

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả là Bùi Trọng Nghĩa, học viên lớp Cao học chuyên ngành Kỹ thuật cơ khí – Khóa, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định, đã tiến hành thực hiện đề tài: ***“Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ hàn TIG xung đến chất lượng của liên kết hàn từ hợp kim nhôm A6061”***, dưới sự giúp đỡ, hướng dẫn khoa học của TS. Nguyễn Hồng Thanh.

Tác giả cam đoan rằng: ngoại trừ các số liệu, các bảng biểu, đồ thị, ... đã được trích dẫn trong các tài liệu tham khảo thì nội dung công bố còn lại trong luận văn này là của chính tác giả đưa ra. Nếu sai, tác giả xin hoàn toàn chịu trách nhiệm.

Nam Định, ngày tháng năm 2021

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
MỤC LỤC	ii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT	iv
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	v
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ	vi
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG I NHÔM VÀ HỢP KIM NHÔM.....	3
1.1. Giới thiệu về nhôm và hợp kim nhôm	3
1.1.1 Đặc điểm.....	3
1.1.2 Phân loại nhôm và hợp kim nhôm.....	6
1.2 Hợp kim nhôm A6061	10
1.2.1 Đặc tính.....	10
1.2.2 Thông số kỹ thuật của hợp kim nhôm A6061	11
1.2.3 Ứng dụng	12
1.3 Tình hình nghiên cứu trong nước và nước ngoài	14
1.3.1 Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài.....	14
1.3.2 Tình hình nghiên cứu trong nước	15
Kết luận chương 1:	18
CHƯƠNG II CÔNG NGHỆ HÀN TIG NHÔM VÀ HỢP KIM NHÔM.....	19
2.1 Tổng quan về các quá trình hàn nhôm và hợp kim nhôm.....	19
2.1.1 Hàn ma sát	19
2.1.2 Hàn điện trở	20
2.1.3 Hàn hồ quang tay (SMAW).....	21
2.1.4 Hàn hồ quang dưới lớp thuốc (SAW).....	21
2.1.5 Hàn hồ quang với điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (GMAW)	21
2.1.6 Hàn hồ quang điện cực không nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (GTAW).....	23
2.2 Quá trình hàn TIG	23
2.2.1 Nguyên lý, đặc điểm và ứng dụng của hàn TIG.....	23
2.2.2 Thiết bị hàn TIG	26
2.2.3 Vật liệu hàn nhôm và hợp kim nhôm	28

2.3 Công nghệ hàn TIG	30
2.3.1 Dòng điện hàn.....	30
2.3.2 Chế độ hàn TIG	32
2.4 Kỹ thuật hàn nhôm A6061 bằng phương pháp hàn TIG.....	33
2.4.1 Tính công nghệ của hợp kim nhôm A6061	33
2.4.2 Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng hàn	35
2.4.3 Chế độ hàn nhôm A6061	41
Kết luận chương 2:	43
CHƯƠNG III NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG CỦA CHẾ ĐỘ HÀN TIG XUNG VỚI MỐI HÀN GHÉP HỢP KIM NHÔM A6061	44
3.1. Mục đích nghiên cứu thực nghiệm.....	44
3.2. Xây dựng quy trình hàn sơ bộ cho hợp kim nhôm A6061	44
3.2.1. Kim loại cơ bản	44
3.2.2. Vật liệu hàn.....	44
3.2.3. Thiết kế mối ghép hàn TIG hợp kim nhôm A6061	45
3.2.4. Chuẩn bị phôi hàn.....	46
3.2.5 Tiến hành hàn	46
3.2.6 Kết quả.....	53
3.3 Mô phỏng số quá trình hàn TIG nhôm.....	54
3.3.1 Mô hình nguồn nhiệt	54
3.3.2 Thông số quá trình hàn và mô phỏng	55
3.2.9 Kết quả thử kéo mối hàn.....	57
Kết luận chương 3:	61
3.4 Đánh giá kết quả và bàn luận	62
3.4.1 Các kết quả thu được.....	62
3.4.2 Kết luận và kiến nghị	62
3.4.2.1 Kết luận.....	62
3.4.2.2 Kiến nghị	62
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	63

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

TT	Kí hiệu/ chữ viết tắt	Ý nghĩa
1	KLCB	Kim loại cơ bản
2	KLMH	Kim loại mối hàn
3	HAZ	Vùng ảnh hưởng nhiệt
4	I_h	Cường độ dòng điện hàn
5	U_h	Điện áp hàn
6	V_h	Vận tốc hàn
7	MIG (GMAW)	Hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ với điện cực nóng chảy (Metal Inert Gas)
8	TIG (GTAW)	Hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ với điện cực không nóng chảy (Tungsten Inert Gas)
9	SMAW(MMA)	Hàn hồ quang que hàn thuốc bọc (Submerged Metal Arc Welding)
10	B	Bề rộng mặt lõi mối hàn
11	H	Chiều cao mặt lõi mối hàn
12	b	Bề rộng mặt đáy của mối hàn
13	h	Chiều cao mặt đáy của mối hàn

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1. 1	Kí hiệu nhôm và hợp kim nhôm	6
Bảng 1. 2	Kí hiệu hợp kim nhôm theo TCVN.....	6
Bảng 1. 3	Kí hiệu và trạng thái gia công hợp kim nhôm theo các nước	7
Bảng 1. 4	Một số hợp kim nhôm thông dụng và thành phần hóa học tiêu biểu	9
Bảng 1. 5	Thành phần hóa học của hợp kim nhôm A6061	11
Bảng 1. 6	Tính chất vật lý của hợp kim nhôm A6061	11
Bảng 1. 7	Cơ tính của hợp kim nhôm A6061	12
Bảng 2. 1	Phân loại que hàn cho nhôm và hợp kim nhôm	29
Bảng 2. 2	Mối quan hệ giữa đường kính điện cực và dòng hàn	32
Bảng 2. 3	Mối quan hệ giữa chiều dày và lưu lượng khí bảo vệ	32
Bảng 2. 4	So sánh cách sử dụng dòng điện một chiều và xoay chiều	37
Bảng 2. 5	Loại que hàn và tính chất của chúng	41
Bảng 2. 6	Thành phần hóa học của dây hàn	41
Bảng 2. 7	Một số khuyết tật thường gặp, [22]	42
Bảng 3. 1	Thông số kỹ thuật của máy TIG MATRIX 400 AC/DC	27
Bảng 3. 2	Cơ tính hợp kim nhôm A6061	44
Bảng 3. 3	Thành phần hóa học hợp kim nhôm A6061	44
Bảng 3. 4	Thành phần hóa học của dây hàn	44
Bảng 3. 5	Kết quả kiểm tra ngoại dạng mối hàn hợp kim nhôm A6061	54
Bảng 3. 6	Mô hình nguồn nhiệt theo Goldak	55
Bảng 3. 7	Chế độ hàn	55
Bảng 3. 8	Thông số mô phỏng	55
Bảng 3. 9	Chiều rộng bề hàn mô phỏng và thực nghiệm	56
Bảng 3. 10	Ảnh hưởng của vận tốc hàn đến độ lùi của mối hàn	56
Bảng 3. 12	Vị trí đứt của mối hàn hợp kim nhôm A6061	57
Bảng 3. 13	Kết quả thử kéo mối hàn	58

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH, ĐỒ THỊ

Hình 1. 1 Hàm lượng hòa tan các nguyên tố hợp kim trong nhôm	4
Hình 1. 2 Chế tạo tàu vỏ nhôm.....	13
Hình 1. 3 Xe ô tô làm bằng chất liệu nhôm.....	14
Hình 1. 4 Hợp kim nhôm trong sản xuất máy bay	14
Hình 1. 5 Hàn ma sát ngoáy và sự phát triển của nó	Error! Bookmark not defined.
Hình 2. 1 Hàn ma sát khuấy	19
Hình 2. 2 Hàn ma sát xoay	20
Hình 2. 3 Nguyên lý hàn hồ quang tay	21
Hình 2. 4 Hàn tự động dưới lớp thuốc.....	21
Hình 2. 5 Hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ	22
Hình 2. 6 Hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ	23
Hình 2. 7 Sơ đồ nguyên lý hàn TIG	24
Hình 2. 8 Một số hình ảnh về mối hàn bằng phương pháp hàn TIG	25
Hình 2. 9 Máy hàn TIG xoay chiều (AC), Master TIG 1500 [5]	26
Hình 2. 10 Máy hàn TIG một chiều (DC), TOP HF 166.....	26
Hình 2.11 Máy hàn TIG MATRIX 400 AC/DC	
Hình 2. 12 Cụm mỏ hàn TIG.....	27
Hình 2. 13 Van giảm áp.....	28
Hình 2. 14 Độ nhạy cảm nứt của mối hàn	29
Hình 2. 15 Sơ đồ hàn dòng điện xung	31
Hình 2. 16 Mối quan hệ giữa dòng điện hàn và chiều dày vật hàn	33
Hình 2. 17 Ảnh hưởng của dòng điện hàn và cực tính đến hình dáng bề hàn.....	36
Hình 2. 18 Ảnh hưởng của tần số xung đến chiều sâu ngấu	37
Hình 2. 29 Hàn TIG xung.....	38
Hình 2. 20 Ảnh hưởng của chủng loại khí bảo vệ đến độ ngấu mối hàn	38
Hình 2. 21 Một số điện cực dùng trong hàn TIG	39
Hình 2. 22 Ảnh hưởng điện cực trong quá trình hàn.....	40
Hình 3. 1 Mối ghép hàn	46
Hình 3. 2 Chuẩn bị mép vát.....	46
Hình 3. 3 Mô hình nguồn nhiệt hàn GMAW.....	55
Hình 3. 4 Nhiệt lượng cấp vào mô hình	55
Hình 3. 5 Mối quan hệ giữa tốc độ hàn và chiều rộng bề hàn.....	56
Hình 3. 6 Ảnh hưởng của vận tốc hàn tới độ lồi của mặt đáy và bề mặt mối hàn.....	57
Hình 3. 7 Chiều sâu ngấu của mối hàn (H)	57

MỞ ĐẦU

Trong quá trình thực hiện công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước, việc tiếp thu và ứng dụng các tiến bộ khoa học của các nước có ngành công nghiệp phát triển trên thế giới là một việc làm hết sức quan trọng đi đôi với phát huy nội lực nghiên cứu khoa học trong nước. Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của các ngành kỹ thuật trên thế giới và trong nước, tầm quan trọng của việc ứng dụng công nghệ hàn trong sự phát triển của nền công nghiệp ngày càng tăng. Đặc biệt trong lĩnh vực dầu khí, đóng tàu, hàng không vũ trụ và công nghiệp ô tô. Các quá trình hàn đã và đang dần được nghiên cứu, ứng dụng nhằm nâng cao chất lượng, tuổi thọ làm việc của các liên kết hàn, nâng cao năng suất. Nhiều phương pháp hàn tiên tiến được phát triển mạnh mẽ trên thế giới và ứng dụng vào sản xuất mang lại chất lượng và hiệu quả kinh tế cao. Việc nghiên cứu ứng dụng để làm chủ các công nghệ mới này kết hợp với những nghiên cứu trong nước là hết sức cần thiết, làm cho nền khoa học nước nhà ngày càng phát triển.

Bên cạnh việc ứng dụng các công nghệ hàn vào sản xuất các nhà khoa học luôn nghiên cứu phát minh ra các loại vật liệu đảm bảo các yêu cầu phục vụ mục đích nào đó. Việc nghiên cứu ra vật liệu nhôm và hợp kim nhôm là một bước đột phá trong ngành khoa học vật liệu. Như chúng ta đã biết nhôm (Al) được tìm ra từ năm 1825 bởi Hans Christian Oersted và mãi tới năm 1910 người ta mới có thể tạo ra hợp kim nhôm đồng. Nhôm và hợp kim nhôm được ứng dụng rộng rãi trong chế tạo các kết cấu trong máy bay. Vào thời điểm đó, trên thế giới đã ứng dụng công nghệ hàn MIG và TIG để nối liền các tấm nhôm và hợp kim nhôm lại với nhau.

Tuy ở Việt Nam, ngành công nghệ hàn mới phát triển vài chục năm trở lại đây nhưng nhiều nhà máy, xí nghiệp đã và đang sử dụng loại vật liệu nhôm và hợp kim nhôm vào các mục đích an ninh, quốc phòng. Công ty 189 trực thuộc Bộ Quốc phòng hiện nay đang đóng mới và sửa chữa các loại tàu, xuồng chế tạo bằng hợp kim nhôm.

Tuy nhiên, việc nghiên cứu ứng dụng các loại vật liệu hợp kim nhôm và công nghệ hàn nhằm nâng cao năng suất lao động cũng còn đang trong giai đoạn nghiên cứu. Chính vì điều này tác giả chọn đề tài ***“Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ hàn TIG xung đến chất lượng của liên kết hàn từ hợp kim nhôm A6061”*** với mong muốn góp phần mở ra một hướng mới cho công nghệ hàn hợp kim nhôm bằng công nghệ hàn TIG nhằm đảm bảo các yêu cầu về độ bền đối với các sản phẩm hàn đặc biệt phục vụ cho ngành công nghiệp an ninh, quốc phòng.

Luận văn bao gồm 4 chương:

Chương 1: Nhôm và hợp kim nhôm

Chương 2: Công nghệ hàn TIG nhôm và hợp kim nhôm

Chương 3: Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của chế độ hàn TIG xung đến chất lượng của liên kết hàn từ hợp kim nhôm A6061

Chương 4: Đánh giá kết quả và luận bàn

Em xin chân thành cảm ơn sự hướng dẫn khoa học và giúp đỡ tận tình của TS. Nguyễn Hồng Thanh và các thầy, cô thuộc Bộ môn Kỹ thuật Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định. Nhân đây em cũng xin gửi lời cảm ơn tới các bạn bè đồng nghiệp cơ quan công tác đã tạo điều kiện cơ sở vật chất, tinh thần để tác giả thực hiện các thí nghiệm hoàn thành luận văn này!

