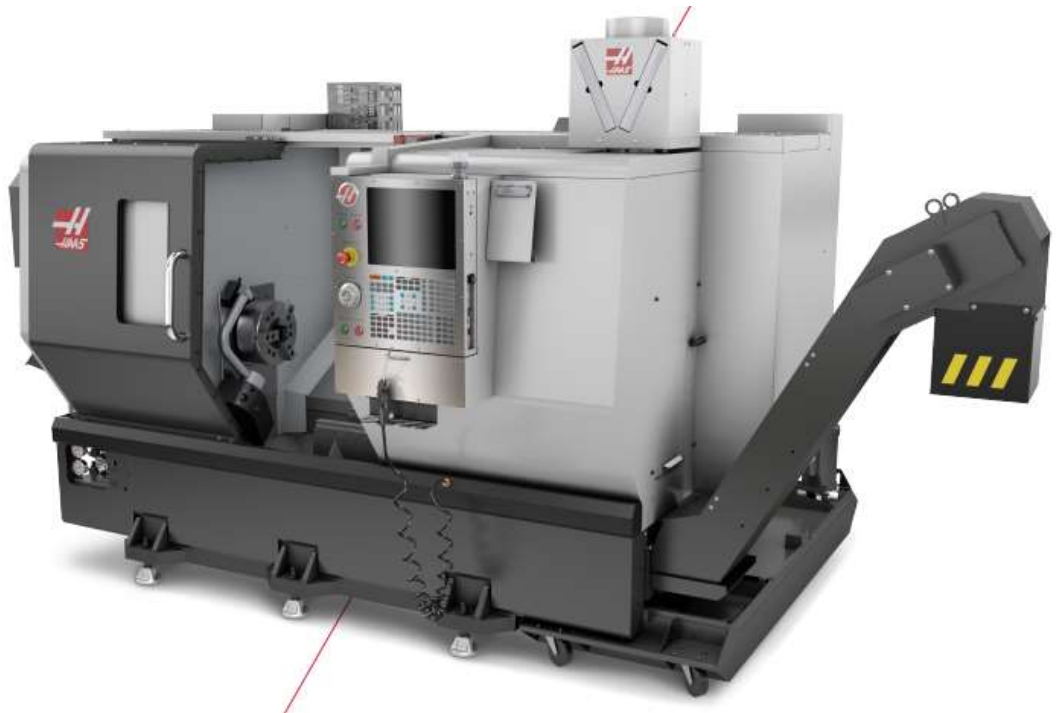
c)

Hình 3.6. Hình ảnh đầu khuấy dùng trong thực nghiệm

a) Đầu khuấy số 3; b) Đầu khuấy số 1; c) Đầu khuấy số 2

***) Chọn máy gia công đầu khuấy**

Máy tiện CNC HAAS ST20 có trục C



Hình 3.7. Máy tiện CNC HAAS ST20 có trục C

Bảng 3.6. Thông số máy tiện CNC HAAS ST20

Kích thước mâm cặp	210 mm
Đường kính cắt max (có turret)	381 mm
Đường kính cắt max (với BMT65 turret)	298 mm
Chiều dài cắt max (không mâm cặp)	572 mm
Đường kính thanh qua trục chính	64 mm
X axis	213 mm
Z axis	572 mm
Công suất max	14.9 kW
Tốc độ max	4000 rpm
Momen max	203 Nm @ 500 rpm
Số lượng dao	12 Stations

***) Chọn dụng cụ cắt**

Dao tiện trụ tròn phải, mảnh hợp kim cứng CNMG-120404EN-NS1-AP2320 sử dụng cho cả gia công thô và gia công tinh trên máy tiện CNC

Dao tiện trụ tròn phải, mảnh hợp kim cứng VNMG-120404EN-NS1-AP2320 sử dụng cho cả gia công ren đầu khuấy

Dao phay cầu hợp kim cứng $\phi 4$, AF50110-040 TIALN, sử dụng cho gia công 3 rãnh trên đầu khuấy

Dao phay ngón hợp kim cứng $\phi 6$, AF50110-060 TIALN, sử dụng cho gia công 3 mặt trên đầu khuấy