TRƯỜNG ĐẠI HỌC  SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

CHƯƠNG I

NHÔM VÀ HỢP KIM NHÔM

1.1. Giới thiệu về nhôm và hợp kim nhôm

1.1.1 Đặc điểm

Sir Humphrey Davy phát hiện của nhôm (Al) đã được đưa ra trong thập kỷ đầu tiên của thế kỷ XIX và đã được Hans Christian Oersted phân tách vào năm 1825. Tuy nhiên nó vẫn là một bí ẩn ở trong phòng thí nghiệm trong suốt 30 năm tiếp theo trước khi thương mại hóa, nhưng mãi cho đến năm 1886 việc khai thác nhôm từ quặng bauxite trở thành một ngành công nghiệp thực sự hữu hiệu. Phương pháp khai thác được đồng thời phát minh bởi Paul Heroult ở Pháp và Charles M. Hall ở Mỹ và quá trình cơ bản này vẫn còn được sử dụng ngày nay, [2]. Do tính chất phản ứng của nhôm, nhôm không được tìm thấy ở trạng thái kim loại trong tự nhiên nhưng lại có trong lớp vỏ trái đất dưới dạng các hợp chất khác nhau. Điều quan trọng nhất và đa dạng là bô xít. Quá trình chiết xuất bao gồm hai giai đoạn riêng biệt, đầu tiên là tách oxit nhôm, Al_2O_3 (alumina) từ quặng, thứ hai là sự giảm điện phân của alumina ở nhiệt độ từ 950 °C đến 1000°C trong cryolite (Na_3AlF_6). Phương pháp này cho ra một loại nhôm, chứa khoảng 5-10% tạp chất như: silic (Si) và sắt (Fe), sau đó được tinh chế bằng quy trình điện phân hoặc bằng kỹ thuật nóng chảy cực bộ để tạo ra một kim loại với độ tinh khiết đến 99,9%. Vào cuối thế kỷ XX, một lượng lớn nhôm thu được từ rác thải và phế thải thu hồi và tái chế, nguồn này chỉ cung cấp gần 2 triệu tấn hợp kim nhôm mỗi năm ở châu Âu (kể cả Anh). Nhôm nguyên chất thu được là tương đối yếu và do đó hiếm khi được sử dụng, đặc biệt là trong các kết cấu. Để tăng độ bền cơ học, nhôm nguyên chất thường được hợp kim hóa với các kim loại như đồng (Cu), mangan (Mn), magiê (Mg), silic (Si) và kẽm (Zn).

Tuy nhiên, với việc ứng dụng rộng rãi các hợp kim nhôm đồng nghĩa với việc các kỹ sư hàn phải đối mặt với nhiều khó khăn thách thức khi hàn chúng. Để đảm bảo mỗi hàn có chất lượng cao đòi hỏi đội ngũ kỹ sư hàn có trình độ cao.

Nhôm có số thứ tự 13 thuộc nhóm III của bảng tuần hoàn Mendeleev. Cấu hình điện tử của nhôm có dạng sau: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$.

Điện thế ion hóa của lớp 3p bằng 5,98 eV, của điện tử lớp 3s bằng 18,82 và 28,44 eV. Tương ứng với các điện thế ion ấy, có thể xuất hiện các ion Al^{+1} và Al^{+3} . Do vậy bên cạnh việc tồn tại oxit Al_2O_3 rất bền, có thể xuất hiện các hợp chất Al_2O_3 , AlF , AlCl rất kém ổn định.

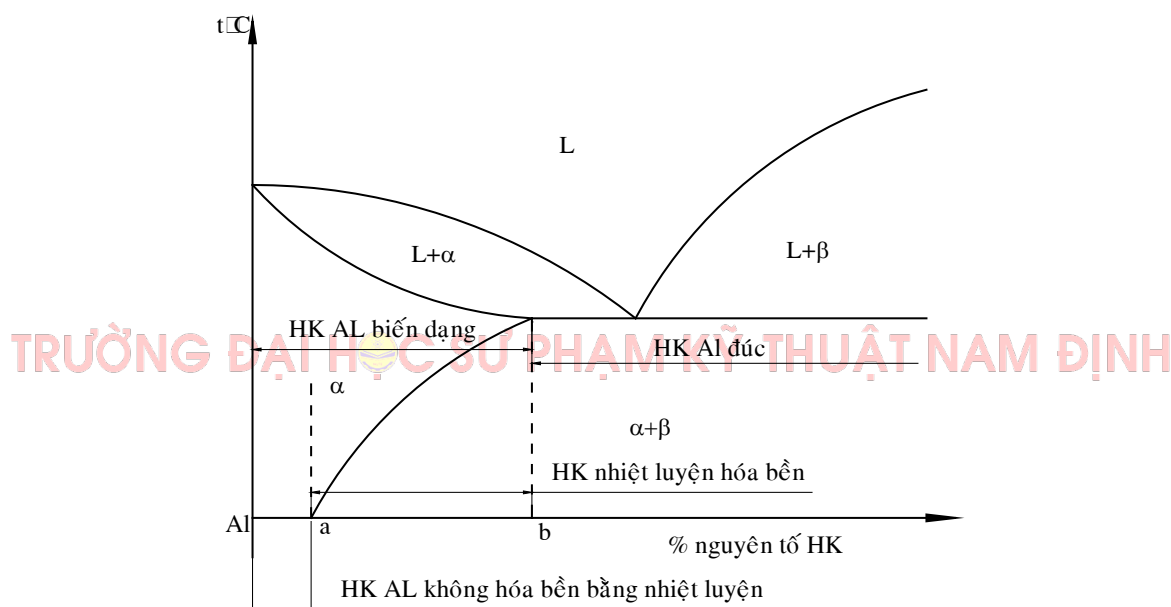
Với nhiệt độ bề điện phân khoảng 950 - 980°C. Nhôm có cấu trúc mạng tinh thể ở dạng lập phương diện tâm (Al).

Nhôm là nguyên tố kim loại tồn tại phổ biến thứ hai trên trái đất sau silic. Năm

1886, nhôm được điều chế từ oxit và đã trở thành vật liệu kỹ thuật quan trọng. Do nhẹ, chống ăn mòn trong các môi trường như không khí, nước, dầu và nhiều hóa chất, nhôm được dùng rộng rãi trong công nghiệp và dân dụng.

Khối lượng riêng của nhôm chỉ bằng khoảng một phần ba của thép. Tính dẫn điện và dẫn nhiệt của nhôm cao gấp bốn lần của thép. Do đó nhôm được dùng nhiều trong các thiết bị điện thay cho đồng. Nhôm không có từ tính. Hệ số dẫn nở nhiệt của nó gấp 2 lần của thép. Nhôm có độ bền không cao nhôm có tính dẻo tuyệt vời, đặc biệt là ở nhiệt độ dưới 0°C . Có thể tăng độ bền của nhôm thông qua hợp kim hóa, biến dạng ở trạng thái nguội, nhiệt luyện hoặc kết hợp các biện pháp đó. Nhôm có khả năng chống ăn mòn cao do có lớp oxit nhôm bền vững trên bề mặt.

Theo tính công nghệ, hàm lượng hòa tan các nguyên tố hợp kim trong nhôm, có thể chia thành hợp kim đúc (2) và hợp kim biến dạng (1), hình 1.1.



Hình 1. 1 Hàm lượng hòa tan các nguyên tố hợp kim trong nhôm

Hợp kim biến dạng (1), dưới dạng vật cán, vật rèn được chia thành nhóm có thể nhiệt luyện được (4) và nhóm không thể nhiệt luyện được (3) thuộc hệ Al-Mg-Cu, Al-Zn-Mg, Al-Si-Mg. Hợp kim đúc thuộc hệ Al-Si (hàn được sử dụng chủ yếu để sửa chữa khuyết tật vật đúc hoặc phục hồi sửa chữa chi tiết hỏng hóc trong vận hành).

Hợp kim nhôm không thể nhiệt luyện được chứa các nguyên tố hợp kim như Si, Mn, Mg. Các nguyên tố này làm tăng độ bền thông qua sự hình thành các dung dịch đặc hoặc các pha phân tán. Trong các nguyên tố kể trên Mg là nguyên tố có hiệu quả nhất, do đó hợp kim Al- Mg có độ bền cao cả trong trạng thái ủ. Mọi hợp kim nhôm thuộc nhóm không thể nhiệt luyện được đều biến cứng (kèm theo suy giảm tính dẻo) khi bị biến dạng ở trạng thái nguội. Hợp kim thuộc các hệ Al- Mg, Al- Mn đều dễ hàn. Sau khi ủ, chúng có thể trở lại cơ tính ban đầu hợp kim nhôm loại này nếu được hàn sau khi đã qua biến cứng nguội, có thể có độ bền vùng ảnh hưởng nhiệt thấp như của

kim loại cơ bản sau khi ủ. Nhôm, hợp kim Al- Mg và hợp kim Al- Mn đều dễ hàn trong môi trường khí bảo vệ bằng cả điện cực nóng chảy lẫn điện cực không nóng chảy (riêng với hợp kim đúc Al- Si thì còn cần phải sử dụng các quy trình đặc biệt).

Mọi hợp kim nhôm loại biến dạng không hóa già đều được sử dụng ở trạng thái ủ, vì vậy chu trình nhiệt hàn không làm giảm độ bền vùng ảnh hưởng nhiệt. Với hợp kim hóa già, chu trình nhiệt hàn làm xuất hiện các hợp chất giữa các kim loại (mang tính không liên mạng) tại vùng ảnh hưởng nhiệt, làm giảm độ bền tại đó (còn 60÷70% so với kim loại cơ bản). Vì vậy hợp kim nhôm loại này không nên hàn. Chỉ nên hàn nếu sau khi hàn có thể nhiệt luyện (tôi + hóa già nhân tạo) để phục hồi cơ tính vùng ảnh hưởng nhiệt.

- Nhôm là một kim loại nhẹ khối lượng riêng 2,7 g/cm³ nhiệt độ nóng chảy là 657⁰ C, độ dẫn điện cao hơn thép 3 lần.

- Nhôm hoạt động hoá học mạnh rất dễ bị Oxi hoá tạo thành Oxit nhôm nhất là ở nhiệt độ cao.

- Oxit nhôm tạo ra có cơ tính cao hơn nhôm nhiều chính vì thế các đồ dùng hàng ngày mới có khả năng chịu được nhiệt độ ...

- Lớp màng Al₂O₃ có độ nóng chảy rất cao (2000⁰C).

- Khi nóng chảy nhôm không bị biến màu đây là một đặc điểm rất quan trọng.

- Trong thực tế người ta dùng hợp kim của nhôm, chúng có độ bền cao hơn nhôm nhiều chính vì thế chúng được ứng dụng rộng rãi.

- Trong hợp kim nhôm: AlMn có chứa 1(1,6% Mn; AlMg có chứa 6% Mg còn lại là nhôm).

- Hợp kim của nhôm được dùng rộng rãi nhất là AlMg và AlMn.

- Hợp kim duyara có cơ tính cao, nhẹ do đó được dùng rộng rãi trong ngành hàng không, thành phần gồm: Al, Cu, Mg, Mn.

- Những loại hợp kim này sau khi tôi luyện có độ bền lớn = 42 (46 kG/mm³)

- Nhôm nguyên chất và hợp kim nhôm Mg, Mn đều có tính hàn tốt nhưng hợp kim Duyara có tính hàn xấu độ bền kim loại mỗi hàn nhỏ hơn độ bền của kim loại cơ bản tới 2 lần, rất dễ xuất hiện vết nứt.

- Các hợp kim nhôm hầu như được hàn bằng các quá trình có khí trơ bảo vệ, tức là hàn TIG và MIG, do chúng không cần chất trợ dung vẫn đảm bảo chất lượng mối hàn tối ưu ở mọi vị trí vì không có xỉ

- Khi hàn nhôm phải sử dụng dòng điện AC, do có thể kết hợp khả năng dẫn điện, tính điều khiển hồ quang, tác dụng làm sạch mép hàn. Nguồn điện thường là biến áp hàn một pha, ba pha với điện áp hờ mạch 80 ÷ 100V.

- Khi áp dụng hàn TIG cho hợp kim nhôm, có thể xuất hiện vết trắng dọc theo đường hàn. Nếu vết trắng có chiều rộng không quá 0,1 mm thì lớp khí bảo vệ là đủ,

nếu rộng hơn thì lượng khí quá nhiều và lãng phí vì argon là loại khí đắt.

- Nhôm có tính dẫn điện tốt, do đó cần phải nung nóng trước cho kim loại nên có chiều dày lớn hơn 6,3 mm. Khi hàn phẳng cho chi tiết có chiều dày 9,5mm nhiệt độ nung nóng là 200°C.

1.1.2 Phân loại nhôm và hợp kim nhôm

Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 1859-75), [55] quy định ký hiệu các hợp kim nhôm như sau: bắt đầu bằng ký hiệu Al tiếp sau là ký hiệu các nguyên tố hợp kim chính sau đó là phụ, các con số sau các ký hiệu chỉ hàm lượng theo phần trăm tương ứng nếu là hợp kim đúc ở mỗi ký hiệu đặt thêm chữ Đ ví dụ: AlMg5 là Hợp kim nhôm biến dạng có hàm lượng trung bình 5% Mg; AlSi12Mg1Cu2Mn0,6Đ là hợp kim nhôm đúc chứa trung bình 12% Si; 1% Mg; 2% Cu; 0,6% Mn.

Bảng 1. 1 Ký hiệu nhôm và hợp kim nhôm

Hợp kim nhôm biến dạng		Hợp kim nhôm đúc	
<i>Hệ thống hợp kim</i>	<i>Kí hiệu</i>	<i>Hệ thống hợp kim</i>	<i>Kí hiệu</i>
Al ≥ 99%	1000	Al sạch công nghiệp	100,0
Al-Cu và Al-Cu-Mg	2000	Al-Cu	200,0
Al-Mn	3000	Al-Si-Mg và Al-Si-Cu	300,0
Al-Si	4000	Al-Si	400,0
Al-Mg	5000	Al-Mg	500,0
Al-Mg-Si	6000	Al-Zn	700,0
Al-Zn-Mg và Al-Zn-Mg-Cu	7000	Al-Sn	800,0
Al các nguyên tố khác	8000		

Các nước Mỹ, Canada cả Liên Bang nga ngày nay sử dụng hệ thống ký hiệu gồm các con số (thường gồm 4 chữ số) để ký hiệu nhôm

Bảng 1. 2 Ký hiệu hợp kim nhôm theo TCVN

Hệ hợp kim	Kí hiệu		Thành phần
	<i>TCVN</i>	<i>AA</i>	

	Hợp kim biến dạng		
Al sạch	Al 99,60	1060	99,6Al
Công nghiệp	Al 99,00	1100	99,0Al
Al-Cu	AlCu4,4Mg0,5Mn0,8	2014	4,4Cu-0,5Mg-0,8Mn
Al-Cu-Mg	AlCu4,4Mg1,5Mn0,6	2024	4,4Cu-1,5Mg-0,6Mn
Al-Mn	AlMn1,2	3004	1,2Mn-0,12Cu
Al-Mg	AlMn1,4	5050	
Al-Mg-Si	AlMn1Si0,6	6061	1Mg5,5Si-0,2Cr-0,3Cu
Al-Zn-Mg	Al Zn4,5 Mg 1,4	7005	4,5Zn-1,4Mg-0,12Cr 0,4 Mn-0,15Zr
Al-Zn-Mg-Cu	Al Zn 5,6 Mg 2,5 Cu 1,6	7075	5,6 Zn-2,5Mg-1,6Cu
	Hợp kim nhôm đúc		
Al-Cu	Al Cu 4,5Đ	295,0	4,5 Cu-1Si
Al-Si-Cu	Al-Si 5,5 Cu4,5Đ	308,0	5,5Si-4,5 Cu
Al-Si-Mg	Al Si 5,5Cu 4,5 Đ	356,0	7 Si-0,3Mg
Al-Si-Mg-Cu	Al Si 12 Mg 1,3 Cu 4 M 0,6Đ	356,0	12Si-1,3 Mg-2Cu 0,6 Mn-1Ni-0,2Ti

+ Tiêu chuẩn của hiệp hội nhôm AA(Aluminum Association) qui định kí hiệu hợp kim nhôm bằng các con số theo bảng 1.1:

Hệ thống số thống nhất của Mỹ UNS (United Numbering Sestem) ký hiệu các hợp kim nhôm bằng cách sử dụng ký hiệu số của hiệp hội nhôm với tiếp đầu là A9 đối với nhôm biến dạng và A0 đối với nhôm đúc

Bảng 1.2 thành phần – kí hiệu một số nhôm và hợp kim nhôm theo TCVN và theo AA

Ngoài ký hiệu 4 chữ số như trên, hợp kim nhôm có thể được ký hiệu bổ sung bằng chữ như sau:

Bảng 1.3 Ký hiệu chữ và trạng thái gia công bổ sung của nhôm và hợp kim nhôm một số nước

Bảng 1. 3 Kí hiệu và trạng thái gia công hợp kim nhôm theo các nước

Nga		Mỹ, Canada	
Ký hiệu	Ý nghĩa	Ký hiệu	Ý nghĩa
M	Hợp kim nhôm biến dạng Ủ mềm	F	Hợp kim nhôm biến dạng và đúc
T	Tôi và hóa già tự nhiên	O	Trạng thái phôi thô
T1	Tôi và hóa già nhân tạo	H	Ủ và kết tinh lại
H	Tôi và hóa già nhân tạo	H11	Trạng thái biến dạng
	Biến cứng	H12	Biến dạng với mức biến cứng nhỏ
H1	Biến cứng không hoàn toàn	H14	Biến dạng với mức biến 1/4 cứng nhỏ
TH	Biến cứng mạnh ($\geq 20\%$)	H16	Biến dạng với mức biến 1/2 cứng nhỏ
T1H	Tôi, hóa già tự nhiên, biến cứng	H18	Biến dạng với mức biến 3/4 cứng nhỏ
T1H1	Tôi, biến cứng, hóa già nhân tạo	H19	Biến dạng với mức biến 4/4 cứng nhỏ
T1	Tôi, biến cứng 20%, hóa già nhân tạo	H2	Biến dạng với mức biến cứng rất lớn
T2	Hợp kim nhôm đúc	X	Biến dạng tiếp theo ủ phục hồi (X biến đổi từ 2 đến 9)
T4	Hóa già nhân tạo sau đúc	H3	Biến dạng tiếp theo ổn định hóa (X biến đổi từ 2 đến 9)
	E	X	Tôi, sau biến dạng nóng, hóa già tự nhiên
T5	Tôi	T3	Tôi, biến dạng nguội, hóa già tự nhiên
T6	Tôi, hóa già một phần	T4	Tôi, hóa già tự nhiên
T7	Tôi, hóa bền cực đại	T5	Tôi, sau biến dạng nóng, hóa già nhân tạo
T8	Tôi, hóa già ổ định	T6	Tôi, hóa già nhân tạo
	Tôi, hóa già biến mềm (quá hóa già)	T7	Giống T6
		T8	Tôi, biến dạng nguội, hóa già nhân tạo
		T9	Tôi, hóa già nhân tạo, biến dạng nguội

Thí dụ, hợp kim 2014 T6 là hợp kim nhôm với đồng (loạt 2XXX) dưới dạng dung dịch đặc đã được nhiệt luyện và hóa già nhân tạo.

Ngày nay, do nhẹ, bền, dai, chịu được nhiệt độ thấp, dễ ép chảy, có khả năng chống ăn mòn và dễ tái chế, nhôm và hợp kim nhôm được sử dụng trong mọi ngành kinh tế và trong nhiều sản phẩm hàn. Nhôm và hợp kim được sử dụng rộng rãi trong các kết cấu hàn công nghiệp và dân dụng. Ba ứng dụng quan trọng đang thúc đẩy việc gia tăng sử dụng nhôm và hợp kim nhôm là các chi tiết cho ô tô trong ngành vận tải ô tô, các vật liệu dẫn điện nhẹ trong ngành kỹ thuật điện và các vật liệu bền, nhẹ trong ngành hàng không. Trên bảng 1.4 là một số hợp kim nhôm và thành phần tiêu biểu của chúng.

Bảng 1. 4 Một số hợp kim nhôm thông dụng và thành phần hóa học tiêu biểu

Ký hiệu	Tính chất	Thành phần [%]
1060	Không thể nhiệt luyện	$\geq 99,6$ Al
1100	Không thể nhiệt luyện	0,12 Cu; ≥ 99 Al
2219	Có thể nhiệt luyện	6,3Cu; 0,3Mn; 0,18 Zr; 0,1 V; Al còn lại
3004	Không thể nhiệt luyện	1,2 Mn; 1,0 Mg; Al còn lại
5050	Không thể nhiệt luyện	1,4 Mg; ; Al còn lại
5456	Không thể nhiệt luyện	0,6 Mn; 5,1 Mg; 0,12 Cr; Al còn lại
6061	Có thể nhiệt luyện	0,6 Si; 0,27Cu; 1,0Mg; 0,2Cr; Al còn lại
7005	Có thể nhiệt luyện độ bền cao	0,45Mn; 1,4Mg; 0,13Cr; 4,5Zn; Al còn lại
7039	Có thể nhiệt luyện độ bền cao	0,27Mn; 2,8Mg; 0,2Cr; 4,0Zr; Al còn lại
2014	Có thể nhiệt luyện độ bền cao	0,8Si; 4,4Cu; 0,8 Mn; 0,5Mg; Al còn lại
4032	Có thể nhiệt luyện	12,2Si; 0,9Cu; 1,1Mg; 0,9Ni; Al còn lại
2024	Có thể nhiệt luyện độ bền cao	4,4 Cu; 0,6 Mn; 1,5 Mg; Al còn lại
7075	Có thể nhiệt luyện độ bền cao	1,6Cu; 2,5 Mg; 0,3 Cr; 5,6 Zr; Al còn lại

Hàn nhôm đặc biệt phát triển mạnh trong ngành chế tạo ô tô. Các chi tiết quan trọng bằng hợp kim nhôm như giá đỡ động cơ; khung cầu trước, cầu sau; trục truyền động, vành bánh xe, bộ trao đổi nhiệt bộ điều hòa nhiệt độ, v.v. đang dần dần thay thế vật liệu truyền thống là thép bằng nhôm. Hầu hết các bộ phận kết cấu hàn đó là các hợp kim nhôm với manhê và silic (loạt 6xxx) được ép chảy và sau đó hàn trong môi trường khí bảo vệ bằng điện cực nóng chảy.

Sự phát triển của ngành đóng tàu với các sản phẩm tiên tiến như phà cao tốc đã thúc đẩy công nghệ hàn nhôm lên một bước mới. Đó là các loại tàu cánh ngầm có một hoặc nhiều thân, chở nặng, chịu được sóng to, chạy nhanh, với chiều dài 35 ÷ 45 m, tốc độ 40 ÷ 74 km/h. Phà cỡ lớn có thể dài 90 m, chở tới 700 hành khách và 150 xe hơi, có tốc độ thông thường 128 km/h. Chúng được chế tạo từ hợp kim nhôm manhê có độ bền cao, sử dụng công nghệ hàn trong môi trường khí bảo vệ. So với tàu thép, chúng có thể tiết kiệm từ 40 ÷ 50% khối lượng.

Hợp kim nhôm độ bền cao có thể nhiệt luyện được (loạt 7xxx) được sử dụng làm kết cấu thành mỏng cho khung xe đạp, gậy đánh golf, gậy đánh bóng chày, xe

trượt tuyết...

Hợp kim nhôm độ bền cao, chịu được nhiệt độ âm có thể dùng làm thùng chứa chở hàng và các bộ phận khác của thân xe tải. Ngoài ra, trong ngành chế tạo hàng không và vũ trụ, hợp kim nhôm manhê không nhiệt luyện được và một số hợp kim nhiệt luyện được đều là những vật liệu truyền thống.

Như chúng ta đã biết hàn là quá trình ghép nối các kim loại, hợp kim, các kim loại khác nhau về thành phần thậm chí ngày nay người ta có thể hàn vật liệu phi kim lại với nhau. Trong quá trình hàn, vật hàn – chỗ mối ghép được làm nóng chảy bởi nguồn nhiệt và sau khi đông đặc tạo thành mối hàn. Người ta có thể sử dụng kim loại bổ sung hoặc không. Tính hàn của KLCB phụ thuộc vào rất nhiều các yếu tố khác nhau như quá trình luyện kim trong hàn của kim loại và hợp kim.

1.2 Hợp kim nhôm A6061

1.2.1 Đặc tính

Hàm lượng Ma giê lên đến 5% và có thể được hòa tan trong nhôm làm tăng độ bền của hợp kim này: cao hơn so với ma giê nguyên chất. Lượng magiê có thể bị giải phóng trong điều kiện cân bằng ở nhiệt độ môi trường xung quanh chỉ khoảng 1,4%. Điều này có nghĩa rằng magiê luôn có xu hướng thoát ra khỏi dung dịch khi các hợp kim có hàm lượng magiê lớn được nung nóng và làm nguội chậm. Phản ứng này xảy ra rất chậm và quá trình hàn không gây ra bất kỳ sự thay đổi đáng kể nào, ngoại trừ việc làm lạnh nhanh sẽ làm cơ tính sẽ giảm xuống.

Các hợp kim nhôm-magiê tiêu chuẩn gồm có sắt và silic như các tạp chất và thường bổ sung khoảng 0,4-0,7% mangan để tăng độ bền. Chromium có thể được thêm vào cùng với mangan để đạt được độ bền theo yêu cầu. Với hàm lượng 0,2% Cr, 0,4% mangan, kết hợp với sắt tạo thành hợp chất FeMnAl_6 ; silicon kết hợp với magiê để tạo thành hợp chất magnesium silicide, Mg_2Si . Hầu hết trong số đó là không hòa tan.

Các hợp kim magiê có thể tổ chức tế vi của chúng bị thay đổi do các quá trình hàn gây ra. Tổ chức tế vi của mối hàn giáp mối hợp kim nhôm 5083 ($\text{AlMg}_4.5\text{Mn}_0.7$) trong điều kiện ủ, sử dụng dây hàn phụ 5356 cho thấy một số đặc tính sau. Kim loại nền có một cấu trúc hạt mịn, vững chắc của magiê trong nhôm, có độ bền cao hơn hợp chất Mg_2Al_3 với các hạt thô của Al-Fe-Si-Mn. Trong vùng HAZ, nơi nhiệt độ đạt khoảng 250°C, thêm vào đó Mg_2Al_3 được tạo ra làm cấu trúc hạt vùng này thô hơn. Tại nơi có nhiệt độ gần 400 °C một số Mg_2Al_3 sẽ không được hòa tan. Gần mối hàn nơi nhiệt độ lên đến trên 560 °C, sự nóng chảy kim loại xảy ra một phần, đây chính là nguyên nhân gây ra hiện tượng co ngót kim loại và rỗ khí. Kim loại mối hàn có tổ chức gần giống với tổ chức đúc có magiê trong nhôm với tổ chức hạt không hòa tan như Mg_2Si . Tốc độ làm nguội của kim loại mối hàn nói chung cần đủ nhanh để ngăn

chặn sự kết tủa của Mg_2Al_3 .