***) Quy trình gia công**

Bước 1. Gia công thô các mặt trụ với dao T101

Chế độ cắt: $v = 60$ m/phút; $f = 0.1$ mm/vòng; $ap = 0.1$ mm

Bước 2. Gia công tinh các mặt trụ

Chế độ cắt: $v = 60$ m/phút; $f = 0.05$ mm/vòng; $ap = 0.03$ mm

Bước 3: Gia công ren đầu khuấy bước 1.5 với dao T202

Chế độ cắt: $n = 100$ vòng/phút; $f = 1.5$ mm/vòng

Bước 4. Gia công 3 rãnh phân bố đều trên đầu khuấy với dao T909

Chế độ cắt: $n = 3500$ vòng/phút; $f = 100$ mm/phút; $ap = 0.5$ mm

***) Chương trình gia công**

%	=>P2500 M133
O00605 (dau khuay)	G0 C0 Z2.
G00 G18 G21 G40	X16.
G54 G80 G99	G01 X2.5 F50.
T101	X4. Z-2.7
M38	G00 X28.
G50 S1000	G0 Z3.
S50 G96 M03	C120.
G00 G54 Z2.	X16.
M08	G01 X2.5 F50.
X28.	X4. Z-2.7
G71 P10 Q20 U0.2 W0.1 D0.5 F0.1	G00 X28.
N10 G01 X4. Z0.	Z3.
X5.5 Z-4.8	C240.
X16.	X16.
Z-16.	G01 X2.5 F50.
N20 X28.	X4. Z-2.7
G70 P10 Q20 F0.05	G00 X28.
M09	G28 U0
M39	G28 W0
G28 U0	M135
G28 W0	M155
M05	M30
T303	%
S100 G97 M03	
G00 G54 Z2.	
G00 X16.	
M08	
G01 X7. Z0 F0.15	
G76 X4.8 Z-4.7 I-0.75 K0.6 D0.1 F1.5	
G00 X25.	
G28 U0	
G28 W0	
M05	
T909	
G00 G18 G21 G40	
G54 G80 G98	
M154	
=>	

3.2. Thực nghiệm hàn ma sát khuấy và xây dựng quy trình hàn

3.2.1. Mục tiêu thực nghiệm

- Thực nghiệm hàn ma sát khuấy cho mối hàn giáp mối nhôm hợp kim A5052
- Đánh giá chất lượng đầu khuấy và sự hình thành mối hàn
- Tìm ra thông số hàn phù hợp giữa đầu khuấy và vật liệu hàn

3.2.2. Hàn thực nghiệm nối nhôm A5052

3.2.2.1. Chuẩn bị thiết bị, vật tư cho thí nghiệm

Chuẩn bị phôi:

Phôi được chuẩn bị là nhôm A5052, kích thước 165x80x5, được làm sạch, phẳng



Hình 3.8. Phôi dùng trong thực nghiệm

Chuẩn bị thiết bị thực nghiệm



Hình 3.9. Máy phay dùng để hàn thực nghiệm

Máy phay 6P82

- Kích thước bàn máy: 320x1250
- Dịch chuyển lớn nhất của bàn máy, mm:
Trục dọc : 800mm
Trục ngang : 320mm
Trục thẳng đứng: 370mm
- Tốc độ quay trục chính, v/ph: 31,5-1600
- Bước tiến, mm/phút: 19 – 930
- Công suất động cơ truyền động trục chính: 7,5kw

*) Thiết kế đồ gá

Đồ gá đảm bảo định vị 2 tấm phôi chắc chắn, phần giáp môi luôn được tiếp xúc đều.

Đồ gá được tạo ra cân đảm bảo tính kẹp chặt, định vị phôi theo các hướng:

- Hướng dọc trục (trục z): Giữ phôi không bị võng xuống khi khuấy
- Hướng nằm ngang, dọc (trục x,y): Giữ phôi không bị tách rời nhau khi khuấy
- Hướng xoay: Giữ phôi không bị xoay theo các hướng khi khuấy

Phần kẹp chặt đồ gá và giữ phôi được dùng bằng cầu gá và lực kẹp bằng ren vít,

Để đảm bảo các yêu cầu này, một đồ gá đơn giản được sử dụng là thép tấm dày 30 mm, dùng máy phay để tạo hình đồ gá như sau:



Hình 3.10. Đồ gá dùng trong thực nghiệm

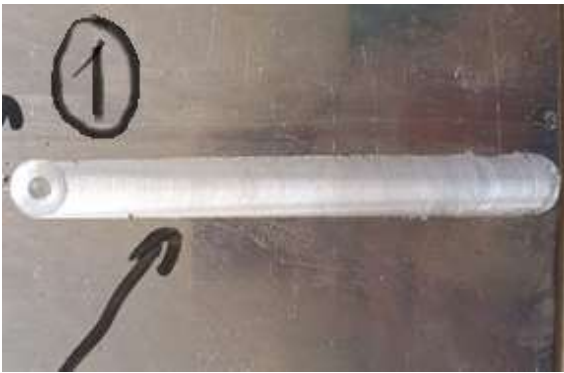


3.2.2.2. Hàn thực nghiệm để xác định thông số hàn

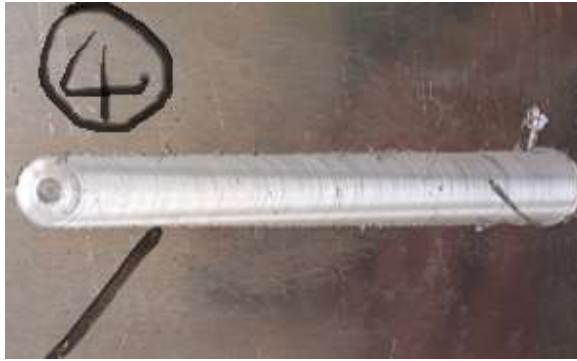



Thông qua việc phân tích cơ sở lý thuyết của quá trình hàn khuấy, các thí nghiệm nhằm xác định các thông số hàn cơ bản với các bộ thông số hàn. Để đảm bảo quá trình thực nghiệm diễn ra thuận lợi, các bước tiến hành xác định thông số hàn được thực hiện trên đầu khuấy số 1, do hình dạng và cấu tạo của đầu khuấy số 1 làm bằng thép SKD61 gần giống với đầu khuấy đã được thực nghiệm trên đầu khuấy thép C45 tôi của các đề tài nghiên cứu trước đây, nên tác giả sử dụng đầu khuấy số 1 để làm thực nghiệm trước để đưa ra bộ thông số hàn hợp lý, phù hợp với đầu khuấy làm bằng thép SKD61.