Độ bền kéo của kim loại mối hàn hợp kim nhôm-magiê nói chung là gần giống với kim loại cơ bản đã qua ủ. Đối với liên kết hàn giáp mối mà kim loại cơ bản có chứa trên 4% magiê sau khi hàn thì giới hạn bền kéo có thể lớn hơn kim loại cơ bản. Khi hàn MIG lượng magiê có thể bị mất do vậy người ta thường sử dụng dây hàn bổ sung ma giê như: 5556 (AlMg5.2Cr).

Hợp kim 5083 thường được sử dụng dây hàn bổ sung với thành phần tương tự KLCB vì hàm lượng magiê cao sẽ làm tăng nguy cơ bị nứt do ứng suất dư.

Trong môi trường ăn mòn nhẹ hàm lượng magiê nên được hạn chế tối đa là 3%. Trong điều kiện thường hợp kim 5251 hoặc 5454, có thể sử dụng dây hàn phụ 5554 (AlMg3). Khi hàn nhiều lớp, hàn 2 phía hàm lượng ma giê trong dây hàn phụ có thể lên đến 5% khi hàn lớp lót nhằm giảm nguy cơ nứt nóng, các lớp tiếp theo và lớp phủ có thể sử dụng dây hàn phụ 5554.

Hợp kim đầu 5xxx chứa 1% và 2,5% magiê có thể dễ bị nứt nóng nếu hàn tự động hoặc với dây hàn phụ có thành phần tương đương với kim loại cơ bản. Giải pháp là sử dụng dây hàn phụ có thành phần có chứa trên 3,5% magiê.

Nhôm hợp kim A6061 là loại vật liệu có độ bền cao. Trong thành phần của nó có chứa lượng lớn nguyên tố Mg cùng với một lượng nhỏ Cr, Si, Fe, Cu, Mn và Zn. Khi ủ, hợp kim nhôm A6061 có giới hạn bền kéo lớn hơn 1050 và 3003 nói chung và các hầu hết các loại nhôm hợp kim 5xxx khác. Hợp kim nhôm A6061 là hợp kim nhôm biến dạng không hóa bền, dễ hàn. Nó được làm cứng bằng quá trình làm lạnh. Tính hàn tốt, dễ định hình và chống ăn mòn. Bao gồm cả khả năng chống nước muối. Điều này, rất thích hợp trong lĩnh vực đóng tàu biển, bồn bể chứa,...

Hợp kim nhôm A6061 đang là loại vật liệu được ưa chuộng và sử dụng nhiều hiện nay, do những đặc tính nổi bật như: nhẹ, bền bỉ, không bị oxi hóa, khả năng chịu tải trọng tốt, dễ gia công. Do đó nhôm A6061 được dùng thay thế cho các vật liệu như sắt, gang vốn có độ cứng cao khó gia công nhưng lại dễ bị oxi hóa gây nên tình trạng gỉ sét.

1.2.2 Thông số kỹ thuật của hợp kim nhôm A6061

Bảng 1. 5 Thành phần hóa học của hợp kim nhôm A6061

Thành phần, %								
Mg	Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Mn	Khác	Al
2,20-2,80	0,25	0,40	0,10	0,15-0,35	0,10	0,10	0,15	Còn lại

Bảng 1. 6 Tính chất vật lý của hợp kim nhôm A6061

Cơ tính				
Nhiệt độ sôi	Sự dẫn nở nhiệt	Đàn hồi	Hệ số dẫn nhiệt	Điện trở
650 °C	$23,7 \times 10^{-6} /K$	70 GPa	138 W/m.K	$0.0495 \times 10^{-6} \Omega.m$

Bảng 1. 7 Cơ tính của hợp kim nhôm A6061

Giới hạn bền kéo, MPa	Giới hạn chảy, MPa	Độ giãn dài, %
231	196	12

1.2.3 Ứng dụng

Những ứng dụng thương mại đầu tiên của nhôm là khung gương, khay ăn, dụng cụ làm bếp. Ngày nay, do nhẹ, bền, dai, chịu được nhiệt độ thấp, dễ ép chảy, có khả năng chống ăn mòn và dễ tái chế, nhôm và hợp kim nhôm được sử dụng trong mọi ngành kinh tế và trong nhiều sản phẩm hàn. Nhôm và hợp kim được sử dụng rộng rãi trong các kết cấu hàn công nghiệp và dân dụng. Ba ứng dụng quan trọng đang thúc đẩy việc gia tăng sử dụng nhôm và hợp kim nhôm là các chi tiết cho ô tô trong ngành vận tải ô tô, các vật liệu dẫn điện nhẹ trong ngành kỹ thuật điện và các vật liệu bền, nhẹ trong ngành hàng không...

Hợp kim nhôm A6061 có trọng lượng nhẹ, độ bền cao, dễ gia công nên với chiều dày mỏng thì nhôm hợp kim A6061 được sử dụng làm vỏ ngoài của các chi tiết trong các thiết bị điện tử tiêu dùng như máy tính xách tay, thiết bị di động và TV.

Ngoài ra với những đặc tính như đã nêu ở trên, hợp kim nhôm A6061 còn được sử dụng làm thùng chứa nhiên liệu trên máy bay, hệ thống trao đổi nhiệt, bình áp lực, một số bộ phận trong tủ lạnh,...

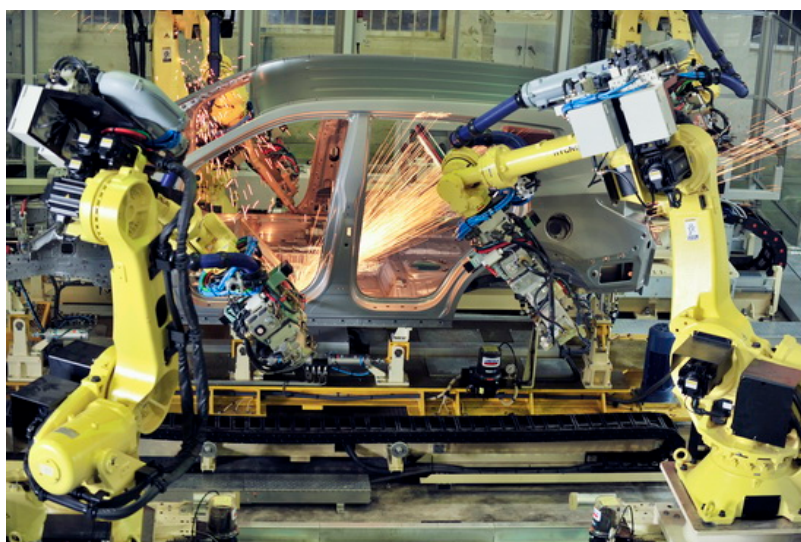
Nó thường được sử dụng trong thân xe ô tô, các cấu trúc tiếp xúc với môi trường biển, các ứng dụng công nghiệp, tủ bếp, những chiếc thuyền nhỏ, máy làm đá gia đình, thùng sữa, ống máy bay, hàng rào, và các thiết bị khác.



TRƯỜNG

NAM ĐỊNH

Hình 1. 2 Chế tạo tàu vỏ nhôm



Hình 1. 3 Xe ô tô làm bằng chất liệu nhôm



Hình 1. 4 Hộp kim nhôm trong sản xuất máy bay

1.3 Tình hình nghiên cứu trong nước và nước ngoài

1.3.1 Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài

Sanjeev kumar và cộng sự đã ứng dụng công nghệ hàn TIG khi hàn nhôm tấm có chiều dày lớn và áp dụng công nghệ hàn TIG xung khi hàn tấm có chiều dày ($3 \div 5\text{mm}$) với dòng điện hàn trong khoảng từ $48 \div 112\text{A}$, lưu lượng khí bảo vệ từ $7 \div 15\text{ lít/phút}$. Ứng suất cắt của KLMH (73 Mpa) nhỏ hơn KLCB (85 Mpa). Từ việc phân tích các mẫu hàn dưới kính hiển vi, người ta nhận thấy rằng kim loại đắp (KLĐ) có cấu trúc dạng nhánh cây đồng trục dọc theo đường viền chảy và sự phá hủy mẫu thử nằm ở khu vực này.

Indira Rani và cộng sự đã nghiên cứu cơ tính của hợp kim nhôm AA khi hàn TIG không xung và có xung (thay đổi tần số xung). Tác giả chỉ nghiên cứu dòng hàn trong khoảng $70 \div 74\text{ A}$ và vận tốc hàn $700 \div 760\text{ mm/phút}$, tần số xung 3 và 7 Hz. Từ kết quả thực nghiệm nhóm tác giả đã công bố rằng giới hạn chảy và giới hạn bền kéo của KLMH và KLCB gần giống nhau. Mẫu thử kéo cho kết quả đứt tại vùng HAZ.

Ahmed Khalid Hussain và cộng sự cũng đã nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc hàn đến giới hạn bền kéo của liên kết hàn khi hàn TIG từ hợp kim nhôm AA6351 với chiều dày 4 mm. Mỗi ghép vát kiểu chữ V, vận tốc hàn $1800 \div 7200\text{ mm/phút}$. Kết quả thử kéo cho thấy rằng khu vực mối hàn và lân cận mối hàn cho giá trị nhỏ hơn vùng KLCB và giới hạn bền kéo tăng lên khi vận tốc hàn giảm xuống.

Norman và cộng sự đã nghiên cứu tổ chức tế vi của hợp kim Al-Mg-Cu- Mn trong phạm vi chế độ hàn rộng (dòng điện hàn từ $100 \div 190\text{ A}$), tốc độ hàn thay đổi từ $420 \div 1500\text{ mm/phút}$. Tổ chức tế vi quan sát được ở vùng trung tâm mối hàn khi làm

nguội với tốc độ lớn so sánh với tổ chức tế vi tại vùng viền chảy. Norman đã đưa ra kết luận rằng nếu tốc độ hàn tăng, tốc độ nguội ở vùng KLMH tăng thì tổ chức tế vi tại vùng KLMH có dạng hình nhánh cây nhưng kích thước nhỏ hơn.

Kumar and Sundarrajan đã nghiên cứu công nghệ hàn TIG xung khi hàn hợp kim nhôm AA có chiều dày 2,14 mm với dòng điện hàn ($40 \div 90$ A), vận tốc hàn ($210 \div 230$ mm/ phút). Tác giả đã sử dụng phương pháp Taguchi để tối ưu hóa các thông số chế độ hàn TIG xung với mục đích làm tăng cơ tính của KLMH.

Preston và cộng sự đã sử dụng kỹ thuật mô phỏng số để dự đoán ứng suất dư và biến dạng phụ thuộc vào giới hạn chảy của hợp kim nhôm A2024 có chiều dày 3,2 mm bằng phương pháp hàn TIG.

Tạp chí KONES Powertrain Vol. 18, số 3 năm 2011 tác giả Krzysztof Dudzik, [10] khoa Kỹ thuật Hàng hải - Đại học Hàng hải Gdynia - Ba Lan đã trình bày kết quả nghiên cứu về các tính chất cơ học của liên kết hàn hợp kim nhôm 5083 bằng phương pháp hàn MIG. Để so sánh hợp kim 5083 hiện đang được sử dụng trong công nghiệp đóng tàu đã được lựa chọn cũng như 5059 là các hợp kim có độ bền cao. Tác giả đã nghiên cứu về công nghệ hàn MIG để áp dụng cho các liên kết hàn áp dụng cho công nghiệp đóng tàu. Ở bài báo này tác giả đã nghiên cứu cho ra bộ thông số chế độ hàn, hàn thực nghiệm, thử độ bền kéo và đánh giá kết quả theo tiêu chuẩn PN-EN10002:2004 của Balan. Mục tiêu chính của tác giả là khẳng định sử dụng phương pháp hàn MIG để hàn hợp kim nhôm cho chất lượng đảm bảo theo tiêu chuẩn PN-EN10002:2004 của Balan và cho năng suất cao hơn nhiều so với hàn TIG.

Hội nghị quốc tế lần thứ 6 về "Cơ tin và Kỹ thuật ảo" diễn ra trong 2 ngày 15, 16 tháng 10 năm 2015 tại Braşov, Romania. Tác giả Polixenia Iuliana Simion cùng các cộng sự đã trình bày về quy trình hàn MIG hợp kim nhôm áp dụng trên các cabin tàu thủy phục vụ công nghiệp đóng tàu. Trong bài báo này các tác giả đã đưa ra được các thuộc tính vật liệu của hợp kim nhôm 5083 và 6061 đồng thời áp dụng công nghệ hàn MIG sử dụng khí bảo vệ Ar để hàn các hợp kim nói trên. Tác giả đánh giá độ ngẫu của liên kết hàn góc, hàn giáp mối sử dụng kính hiển vi quang học soi tổ chức tế vi trong liên kết hàn giáp mối để đánh giá mức độ ảnh hưởng của xung đơn so với xung kép đến chất lượng hàn.

1.3.2 Tình hình nghiên cứu trong nước

Là một bước đột phá trong công nghệ đóng tàu cao tốc vỏ hợp kim nhôm ở Việt Nam, năm 1997, Công ty 189 chế tạo thành công tàu tuần tra cao tốc vỏ nhôm mang ký hiệu ST 112 cho Bộ Tư Lệnh Bộ đội Biên Phòng.

Theo sau sản phẩm tàu hợp kim nhôm ST112, năm 1997, Công ty chế tạo hàng

loạt xuồng cao tốc vỏ hợp kim nhôm mang ký hiệu thiết kế ST450, ST520, ST660, ST570, ST700, ST650, ST750, ST750-CN, ST750CNX, ST737, ST850, ST880, ST900, ST920, ST1200, ST740, SD530, SD420 cho Các Bộ và các ngành để phục vụ cho các chương trình kiểm tra phòng chống bão lụt, tuần tra, cứu hộ cứu nạn, đổ bộ và du lịch. Tất cả sản phẩm trên đã được kiểm nghiệm qua thực tế khai thác sử dụng, được các thị trường khó tính đánh giá cao về chất lượng và tính năng sử dụng.

Không chỉ thành công trong việc chế tạo các sản phẩm xuồng cao tốc vỏ hợp kim nhôm, Công ty 189 còn thành công trong việc chế tạo hàng loạt tàu tuần tra quân sự tiên tiến (tàu tuần tra ST126 của Bộ Công an, tàu tuần tra ST112 của Bộ đội Biên phòng, tàu tuần tra DS197 của Tổng cục Hải quan, tàu tuần tra ST146 của Biên phòng ...), tàu chở khách (tàu KT01 của Huyện đảo Cô Tô, tàu vỏ hợp kim nhôm cao tốc 100 khách Bạch Long (ST138) của Ban QLDA Bạch Long Vĩ...) và hàng loạt các loại tàu khác như tàu đo đạc địa chính, tàu khảo sát thủy văn...

Năm 2001, đánh dấu một bước phát triển vượt bậc của Công ty 189 bằng việc Công ty đã chế tạo thành công tàu cảnh sát biển cao tốc vỏ hợp kim nhôm mang ký hiệu thiết kế TT120 cho lực lượng Cảnh sát Biển Việt Nam – đây là tàu tuần tra cao tốc vỏ hợp kim nhôm có giá trị và qui mô lớn được đóng lắp tại Việt Nam và sản phẩm tàu TT120 đã được Thủ trưởng Bộ và các cơ quan chức năng đánh giá cao cả về chất lượng, thẩm mỹ và đáp ứng được các tính năng kỹ chiến thuật được duyệt (hiện nay Công ty đã xuất xưởng được đến chiếc tàu thứ 8).

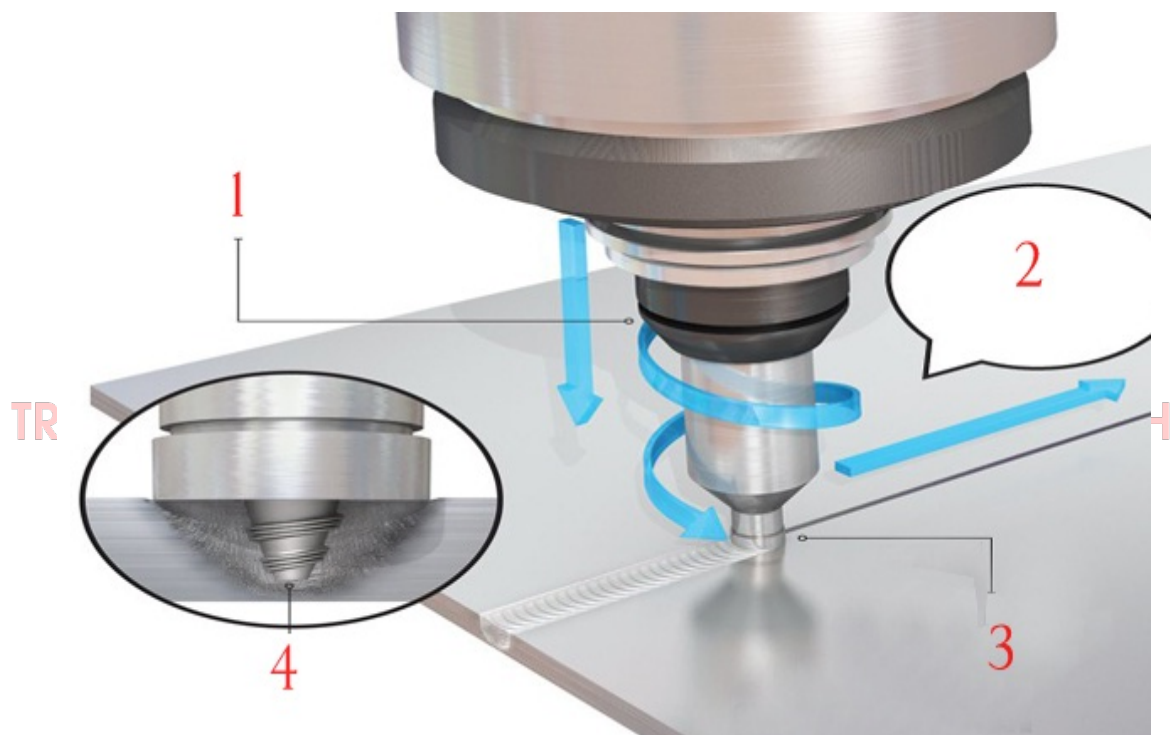
Không chỉ thành công trong lĩnh vực đóng tàu tuần tra cao tốc phục vụ công tác quốc phòng, trong lĩnh vực đóng mới tàu khách, tàu du lịch, tàu công vụ cao tốc vỏ hợp kim nhôm, Công ty 189 cũng đã thực hiện rất thành công và hiệu quả. Hiện nay, Công ty đã xuất xưởng hàng loạt tàu, xuồng du lịch – chở khách, tàu công vụ cao tốc vỏ hợp kim nhôm như tàu chở khách ST880, ST1500, ST138, ST166-1&2, ST1600, ST1650-1&2, ST155, K103, ST176, ST196, ST182, ST1360, 1706... những sản phẩm này đã được kiểm nghiệm qua thực tế khai thác và được khách hàng đánh giá cao. Chủ yếu nghiên cứu hàn hợp kim nhôm 5083.

Vũ Đình Toại đã nghiên cứu và bảo vệ thành công luận án tiến sĩ kỹ thuật khi hàn liên kết góc giữa nhôm 1010 và thép.

Nguyễn Quốc Mạnh cũng đã nghiên cứu và bảo vệ thành công luận án tiến sĩ kỹ thuật khi hàn giáp mối và liên kết góc giữa hợp kim nhôm 6061 và 5083 với thép không gỉ 304 và 316.

Trên tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản Số 3/2015 tác giả Dương Đình Hào cùng các cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của thông số hàn đến độ bền kéo mối hàn ma sát khuấy tấm hợp kim nhôm AA7075 được khảo sát qua nhiều chế độ hàn khác nhau với sự kết hợp của tốc độ quay chốt hàn w và tốc độ hàn v. Kết quả khảo sát

thực nghiệm cho thấy, khi tỉ số w/v nằm trong khoảng từ $4.0 \div 10.0$ vòng/mm thì mối hàn đạt chất lượng với độ bền kéo và độ biến dạng cao nhất lần lượt là 76% và 68% so với vật liệu nền. Trong tất cả các chế độ, vị trí phá hủy của mẫu thử khi kéo đều nằm ngoài vùng hàn nơi có độ cứng thấp nhất. Mối hàn ma sát khuấy của hợp kim nhôm AA7075 được chế tạo thành công và đã xác định được chế độ hàn hợp lý trên tiêu chí cấu trúc không khuyết tật và độ bền kéo cao nhất. Ảnh hưởng của tốc độ quay ω và tốc độ tịnh tiến v của chốt hàn đến cơ tính mối hàn đã được khảo sát và phân tích cụ thể. Mối hàn đạt được chất lượng khi tỉ số tốc độ quay và tịnh tiến ω/v của chốt hàn nằm trong khoảng giới hạn từ $4.0 \div 10.0$ vòng/mm.



Hình 1. 5 Hàn ma sát ngoáy

- (1) Dụng cụ vận hành bằng máy đẩy đầu xoay hay đầu dò vào kim loại.
- (2) Tốc độ quay và tuyến tính của đầu xoay rất quan trọng trong quá trình này và thay đổi phụ thuộc tính chất kim loại.
- (3) Đầu xoay tạo ra nhiệt và gắn kết kim loại vào với nhau.
- (4) Ma sát làm mềm kim loại dọc theo đường hàn, đưa chúng vào tình trạng mềm nhão mà không tan chảy.

Kết luận chương 1:

Các công trình nghiên cứu về hàn hợp kim nhôm với nhau và hợp kim nhôm với thép (thép các bon và thép không gỉ) ở trong nước còn rất hạn chế. Số lượng các công trình khoa học cũng như chuyên gia nghiên cứu về vấn đề này còn ít. Phương pháp hàn chưa được sử dụng triệt để và hiệu quả nhằm nâng cao chất lượng hàn, giảm các nguy cơ hình thành các khuyết tật trong hàn.

Chính vì những lý do trên tác giả chọn lựa đề tài nghiên cứu hàn hợp kim nhôm A6061 và phương pháp hàn TIG để có cái nhìn tổng quát về tình hình nghiên cứu, thực nghiệm khi hàn hợp kim nhôm A6061 bằng phương pháp hàn TIG để từ đó so sánh kết quả nghiên cứu của mình với các kết quả nghiên cứu trước. Cũng trên cơ sở công trình nghiên cứu của mình, tác giả cũng muốn các kết quả của mình có thể áp dụng trong thực tiễn sản xuất nhằm góp phần vào công cuộc bảo vệ an ninh tổ quốc.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

CHƯƠNG II

CÔNG NGHỆ HÀN TIG NHÔM VÀ HỢP KIM NHÔM

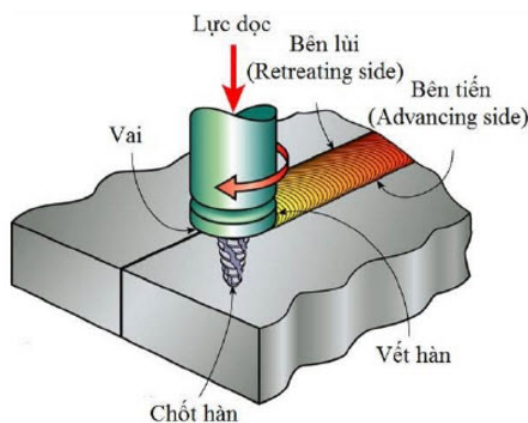
2.1 Tổng quan về các quá trình hàn nhôm và hợp kim nhôm

Quá trình hàn nóng chảy [1][2] được sử dụng phổ biến nhất là: hàn hồ quang que hàn thuốc bọc (SMAW), hàn hồ quang điện cực không nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (GTAW), hàn hồ quang điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (GMAW), hàn hồ quang dưới lớp thuốc (SAW),... Ngoài ra, người ta còn sử dụng các phương pháp hàn áp lực như: hàn ma sát, hàn điểm hàn đường để hàn loại vật liệu này.

2.1.1 Hàn ma sát

1. Hàn ma sát khuấy

Hàn ma sát khuấy FSW (Friction Stir Welding) được phát minh ra năm 1991 bởi TWI (The Welding Institute) (hình 2.1) [1][2]. Do vượt trội về độ bền, hiệu quả kinh tế và thân thiện với môi trường (so với các phương pháp hàn truyền thống như TIG, MIG, TAW, v.v.) nên từ khi ra đời cho đến nay công nghệ hàn ma sát khuấy đã không ngừng cuốn hút các nhà nghiên cứu cùng với đó là số lượng các công trình tăng vọt theo từng năm. Công nghệ này đã và đang được phát triển và ứng dụng rất mạnh trong các hợp kim được xem là khó hàn với các phương pháp hàn chảy truyền thống. Đặc biệt đối với hợp kim nhôm, sự hiệu quả mà nó mang lại là rất lớn [17].



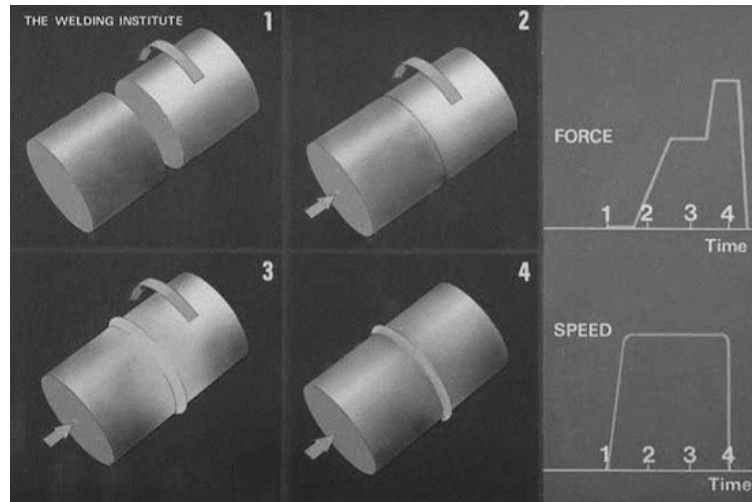
Hình 2. 1 Hàn ma sát khuấy

2. Hàn ma sát xoay

Đây là phương pháp hàn không sử dụng nhiệt năng để nối hai chi tiết lại với nhau cho nên tránh được hiện tượng nứt nóng, vùng ảnh hưởng nhiệt tương đối nhỏ, sự tồn tại ứng suất dư sau hàn là rất nhỏ. Bên cạnh đó phương pháp hàn này không cần phải sử dụng kim loại bổ sung.