Bảng 3.7. Bảng thông số hàn ma sát khuấy của đầu khuấy số 1

Thông số hàn	Mức dưới	Mức giữa		Mức trên	Khoảng biến thiên
$n_{\text{hàn}}$ (vòng/phút)	630	800		1000	170 ÷ 200
$f_{\text{hàn}}$ (mm/phút)	25	31.5		40	6.5 ÷ 8.5

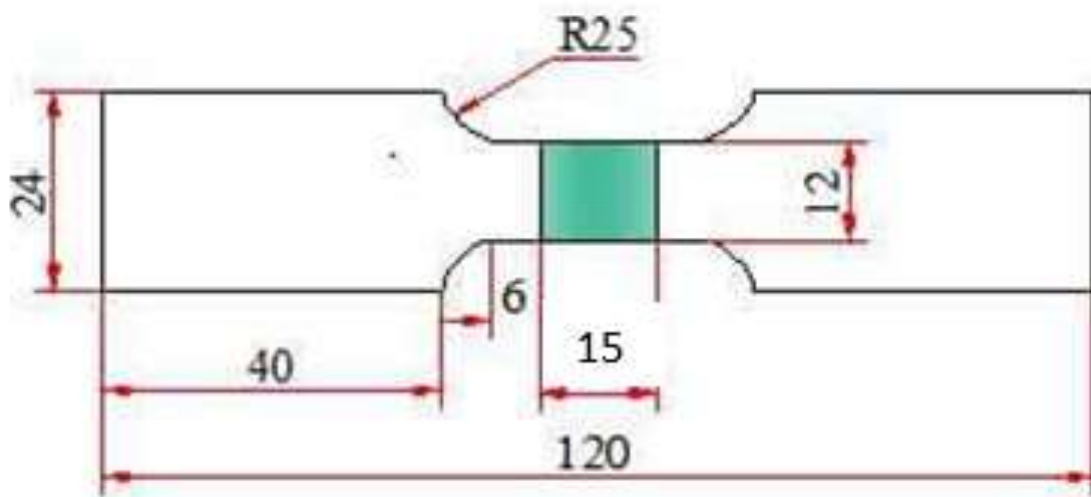
Bảng 3.8. Kết quả thực nghiệm hàn ma sát khuấy của đầu khuấy số 1

TT	Thông số hàn	Hình dáng mối hàn đạt được	Kết quả
TN 1	$n = 630$ (v/ph) $f = 25$ (mm/ph) $Z = 4.7$ (mm) $t = 10$ (giây)		- Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vĩa phía lùi của mối hàn không còn - Mối hàn ngấu
TN 2	$n = 800$ (v/ph) $f = 25$ (mm/ph) $Z = 4.7$ (mm) $t = 10$ (giây)		- Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vĩa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Mối hàn ngấu nhưng vẫn còn hiện tượng rỗng chân mối hàn
TN 3	$n = 1000$ (v/ph) $f = 25$ (mm/ph) $Z = 4.7$ (mm) $t = 10$ (giây)		- Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vĩa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Không ngấu hết, vẫn còn hiện tượng rỗng chân mối hàn

TN 4	<p>n = 1000 (v/ph) f = 31.5 (mm/ph) Z = 4.7 (mm) t = 10 (giây)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vìa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Không ngấu hết, vẫn còn hiện tượng rỗng chân mối hàn
TN 5	<p>n = 800 (v/ph) f = 31.5 (mm/ph) Z = 4.7 (mm) t = 10 (giây)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vìa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Mối hàn cơ bản ngấu hết, vẫn còn hiện tượng rỗng chân mối hàn nhưng không rõ rệt
TN 6	<p>n = 630 (v/ph) f = 31.5 (mm/ph) Z = 4.7 (mm) t = 10 (giây)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vìa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Không ngấu hết, hiện tượng rỗng chân mối hàn khá rõ rệt.
TN 7	<p>n = 630 (v/ph) f = 40 (mm/ph) Z = 4.7 (mm) t = 10 (giây)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vìa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Mối hàn cơ bản đã ngấu hết