Không giống như các quá trình khác, hàn ma sát là một quá trình hàn áp lực trong đó kim loại cơ bản chỉ đạt đến trạng thái dẻo. Hình 2.2 mô tả quá trình hàn ma

sát xoay. Hai mặt cần hàn tiếp xúc với nhau, một chi tiết xoay tròn và một chi tiết đứng yên. Quá trình này tạo ra nhiệt làm chảy dẻo cục bộ chỗ kim loại cơ bản tiếp xúc. Sau đó tăng lực ép và không xoay, khi nguội sẽ tạo thành liên kết hàn.



Hình 2. 2 Hàn ma sát xoay

Một đặc điểm rất quan trọng của phương pháp hàn ma sát là khả năng hàn được tất cả các hợp kim kể cả đối với các hợp kim mà trước đây cho là không thể hàn. Có thể tạo các mối nối hàn từ các kim loại khác nhau, kết hợp thép, đồng và nhôm với nhau và hàn các hợp kim như đồng 2,5% Al-2618 và hợp kim AlZnMgCu 7075 mà không bị nứt nóng.

2.1.2 Hàn điện trở

Hàn điện trở là phương pháp hàn sử dụng nhiệt và lực [1]. Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình hàn ở đây do dòng điện chạy qua điện trở vùng hàn, phôi hàn và tuân theo định luật ôm:

$$Q = 0.24I^2.R.t \quad (2.1)$$

Ở đây: Q: Nhiệt lượng (Cal)

I: Cường độ dòng điện Hàn (A)

R: Điện trở tổng cộng của vật hàn nằm giữa hai điện cực (Ω)

$$\text{Theo định luật ôm: } R = \rho \frac{l}{F} (\Omega) \quad (2.2)$$

t: Thời gian hàn (gy)

p: Điện trở riêng ($\Omega.cm$), l: Chiều dài vật dẫn (cm) và F: Diện tích tiết diện vật dẫn cm^2 .

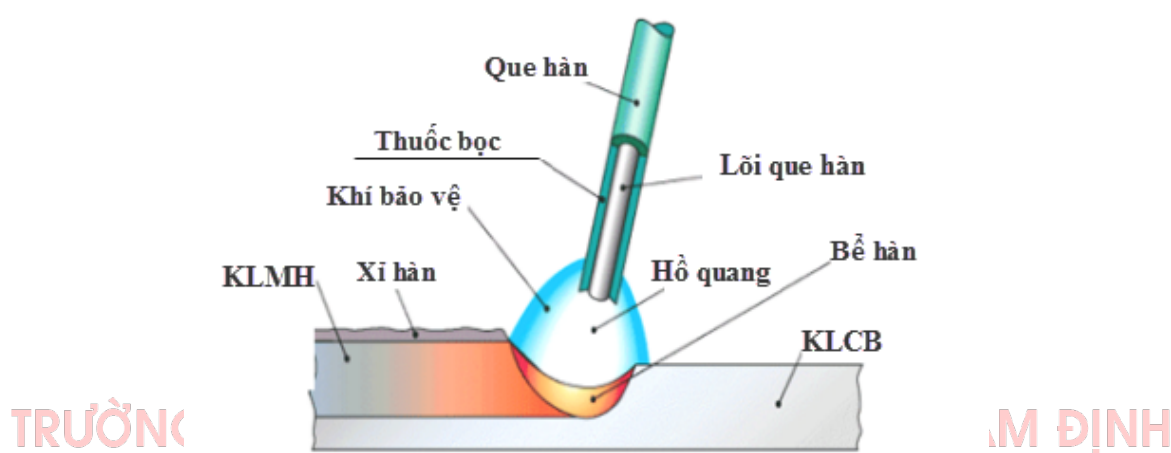
Điện trở riêng là một yếu tố rất quan trọng đối với hàn điện tiếp xúc.

Những hợp kim có điện trở lớn, theo (2.1) và (2.2) ta thấy sẽ tạo ra nhiệt lượng lớn trong quá trình hàn, do đó ta có thể sử dụng máy hàn có công suất nhỏ để hàn và ngược lại.

Điện trở riêng phụ thuộc vào thành phần hóa học, nhiệt độ và phụ thuộc ở mức độ thấp vào gia công cơ và nhiệt của vật liệu.

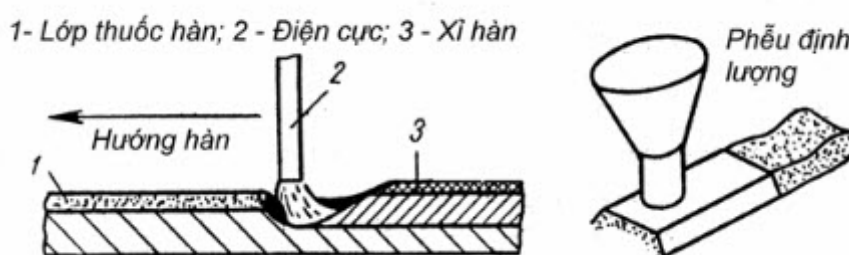
2.1.3 Hàn hồ quang tay (SMAW)

Hàn hồ quang tay [1] với que hàn thuốc bọc (SMAW), thường được gọi là phương pháp hàn bằng que hàn, là một phương pháp cổ điển nhất của các nhóm hàn hồ quang hiện nay. Tuy nhiên nó lại được ứng dụng rộng rãi nhất. Đây là quá trình hàn được thực hiện bằng tay, trong đó nhiệt lượng cho quá trình hàn tạo ra nhờ cột hồ quang hình thành giữa vật hàn và que hàn, có vỏ bọc thuốc hàn. Phương pháp hàn hồ quang SMAW được sử dụng rộng rãi do tính đa dạng của nó và thiết bị tương đối đơn giản, dễ di chuyển và rẻ hơn so với các thiết bị hàn hồ quang khác, [17].



Hình 2. 3 Nguyên lý hàn hồ quang tay

2.1.4 Hàn hồ quang dưới lớp thuốc (SAW)



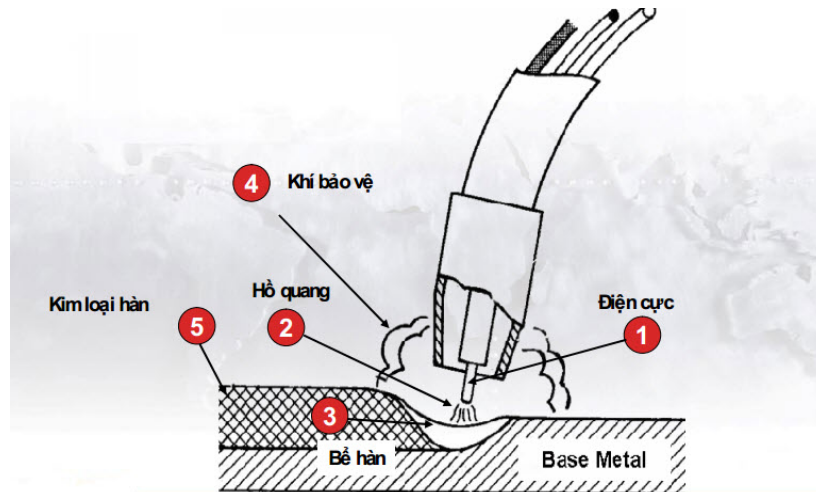
Hình 2. 4 Hàn tự động dưới lớp thuốc

Hàn hồ quang dưới lớp thuốc (SAW) [1] tương tự như hàn hồ quang với điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ. Thay vì dùng khí bảo vệ vùng hồ quang và đầu điện cực người ta sử dụng thuốc hàn dưới dạng hạt. Quá trình hàn này năng suất rất cao nhưng chỉ sử dụng để hàn thép. Hàn hồ quang dưới lớp thuốc thường thực hiện với cường độ dòng điện khoảng 400-1000A. Hiệu suất nhiệt cao nhờ vào sự cách nhiệt tốt của lớp thuốc bảo vệ.

2.1.5 Hàn hồ quang với điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ

(GMAW)

Đây là loại quá trình hàn có độ tin cậy cao khi sử dụng điện cực nóng chảy dưới dạng dây hàn trong môi trường khí trơ trên cơ sở khí argon. Ra đời trong thập kỷ 50, quá trình này được biết đến với tên gọi ban đầu là quá trình hàn MIG và cho đến nay vẫn là một trong những quá trình hàn được sử dụng rộng rãi vì có một loạt những ưu điểm nổi bật. Ta có thể sử dụng phương pháp hàn này ở chế độ hàn tự động hoặc bán tự động đối với nhiều loại vật liệu, chiều dày và vị trí hàn. Đây là loại quá trình hàn có năng suất đắp cao ở hai chế độ hàn tự động và bán tự động, [2].



Hình 2. 5 Hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ

Một trong những ứng dụng ban đầu của phương pháp hàn hồ quang bằng điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ là hàn nhôm trong môi trường khí argon. Đối với thép, khí bảo vệ được sử dụng rộng rãi là CO_2 và hỗn hợp khí Ar/CO_2 . Thành phần khí bảo vệ có ảnh hưởng đáng kể đến đặc trưng của quá trình hàn, hình dạng mối hàn, mức độ bắn tóe và cơ tính của kim loại mối hàn (đặc biệt là độ dai va đập). Khí bảo vệ CO_2 thường được sử dụng cho hàn kết cấu thông dụng từ thép cac bon thấp đôi khi đòi hỏi cao về hình dạng bề mặt mối hàn, phạm vi biến thiên tương đối rộng chế độ hàn và độ dai va đập. Mặc dù có giá thành cao, các hỗn hợp khí Ar/CO_2 hoặc $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{O}_2$ cho phép cải thiện đáng kể hình dạng bề ngoài mối hàn.

Ưu điểm chính của hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ là:

- Có thể hàn ở cả hai chế độ: tự động và bán tự động.
- Mức độ linh hoạt cao đối với các loại vật liệu và vị trí hàn khác nhau.
- Năng suất đắp cao (có thể dùng dây lõi bột).
- Mật độ dòng hàn cao bảo đảm vùng ảnh hưởng hẹp;
- Chế độ hàn xung cho phép kiểm soát tốt hơn quá trình hàn so với hàn không có xung.

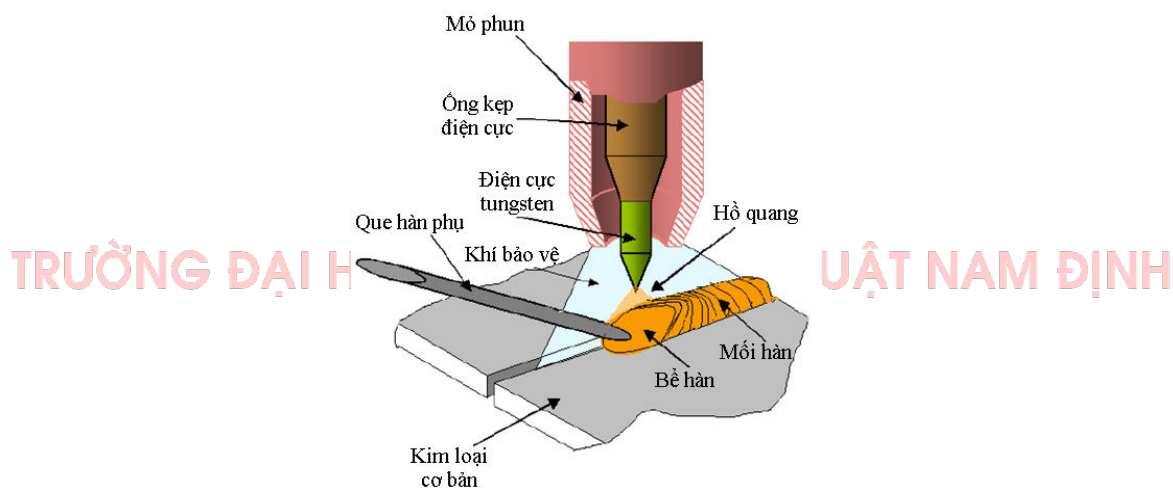
Nhược điểm của quá trình này là:

- Dễ hình thành khuyết tật, bắn tóe và rỉ khí.

- Giá thành thiết bị hàn cao hơn so với phương pháp hàn hồ quang tay. Bên cạnh đó nếu yêu cầu tối ưu hóa các thông số hàn để kiểm soát quá trình hàn tốt hơn thì giá thành thiết bị sẽ tăng rất cao.

2.1.6 Hàn hồ quang điện cực không nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ (GTAW)

Hàn hồ quang điện cực không nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ [1], điện cực wonfram được sử dụng thay thế điện cực nóng chảy trong hàn hồ quang que hàn thuốc bọc. Khí bảo vệ là các loại khí trơ như: argon, helium hoặc H_2 được sử dụng để bảo vệ kim loại không bị oxy hóa. Nguồn nhiệt của hồ quang hình thành giữa điện cực và vũng hàn. Nguồn nhiệt được tạo ra do sự hình thành hồ quang giữa điện cực và KLCB làm nóng chảy mép hàn. Quá trình hàn hồ quang với điện cực không nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ có thể hàn được hầu hết các kim loại và cho mối hàn có chất lượng tốt. Tuy nhiên tốc độ hàn chậm hơn các quy trình hàn khác.