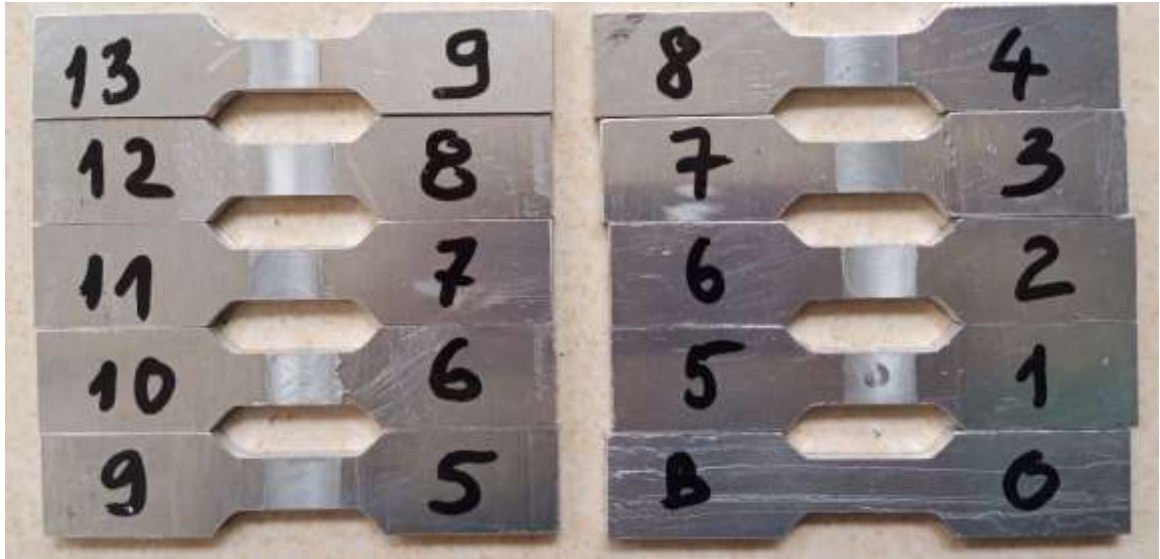
TN 8	$n = 800$ (v/ph) $f = 40$ (mm/ph) $Z = 4.7$ (mm) $t = 10$ (giây)		<ul style="list-style-type: none"> - Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vĩa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Mối hàn chưa nguội hết, vẫn còn hiện tượng rỗng chân mối hàn
TN 9	$n = 1000$ (v/ph) $f = 40$ (mm/ph) $Z = 4.7$ (mm) $t = 10$ (giây)		<ul style="list-style-type: none"> - Bề mặt mối hàn mịn, sáng bóng - Ba vĩa phía lùi của mối hàn vẫn còn - Mối hàn chưa nguội hết, hiện tượng rỗng chân mối hàn khá rõ

Lấy mẫu mỗi mối hàn một mẫu để đi đem thử kéo và so sánh với kim loại cơ bản
Cắt vật phẩm và kim loại cơ bản theo kích thước mẫu thử kéo như các thông số trên hình vẽ sau [11]:



Hình 3.11. Kích thước mẫu thử kéo

Được một số mẫu như sau:



Hình 3.12. Mẫu thử kéo

Lựa chọn sử dụng bảng trực giao có 9 lần thí nghiệm theo phương pháp Taguchi có 7 bước cơ bản:

Bước 1: Chọn các biến độc lập (hay yếu tố - Factor), biến điều khiển (Control Variable) và biến đáp ứng (Response), hàm mục tiêu (Fitness, Objective function);

Bước 2: Xác định mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến mục tiêu, các quan hệ có thể có giữa các yếu tố (gọi là bậc tự do – degree of freedom) và phân toàn bộ dải biến thiên của các biến thành các mức (Level);

Bước 3: Tạo cấu trúc mảng (mảng trực giao) trong đó cột là các biến, hàng là các thí nghiệm;

Bước 4: Tiến hành thí nghiệm để thu thập số liệu;

Bước 5: Phân tích số liệu theo S/N và xác định các giá trị tối ưu của các tham số;

Bước 6: Phân tích phương sai (Analysis of Variance – ANOVA), xác định ảnh hưởng của các yếu tố đến đầu ra;

Bước 7 : Tính toán lại hàm mục tiêu theo bộ tham số tối ưu và kiểm chứng lại bằng thực nghiệm.

- Ưu điểm phương pháp này đơn giản, đòi hỏi số lượng thí nghiệm ít, đặc biệt lợi thế với dữ liệu thực nghiệm rời rạc, có thể định lượng hoặc định tính.

- Nhược điểm của phương pháp này là do số liệu rời rạc nên kết quả nhận được chỉ là gần tối ưu, không đưa vào được các điều kiện ràng buộc và chỉ giải được các bài toán tối ưu hóa một mục tiêu.

Sau khi tiến hành thực nghiệm với ma trận ở trên, tiến hành thử kéo trên từng mẫu phôi ta thu được kết quả như sau:

Bảng 3.9. Số liệu thực nghiệm và kết quả thử kéo

TT	THÔNG SỐ HÀN		Kết quả thử kéo	Ghi chú
	nhàn (vòng/phút)	f _{hàn} (mm/phút)	Lực kéo đứt lớn nhất (kN)	
0			21.44	Kim loại cơ bản
1	630	25	17.73	TN 1
2	630	31.5	10.98	TN 6
3	630	40	6.33	TN 7
4	800	25	16.25	TN 2
5	800	31.5	11.25	TN 5
6	800	40	10.07	TN 8
7	1000	25	8.93	TN 3
8	1000	31.5	10.07	TN 4
9	1000	40	8.21	TN 9

Từ bảng 3.9 đã thiết lập ở trên ta xác định được kết quả đo lực kéo đứt lớn nhất.

Theo đó tính giá trị trong cột S/N:

Yêu cầu sản phẩm sau gia công có lực kéo đứt lớn nhất, ta chọn công thức tính μ như sau:

$$\mu = 10 \log_{10}(\text{MSD})$$

Do kết quả đầu ra càng nhỏ càng tốt nên công thức tính MSD được áp dụng:

$$\text{MSD} = (Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2) / N$$

Ta thu được kết quả như bảng 3.10. Kết quả thử kéo và số liệu tính toán

Bảng 3.10. Kết quả thử kéo và số liệu tính toán

TT	THÔNG SỐ HÀN		Kết quả thử kéo	μ
	nhàn (vòng/phút)	f hàn (mm/phút)	Lực kéo đứt lớn nhất (kN)	
1	630	25	17.730	12.487
2	630	31.5	10.980	10.406
3	630	40	6.330	8.014
4	800	25	16.250	12.109
5	800	31.5	11.250	10.512
6	800	40	10.070	10.030
7	1000	25	8.930	9.509
8	1000	31.5	10.070	10.030
9	1000	40	8.210	9.143
Tổng			99.820	92.240

Tại bảng 3.10 ta tính được giá trị μ trung bình của từng yếu tố tại từng mức $n_i = (\text{tổng tất cả các kết quả với đầu vào là yếu tố } n \text{ tại mức } i)/3$;

$f_j = (\text{tổng tất cả các kết quả với đầu vào là yếu tố } f \text{ tại mức } j)/3$;

Kết quả được thể hiện trong bảng 3.11

Bảng 3.11. Kết quả tỉ lệ S/N của từng yếu tố tại từng mức

S/N của yếu tố n		
n ₁	n ₂	n ₃
10.883	10.883	9.561
S/N của yếu tố f		
f ₁	f ₂	f ₃
11.368	10.316	9.063

Tương tự ta cũng tính được giá trị lực kéo đứt lớn nhất của từng yếu tố tại từng mức. kết quả thể hiện trong bảng 3.12

Bảng 3.12. Kết quả lực kéo đứt lớn nhất của từng yếu tố tại từng mức

Lực kéo đứt lớn nhất (kN) /3 của yếu tố n tại từng mức		
n ₁	n ₂	n ₃
11.680	12.523	9.070
Lực kéo đứt lớn nhất (kN) /3 của yếu tố f tại từng mức		
f ₁	f ₂	f ₃
11.368	10.767	8.203

Phân tích phương sai được dùng để miêu tả quan hệ giữa các thông số chế độ cắt và độ nhám bề mặt Ra.

Bảng 3.9 tổng hợp các kết quả tính toán với công thức tính tổng bình phương như sau:

$$3(m_{j1} - m)^2 + 3(m_{j2} - m)^2 + 3(m_{j3} - m)^2$$

$$m = \left(\frac{1}{9}\right) \sum_{i=1}^9 \mu_i = 10.249$$

Trong đó: $m_{ji} = \left(\frac{1}{3}\right) \sum_{i=1}^3 (n_{ji})_i$

Bảng 3.13. Ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt chi tiết theo ANOVA

Thông số	Giá trị μ của từng cấp độ			Tổng bình phương	Phân bố (%)
	1	2	3		
n	* 10.883	10.883	9.561	3.837	32.433
f	* 11.368	10.316	9.063	7.993	67.567
Tất cả				11.830	
* Cấp độ tối ưu					

*) **Xây dựng thông số hàn ma sát khuấy khi hàn hợp kim nhôm A5052 dày 5mm** Kết quả của các phân tích ANOVA ở bảng 13 cho các giá trị thông số trong bảng 3.13 chứng tỏ lượng di chuyển ngang của đầu khuấy có ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng mối hàn là 67.567%; Sau đó mới đến tốc độ quay của đầu khuấy là 32.433%. Điều này phù hợp với quá trình hàn, khi tốc độ quay của đầu khuấy $n_{hàn}$ tăng theo một quy luật thì độ bền kéo của mối hàn giảm xuống không đáng kể,

nhưng khi lượng dịch chuyển ngang $f_{\text{hàn}}$ tăng lên thì độ bền kéo của mối hàn giảm xuống nhanh. Do đó sự ảnh hưởng của lượng dịch chuyển ngang của đầu hàn khi hàn ảnh hưởng nhiều hơn tốc độ quay của của đầu khuấy.

Qua phân tích các thông số ở trên ta thấy rằng khi tăng tốc độ quay của đầu khuấy từ n_1 đến n_3 thì lực kéo đứt lớn nhất giảm dần.