Hình 2. 6 Hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ

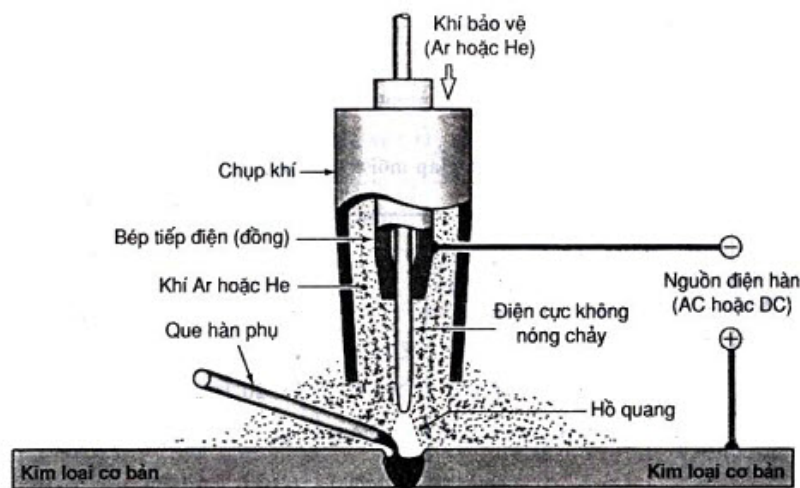
2.2 Quá trình hàn TIG

2.2.1 Nguyên lý, đặc điểm và ứng dụng của hàn TIG

2.2.1.1 Nguyên lý

Hàn hồ quang điện cực không nóng chảy trong khí trơ bảo vệ (TIG) “Là phương pháp hàn hồ quang sử dụng hồ quang giữa một điện cực Tungsten (không nóng chảy) và bể hàn (hình 2.7). Phương pháp này được sử dụng cùng với khí bảo vệ và không dùng áp lực. Kim loại điền đầy có thể có hoặc không sử dụng

Phương pháp này đã được phát triển từ những năm 1930 bằng hồ quang heli hoặc hàn hồ quang khí trơ, và được dùng để hàn các kim loại không có chứa sắt, đặc biệt mangan và nhôm, và các mối ghép kim loại khó hàn. TIG đúng nghĩa là hàn điện cực không nóng chảy trong khí trơ Tungsten inert gas welding và theo Châu âu nó được gọi là WIG welding (dùng từ *Wonfram*).



Hình 2. 7 Sơ đồ nguyên lý hàn TIG

2.2.1.2 Đặc điểm của hàn TIG

1. Ưu điểm

- Hồ quang tập trung, có nhiệt độ cao (6000°C).
- Kim loại mối hàn có thể không cần kim loại phụ khi hàn gấp mép giáp mối không khe hở các chi tiết mỏng.
- Mối hàn có chất lượng cao đối với hầu hết kim loại và hợp kim.
- Mối hàn không phải làm sạch sau khi hàn.
- Hồ quang và vùng hàn có thể quan sát được trong khi hàn.
- Không có kim loại bắn tóe.
- Có thể hàn ở mọi vị trí trong không gian.
- Nhiệt tập trung cho phép tăng tốc độ hàn, giảm biến dạng liên kết hàn.
- Tạo ra mối hàn chất lượng cao thường không khuyết tật
- Không có sự bắn tóe như hay xảy ra với các phương pháp hàn hồ quang khác.
- Có thể sử dụng với hoặc không cần sử dụng KL bổ sung.
- Cho phép kiểm soát tốt chiều sâu của mối hàn chân (hàn lót)
- Cho phép điều khiển chính xác những thông số hàn .
- Có thể ứng dụng để hàn hầu hết kim loại bao gồm các liên kết kim loại không giống nhau.
- Cho phép nguồn nhiệt độ và các kim loại điền đầy đưa thêm vào có thể được điều khiển một cách độc lập.
- Chiều rộng vùng ảnh hưởng nhiệt nhỏ
- Hàn được hầu hết các kim loại và hợp kim, kim loại màu và hợp kim màu.
- Không cần sử dụng thuốc hàn nên sau hàn không phải loại bỏ xỉ (dùng khí trơ để bảo vệ vùng hàn và điện cực).
- Không bắn tóe kim loại lỏng.

- Không sản sinh ra khí độc
- Sức khỏe người lao động được cải thiện rõ rệt.
- Môi trường ít bị ô nhiễm.

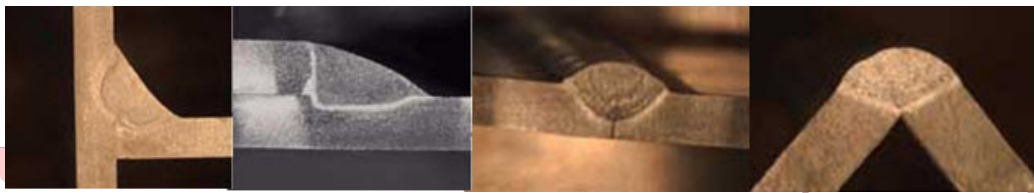
2. Nhược điểm

- Tốc độ điền đầy thấp hơn so với phương pháp hàn hồ quang sử dụng điện cực nóng chảy .

- Khi hàn những chi tiết có chiều dày lớn hơn 10 mm tính kinh tế thấp .
- Có khó khăn trong bảo vệ vùng hàn một cách thích đáng khi hàn trong môi trường thoáng gió .

* Một số khuyết tật thường gặp khi hàn TIG

- Môi hàn có nguy cơ nhiễm Vonfram nếu để điện cực chạm vào bề hàn
- Sự lẫn tạp chất trong KLMH có thể xảy ra nếu sự bảo vệ vùng hàn, KL điền đầy không thích hợp và không liên tục.
- Tạp chất hoặc rỗ có thể xuất hiện do sự rò rỉ của chất làm nguội từ mỏ hàn.
- Hồ quang có thể bị thổi lệch giống như phương pháp hàn hồ quang khác.



Hình 2. 8 Một số hình ảnh về mối hàn bằng phương pháp hàn TIG

2.2.1.3 Ứng dụng hàn TIG

Quá trình hàn TIG [1] phù hợp khi hàn kim loại dạng tấm có chiều dày $5 \div 6$ mm. Đối với kim loại có chiều dày lớn hơn khi áp dụng phương pháp hàn này thì cần phải hàn nhiều đường nhiều lớp và phải vát mép. Điều này cũng ảnh hưởng đến chất lượng hàn vì nó sẽ làm tăng biến dạng, ứng suất dư và làm giảm cơ tính của vật liệu cơ bản. Hàn TIG cho chất lượng mối hàn cao và có thể kiểm soát tốt nhiệt lượng cấp vào bề hàn và dây hàn. Phương pháp hàn này có thể hàn được mọi vị trí trong không gian và thực sự hữu ích khi hàn mối ghép dạng ống. Quá trình hàn TIG ít phải làm sạch sau hàn hoặc có thì rất ít. Có thể hàn tự động hoặc bằng tay, nó thường được gọi bằng tên gọi khác đó là “hàn công nghệ cao” được sử dụng trong ngành công nghiệp:

- Hạt nhân;
- Hàng không vũ trụ;
- Chế biến thức ăn, thực phẩm;
- Bảo trì, bảo dưỡng công nghiệp;

- Chế tạo các chi tiết chính xác cao;
- Ô tô.

2.2.2 Thiết bị hàn TIG

2.2.2.1 Máy hàn



Hình 2. 9 Máy hàn TIG xoay chiều (AC), Master TIG 1500 [5]



Hình 2. 10 Máy hàn TIG một chiều (DC), TOP HF 166



Hình 2. 11 Máy hàn TIG MATRIX 400 AC/DC

Bảng 3. 1 Thông số kỹ thuật của máy TIG MATRIX 400 AC/DC

TECHNICAL DATA		MATRIX			
		250 AC/DC	3000 AC/DC	400 AC/DC	500 AC/DC
Three phase input 50/60 Hz	V	400 + 20% - 20%	400 + 20% - 20%	400 + 15% - 20%	400 + 15% - 20%
Input Power @ I ₂ Max	kVA	7	9,6	15,3	17,9
Delayed Fuse (I ₂ @ 100%)	A	10	10	16	20
Power Factor / cos ϕ		0,98/0,99	0,95/0,99	0,97/0,99	0,95/0,99
Efficiency Degree		0,74	0,76	0,76	0,76
Open circuit voltage	V	95	100	65	70
Current range	A	5 - 250	5 - 300	5 - 400	10 - 500
Duty cycle at (40°C)	A 100%	170	210	250	310
	A 60%	200	250	320	400
	A 35%	250	300	400	500
Standards		EN 60974-1 • EN 60974-3 • EN 60974-10			
		[S]			
Protection Class	IP	23 S	23 S	23 S	23 S
Insulation Class		H	F	F	H
Dimensions	↗ mm	500	465	670	715
	→ mm	220	185	290	290
	↑ mm	425	390	525	525
Weight	kg	28	19	49	53

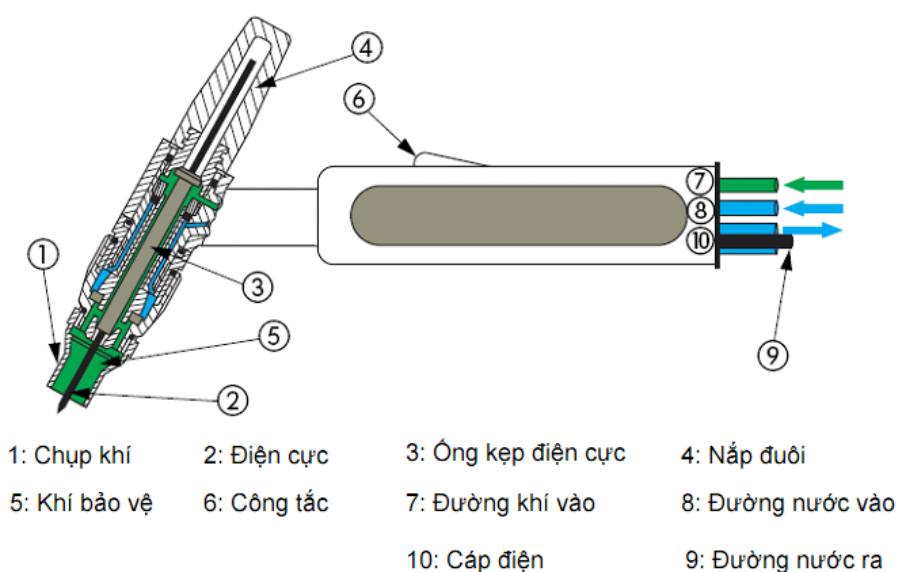
Other voltages available on request

These power sources are built for industrial environment use. EMC (CISPR 11): class A



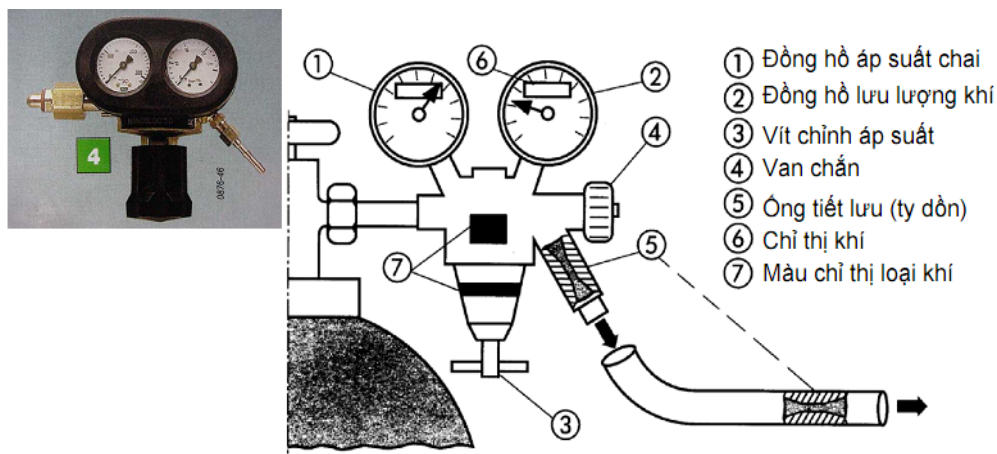
Dựa vào các thiết bị hàn TIG điển hình được liệt kê phía trên, tác giả nhận thấy các thiết bị này có thể dùng để hàn thép các bon, thép hợp kim, kim loại và hợp kim màu. Tuy nhiên thiết bị hàn TIG MATRIX 400 AC/DC có những ưu điểm vượt trội mà các thiết bị hàn khác không đáp ứng được khi hàn nhôm và hợp kim nhôm. Nên tác giả chọn lựa thiết bị hàn TIG MATRIX 400 AC/DC để làm thực nghiệm. Thêm vào đó, thiết bị hàn này sẵn có tại nơi mà tác giả làm thí nghiệm.

2.2.2.2 Mỏ hàn



Hình 2. 12 Cụm mỏ hàn TIG

2.2.2.3 Van giảm áp và bộ phận cấp khí bảo vệ



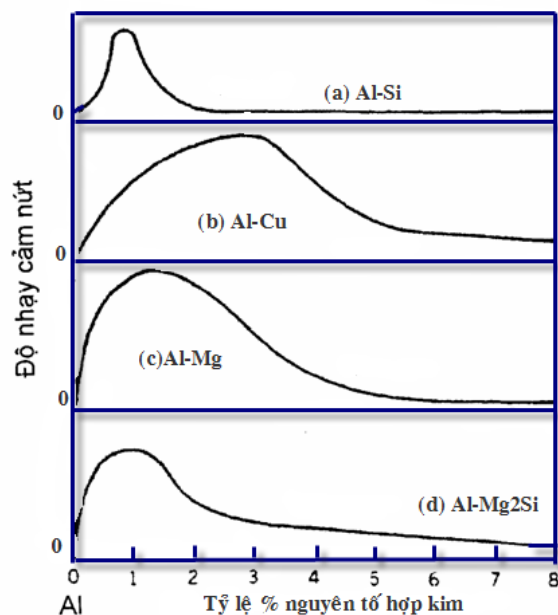
Hình 2. 13 Van giảm áp

2.2.3 Vật liệu hàn nhôm và hợp kim nhôm

Khi hàn nhôm, nếu chọn vật liệu hàn không thích hợp, có thể xảy ra nứt tại kim loại mối hàn do kim loại mối hàn hoặc vùng ảnh hưởng nhiệt có tính dẻo và độ bền thấp tại nhiệt độ nâng cao (hiện tượng này đôi khi gây ra sứt mối hàn) [1][3].