Khi di chuyển ngang của đầu khuấy tăng dần từ f_1 đến f_3 thì độ nhám Ra lực kéo đứt lớn nhất giảm dần.

Theo Taguchi thì giá trị lớn nhất của μ sẽ cho kết quả là tối ưu nhất, do đó các hệ số nên được chọn với cấp độ cao nhất của μ .

Vậy để lực kéo đứt lớn nhất ta chọn các thông số chế độ hàn tối ưu là tốc độ quay của đầu khuấy ở mức thấp (mức 1), di chuyển ngang của đầu khuấy ở mức thấp (mức 1),

Chế độ hàn hợp lý là: $n = 630$ (vòng/phút); $f = 25$ (mm/phút)

➤ Từ đó dùng chế độ hàn này để hàn thực nghiệm kiểm tra đánh giá chất lượng với đầu khuấy số 2 và đầu khuấy số 3.

3.2.2.3. Hàn thực nghiệm đánh giá chất lượng các loại đầu khuấy:

Đánh giá đầu khuấy số 2

- **Thực nghiệm 10:** Hàn đánh giá đầu khuấy số 1, đường hàn thứ nhất với thông số hàn bao gồm: Tốc độ quay của đầu khuấy $n = 630$ vòng/phút; bước tiến $f = 25$ mm/phút,

* Sau khi hàn thực nghiệm hết đường hàn thứ nhất cho kết quả như sau:

- + Mỗi hàn cho chất lượng không cao, bề mặt mỗi hàn bị cào xước nhiều và xốp,
- + Đầu hàn có hiện tượng mỏi do làm việc ở trong điều kiện mô men xoắn lớn



Hình 3.13. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 2 ở lần hàn thứ 1

* - **Thực nghiệm 11:** Hàn đánh giá đầu khuấy số 2, đường hàn thứ 2 với thông số hàn bao gồm: Tốc độ quay của đầu khuấy $n = 630$ vòng/phút; bước tiến $f = 25$ mm/phút

- Sau khi hàn thực nghiệm 11 cho kết quả như sau:

+ Quá trình đầu khuấy đi vào vật liệu hàn có dấu hiệu không ổn định, đầu khuấy có hiện tượng quay lắc,

+ Sau một đoạn ngắn đầu hàn bị đứt và nằm trong phôi



Hình 3.14. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 2 ở lần hàn thứ 2

Nguyên nhân: Do đầu hàn được phay vát 3 mặt đều nhau, khi đầu khuấy đi vào vùng vật liệu hàn có ma sát cản trở lớn do tốc độ quay của đầu hàn quay ở tốc độ cao kết hợp với lượng dịch chuyển ngang của đầu hàn làm vùng kim loại chảy dẻo tạo ra liên tục ở các mép cạnh tiếp xúc của 3 mặt vát cạnh sinh ra lực cản trở quá trình quay của đầu hàn, lực đó tác dụng trực tiếp vào 3 cạnh mặt vát của đầu khuấy làm cho đầu khuấy chịu một lực mô men xoắn lớn. Đồng thời điều kiện làm việc ở nhiệt độ cao dẫn đến độ bền của đầu khuấy giảm nhanh, và bị phá hủy do mỏi

Đánh giá đầu khuấy số 3

- **Thực nghiệm 12:** Hàn đánh giá đầu khuấy số 3, đường hàn thứ nhất với thông số hàn bao gồm: Tốc độ quay của đầu khuấy $n = 630$ vòng/phút; bước tiến $f = 25$ mm/phút,

* Sau khi hàn thực nghiệm hết đường hàn thứ nhất cho kết quả như sau: + Mỗi hàn cho chất lượng tốt hơn, bề mặt mỗi hàn được cải thiện hơn nhiều so với thí nghiệm 11,



Hình 3.15. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 3 ở lần hàn thứ 1

+ Đầu hàn có hiện tượng mỏi do làm việc ở trong điều kiện mô men xoắn lớn

* - **Thực nghiệm 13:** Hàn đánh giá đầu khuấy số 3, đường hàn thứ 2 với thông số hàn bao gồm: Tốc độ quay của đầu khuấy $n = 630$ vòng/phút; bước tiến $f = 25$ mm/phút

- Sau khi hàn thực nghiệm 13 cho kết quả như sau:

+ Quá trình đầu khuấy đi vào vật liệu hàn có dấu hiệu không ổn định, đầu khuấy có hiện tượng quay lắc,
+ Sau một đoạn ngắn đầu hàn bị đứt và nằm trong phôi



Hình 3.16. Đường hàn khi hàn bằng đầu khuấy số 3 ở lần hàn thứ 2

Nguyên nhân: Do đầu hàn được phay 3 rãnh cầu mặt đều nhau, khi đầu khuấy đi vào vùng vật liệu hàn có ma sát cản trở lớn tác dụng trực tiếp vào 3 cạnh rãnh cầu của đầu khuấy làm cho đầu khuấy chịu một lực mô men xoắn lớn, đồng thời điều kiện làm việc ở nhiệt độ cao dẫn đến độ bền của đầu khuấy giảm nhanh, và bị phá huỷ do mỏi

Đánh giá đầu khuấy số 1

- Sau khi hàn thực nghiệm từ đường hàn số 1 đến đường hàn số 9, đầu khuấy số 1 với 9 đường hàn đầu khuấy số 1 vẫn đảm bảo điều kiện làm việc, đường hàn cho chất lượng ổn định ngay cả khi thay đổi thông số tốc độ quay và bước tiến của đầu khuấy.

KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Trong chương này tác giả đã thực hiện các nội dung cơ bản sau:

- Thiết kế thí nghiệm theo yêu cầu đề tài: Chọn máy tiện CNC, chọn vật liệu, dụng cụ cắt để gia công đầu khuấy. Chọn máy, đồ gá và vật liệu để hàn thực nghiệm đầu khuấy, lựa chọn mảng trực giao và thiết kế ma trận thí nghiệm;

- Bảng nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm bằng phương pháp Taguchi và phân tích phương sai đã xác định được bộ thông số chế độ hàn ma sát khuấy hợp kim nhôm A5052 hợp lý.

- Bảng thực nghiệm đã đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các thông số chế độ hàn đến cơ tính của mối hàn như sau: Lượng di chuyển ngang của đầu khuấy có ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng mối hàn là 67.567%; Sau đó mới đến tốc độ quay của đầu khuấy là 32.433%. Kết quả nghiên cứu cũng đưa ra được bộ thông số hàn ma sát khuấy hợp lý cho nhôm hợp kim A5052, đầu khuấy sử dụng là thép SKD61 với tốc độ vòng quay của đầu hàn $n = 630$ vòng/phút, tốc độ di chuyển ngang của đầu hàn $f = 25$ mm/phút, thời gian dừng ban đầu $t = 10$ giây, và chiều sâu hàn $z = 4,7$ mm;

- Quá trình nghiên cứu thực nghiệm cũng cho thấy chất lượng đầu khuấy có sự khác biệt khi thay đổi cấu trúc của đầu khuấy, đồng thời cũng rút ra được một vấn đề là mỗi loại đầu khuấy có cấu trúc khác nhau cần xác định một thông số hàn khác nhau để đảm bảo độ bền khi làm việc. Qua đó xác định được tính ổn định của 3 loại biên dạng đầu hàn ma sát khuấy làm từ thép SKD61, hàn ma sát khuấy nhôm hợp kim A5052 và đầu hàn số 1 cho kết quả tốt nhất khi ở cùng một làm việc ở cùng một điều kiện.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Trên cơ sở tìm hiểu tổng quan về nghiên cứu công nghệ hàn ma sát khuấy trong và ngoài nước tác giả nhận thấy các nghiên cứu đó tập trung chủ yếu vào các thông số của quy trình hàn nhôm và hợp kim nhôm, đồng thời cũng tìm ra và nghiên cứu ban đầu về một số loại đầu khuấy sử dụng thép C45 sau tôi. Từ đó, tác giả đã xác định được hướng nghiên cứu và mục tiêu của đề tài của luận văn, tập trung nghiên cứu chế tạo đầu khuấy và hàn giáp mối hợp kim nhôm để tìm ra các thông số phù hợp của đầu hàn và chế độ hàn đối với vật liệu nhôm hợp kim A5052.

Các nội dung lý thuyết về khái niệm, nguyên lý, khả năng ứng dụng và đặc điểm của công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm, tác giả thấy rằng công nghệ hàn ma sát khuấy nhôm là công nghệ có sự ảnh hưởng nhiệt của vùng hàn đối với kim loại lân cận nhỏ, cho mối hàn chất lượng cao. Cho phép khả năng tự động hoá và nâng cao chất lượng mối hàn.

Qua nghiên cứu cho thấy rằng chất lượng của mối hàn ma sát khuấy phụ thuộc nhiều vào chế độ hàn, đồng thời cấu trúc của đầu hàn cũng ảnh hưởng không nhỏ đến quá trình hàn. Trong đó ảnh hưởng nhiều hơn là thông số vận tốc quay, tốc độ tiến ngang của đầu khuấy sau đó là cấu trúc của mỗi loại đầu khuấy;

Trên thực tế, công nghệ, trang thiết bị và chế độ hàn ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng mối hàn. Do đó những nội dung được nghiên cứu lý thuyết nhằm mục đích làm cơ sở nghiên cứu những vấn đề quan trọng trong các nội dung thực nghiệm của luận văn bao gồm lựa chọn vật liệu, công nghệ để chế tạo đầu khuấy; lựa chọn máy móc, trang thiết bị, vật liệu và thông số công nghệ cho quá trình hàn ma sát khuấy phù hợp nhất.

Bằng nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm bằng phương pháp Taguchi và phân tích phương sai đã xác định được bộ thông số chế độ hàn ma sát khuấy hợp kim nhôm A5052 hợp lý.

Bằng thực nghiệm đã đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các thông số chế độ hàn đến cơ tính của mối hàn như sau: Lượng di chuyển ngang của đầu khuấy có ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng mối hàn là 67.567%; Sau đó mới đến tốc độ quay của đầu khuấy là 32.433%. Kết quả nghiên cứu cũng đưa ra được bộ thông số

hàn ma sát khuấy hợp lý cho nhôm hợp kim A5052, đầu khuấy sử dụng là thép SKD61 với tốc độ vòng quay của đầu hàn $n = 630$ vòng/phút, tốc độ di chuyển ngang của đầu hàn $f = 25$ mm/phút, thời gian dừng ban đầu $t = 10$ giây, và chiều sâu hàn $z = 4,7$ mm;

Quá trình nghiên cứu thực nghiệm cũng cho thấy chất lượng đầu khuấy có sự khác biệt khi thay đổi cấu trúc của đầu khuấy, đồng thời cũng rút ra được một vấn đề là mỗi loại đầu khuấy có cấu trúc khác nhau cần xác định một thông số hàn khác nhau để đảm bảo độ bền khi làm việc. Qua đó xác định được tính ổn định của 3 loại biên dạng đầu hàn ma sát khuấy làm từ thép SKD61, hàn ma sát khuấy nhôm hợp kim A5052 và đầu hàn số 1 cho kết quả tốt nhất khi ở cùng một làm việc ở cùng một điều kiện.

Sự thành công bước đầu trong nghiên cứu mở ra rất nhiều hướng nghiên cứu tiếp theo như sau:

- Chế tạo các loại đầu khuấy của để hàn nối các tấm nhôm hợp kim A5052 với các chiều dày lớn hơn và hàn nối các mối hàn nhôm hợp kim với các biên dạng cong và phức tạp hơn;

- Hàn nối các vật liệu có đặc tính vật lý cơ học khác có tính hàn kém như: Các hợp kim nhôm khác, hợp kim đồng, và các loại kim loại màu khác;

- Chế tạo thiết bị hàn ma sát khuấy để ứng dụng vào thực tế sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Eur. Ing. C.E.D.Rowe. B.Sc.C.Eng.C.Sci.MIMMM SenWWeldl (), *Advances in tooling materials for friction stir welding*, TWI and Cedar Metals Ltd.
- [2]. Thân Trọng Khánh Đạt (2014), *Nghiên cứu sự ảnh hưởng của góc nghiêng đầu dụng cụ đến chất lượng mối hàn ma sát khuấy trên tấm nhôm phẳng*, Đại học Bách khoa TP HCM
- [3]. P L Threadgill¹, A J Leonard², H R Shercliff³ and P J Withers*⁴ (2009), *Friction stir welding of aluminium alloys*, 1TWI, Granta Park, Great Abington CB21 6AL, UK
2BP International, Compass Point, 79-87 Kingston Rd, Staines, Middx TW18 1DY, UK 3Department of Engineering, University of Cambridge, Trumpington Street, Cambridge CB2 1PZ, UK 4School of Materials, University of Manchester, Rosvenor Street, Manchester M1 7HS, UK
- [4]. Đỗ Thanh Tùng , Nguyễn Thúc Hà , Lê Đăng Thắng, Trần Văn Châu (2016), *Nghiên cứu chế tạo đầu hàn ma sát ngoáy đối với hợp kim nhôm*, Đại học bách khoa Hà Nội
- [5]. Dương Đình Hào, Trần Hưng Trà, Vũ Công Hòa, Phí Công Thuyên (2015), *Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số hàn đến sự phân bố nhiệt độ và cấu trúc mối hàn ma sát ngoáy tấm hợp kim nhôm AA-7075-T6*, kỷ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về Cơ khí - lần thứ IV.
- [6]. Mai Đăng Tuấn, Lê Bảo Phụng, TS. Lưu Phương Minh, TS. Trần Thiên Phúc (2012), *nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố đến chất lượng mối hàn ma sát khuấy trên tấm nhôm phẳng*, trường ĐHBK TPHCM tại hội nghị khoa học công nghệ năm 2012.
- [7] The ESAB group (), *Friction Stir Welding*, Technical Handbook
- [8] Mohamadreza Nourani, Abbas S. Milani, Spiro Yannacopoulos (2011), *Taguchi Optimization of Process Parameters in Friction Stir Welding of 6061 aluminum Alloy: A Review and Case Study*, School of Engineering, University of British Columbia, Okanagan Campus, Kelowna, Canada

- [9] Seung Hwan Park, Hitachinaka (JP); Satoshi Hirano, Hitachi (JP) (2010), *FRICTION STIR WELDING METHOD*, United States Patent
- [10] W.H.Kielhorn, Chairman, Armao, H.A. Chambers (1997), *Aluminum and aluminum alloys*, America Welding Society Inc
- [11] AWS Structural welding committee (1997), *Structural Welding Code - Aluminum*
- [12] I. Charit, Z.Y. Ma, R.S. Mishra, in: Z. Jin, A. Beaudoin, T.A. Bieler, B. Radhakrishnan (Eds.), *Hot Deformation of Aluminum Alloys III*, TMS, 2003, pp. 331–342.