Để giảm xu hướng nứt giữa các tinh thể trong vùng ảnh hưởng nhiệt, nên dùng vật liệu hàn có nhiệt độ nóng chảy bằng hoặc thấp hơn kim loại cơ bản, tức là có hàm lượng các nguyên tố hợp kim cao hơn. Trên hình 10-2 là quan hệ giữa khả năng xảy ra nứt nóng và hàm lượng các nguyên tố hợp kim trong kim loại mối hàn. Nếu nhôm chứa 0,6% S thì kim loại mối hàn dễ bị nứt khi hàn bằng dây hàn có cùng thành phần hóa học. Khi đó nên dùng dây hàn chứa 5% Si (có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn, do đó dẻo hơn kim loại cơ bản và sẽ biến dạng khi nguội để bù lại ứng suất co mà lẽ ra có thể gây nứt). Trong nhiều trường hợp, dây hàn Al-5% Mg cho mối hàn có tính dẻo và độ bền cao. Tuy nhiên không được dùng loại dây Al-Si để hàn hợp kim Al-Mg vì sẽ xuất hiện cùng tinh của Mg và Si (làm giảm tính dẻo và gây nứt).

Tương tự như vậy, Mg và Cu không được đồng thời tồn tại trong mối hàn nhôm, có nghĩa là dây hàn Al-Mg không được dùng để hàn hợp kim Al-Cu và dây hàn Al-Cu không được dùng để hàn hợp kim Al-Mg. Khi hàn hợp kim Al-Si bằng dây Al-Si, thành phần hóa học của kim loại mối hàn (có xét tới phần kim loại cơ bản hòa tan vào mối hàn) cần được tính sao cho có giá trị nằm ngoài dải 0,5 ÷ 2% Si (vùng dễ nứt). Tương tự như vậy, thành phần kim loại mối hàn của hợp kim Al-Mg không được nằm trong khoảng 0,5 ÷ 2% Mg.



Hình 2. 14 Độ nhạy cảm nứt của mỗi hàn

2.2.3.1 Khí bảo vệ

Khí trơ sử dụng có độ tinh khiết cao: Ar (99,99% hoặc 99,98%), He (99,985%). Điện cực W có pha LaO hoặc (Yttrium oxyt) Y_2O_3 . Dòng điện hàn là dòng xoay chiều. Vật liệu kim loại hàn cần có nhiệt độ nóng chảy thấp hơn và dải nhiệt độ kết tinh rộng hơn so với kim loại cơ bản (bảo đảm tính hàn và giảm thiểu nguy cơ nứt). Dây hàn phụ có thành phần gần giống kim loại cơ bản hoặc có chứa Ce (để bảo đảm tính dẻo kim loại mối hàn) [1].

Các loại quá trình hàn điện nóng chảy phổ biến đối với nhôm và hợp kim nhôm là hàn hồ quang tay, hàn hồ quang dưới lớp thuốc, và hàn trong môi trường khí bảo vệ.

2.2.3.2 Que hàn cho nhôm và hợp kim nhôm

Bảng 2. 1 Phân loại que hàn cho nhôm và hợp kim nhôm

Ký hiệu	Thành phần [%]	Độ bền [Mpa]	Kim loại cơ bản
E 1100	$(Si + Fe) \leq 0,95$; $0,05Cu$; $Zn \leq 0,1$	90	Nhôm kỹ thuật
E 3003	$Si \leq 0,95$; $Fe \leq 0,7$; $0,05 \div 0,20Cu$; $Zn \leq 0,1$; $1 \div 1,5Mn$	100	Hợp kim 1100 và 3003
E4043	$4,5 \div 6,0 Si$; $Fe \leq 0,8$; $Cu \leq 0,3$; $Zn \leq 0,1$	100	Các hợp kim loại 5XXX, 6XXX ($\leq 2,5\% Mg$); hợp kim đúc Al-Si; 1100; 1350; 3003

Que hàn nhôm và hợp kim nhôm [1][2][3] được sử dụng để hàn hồ quang tay trong chế tạo các kết cấu chịu tải đơn giản và trong sửa chữa. Tiêu chuẩn AWS A5.3

phân ra 3 loại que hàn, bảng 2.1

2.2.3.3 Dây hàn

Ký hiệu	Thành phần [%]
ER 1100	$\geq 99,0$ Al
ER 2319	6,3 Cu; (V+Zr) có kiểm soát, Al còn lại
ER 4043	5,3 Si; Al còn lại
ER 4047	12 Si; Al còn lại
ER 4145	10 Si; 4 Cu; Al còn lại
ER 5183	0,8 Mn; 4,9 Mg; Al còn lại
ER 5356	0,1 Mn, 5 Mg; Al còn lại
ER 5554	0,8 Mn; 5,1 Mg; Al còn lại
ER 5654	3,5 Mg, Mn không đáng kể, Al còn lại
R 242	4 Cu; 1,5 Mg; 2 Ni; Al còn lại
R 295	4,5 Cu; Al còn lại
R355	5 Si; 1,2 Cu; 0,5 Mg; Al còn lại
R356	7 Si; 0,3 Mg, Al còn lại

2.3 Công nghệ hàn TIG

Chất lượng của mối hàn GTAW [1] được xếp vào loại có chất lượng cao hơn chất lượng của bất cứ phương pháp hàn hồ quang nào khác. Mức độ cao của chất lượng đạt được khi tất cả những công việc cần thiết đã nắm vững và được chuẩn bị trước.

2.3.1 Dòng điện hàn

- Cường độ dòng điện có thể xác định theo loại vật liệu:

+ Thép không và hợp kim thấp 30 - 50A

+ Thép hợp kim cao 30 - 40A

+ Nhôm 40 - 60A

+ Đồng 75 - 80A

- Phụ thuộc vào vật liệu, tư thế hàn, dạng mối ghép, loại dòng điện.

- Khi nhiệt cung cấp quá thấp, điều đó có thể xảy ra từ một dòng điện hàn quá

thấp hoặc tốc độ hàn quá nhanh, đường hàn nhỏ cao là hiển nhiên và độ ngấu nhỏ.

- Khi dòng điện hàn quá thấp, đường hàn sẽ cao, độ ngấu sâu kém, và có khả năng của chong lổ ở rìa đường hàn

- Khi tốc độ hàn quá nhanh, đường hàn cũng nhỏ và độ ngấu sâu kém

- Khi nhiệt cung cấp quá lớn, điều đó có thể xảy ra từ một dòng điện hàn quá cao hoặc tốc độ hàn quá chậm, đường hàn trở nên vô cùng rộng, thường rộng và bằng. Điều đó làm cho độ ngấu cũng nhiều và có thể bị bắn toé.

1. DCEN (dòng một chiều đầu thuận)

Đây là phương pháp hàn TIG sử dụng dòng điện hàn 1 chiều đầu thuận (điện cực Vonfram được nối với cực âm). Đây là kiểu đầu dòng một chiều (DC) được áp dụng rộng rãi trong quá trình hàn TIG. Với kiểu đầu này điện cực nhận được 30% năng lượng nhiệt hồ quang.

2. DCEP (dòng một chiều đầu nghịch)

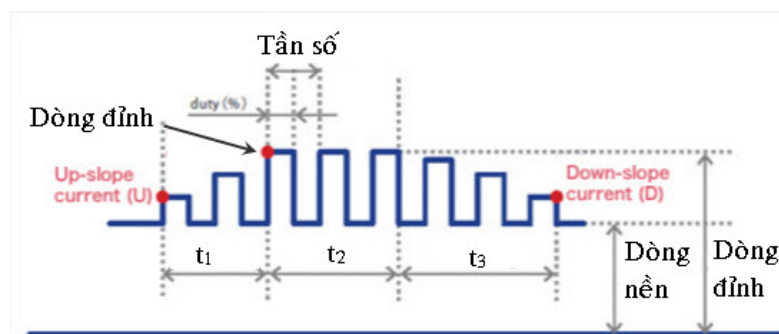
Cách đầu này điện cực Vonfram được nối với dương cực. Cách đầu này ít được áp dụng vì nhiệt lượng của hồ quang tập trung vào điện cực sẽ làm điện cực bị quá nhiệt và nhanh bị mòn.

3. Dòng xoay chiều (AC)

Đây là loại dòng điện được ưa dùng khi hàn vật liệu trắng như nhôm và magie. Ở một nửa chu kỳ, điện cực Vonfram mang cực dương, điện tử sẽ từ phía kim loại cơ bản dịch chuyển về phía điện cực. Kết quả là lớp ô xít trên bề mặt kim loại cơ bản sẽ bị phá vỡ cho nên nó còn được gọi là quá trình làm sạch lớp ô xít nhôm bề mặt. Ở nửa chu kỳ sau, điện cực Vonfram mang cực tính âm, điện tử sẽ dịch chuyển từ điện cực về phía kim loại cơ bản. Nửa chu kỳ này được gọi là nửa chu kỳ ngấu của sóng AC.

4. Dòng xoay chiều sóng vuông

Do sự phát triển của ngành điện tử người ta đã tạo ra các thiết bị hàn xoay chiều có dạng sóng hình vuông. Dạng sóng này có thể được kiểm soát tốt hơn và ở mỗi nửa chu kỳ hiệu quả làm sạch và tăng chiều sâu ngấu tốt hơn.



Hình 2. 15 Sơ đồ hàn dòng điện xung

2.3.2 Chế độ hàn TIG

Chất lượng của mỗi hàn TIG được xếp vào loại có chất lượng cao hơn chất lượng của bất cứ phương pháp hàn hồ quang nào khác [2].

Bảng 2. 2 Mối quan hệ giữa đường kính điện cực và dòng hàn

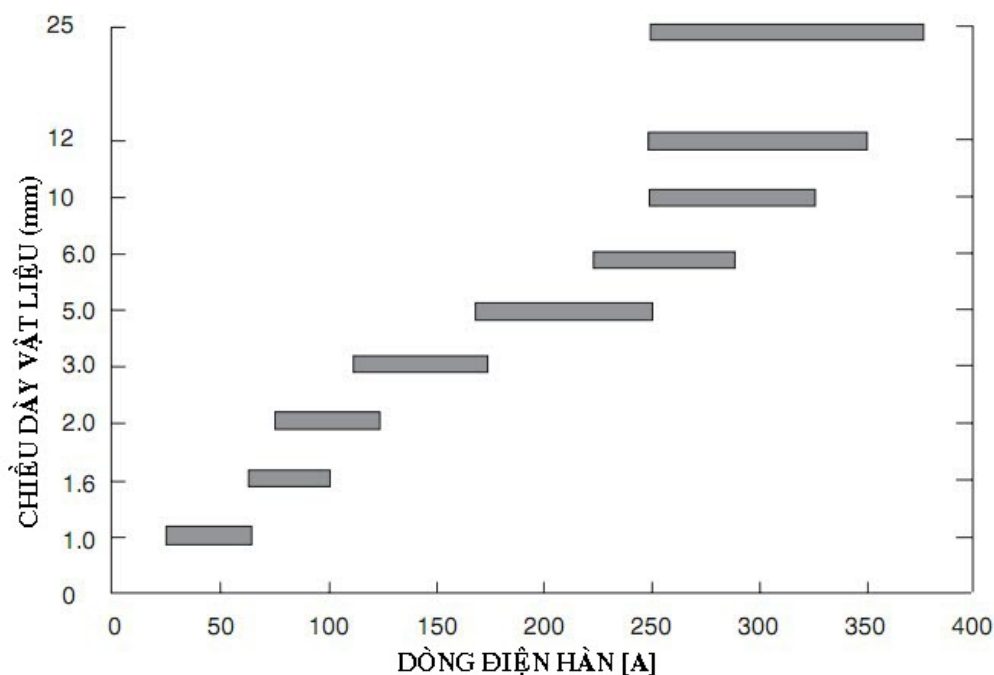
Đường kính điện cực (mm)	Dòng hàn (A)
1.0	20–50
1.6	50–80
2.4	80–160
3.2	160–225
4.0	225–330
5.0	330–400
6.4	400–550

Trên bảng 2.2 cho ta thấy dòng điện hàn phụ thuộc vào đường kính điện cực. Đường kính điện cực lớn thì dòng điện hàn lớn. Tuy nhiên, đối với phương pháp hàn TIG người ta thường sử dụng điện cực có đường kính đến 2,4 mm.

Bảng 2. 3 Mối quan hệ giữa chiều dày và lưu lượng khí bảo vệ

Chiều dày vật hàn (mm)	Đường kính chụp khí (mm)	Lưu lượng khí bảo vệ	
		Argon (l/min)	Helium (l/min)
up to 1	9.5	3.4	7.5
1 to 3	9.5	4.5	9.5
3 to 5	12.5	5.6	11.8
5 to 9	12.5	7.0	14.2
9 to 12	16.0	8.0	16.5
12 and above	25.0	12.0	21.0

Trên bảng 2.3 ta nhận thấy việc lựa chọn đường kính chụp sứ (chụp sứ số) phụ thuộc vào chiều dày vật liệu. Tuy nhiên, người ta cũng chỉ sử dụng chụp sứ có đường kính tới 12,5 mm. Vì thông thường đối với vật liệu có chiều dày lớn, hàn bằng tay người ta thường vát mép vật hàn theo tiêu chuẩn (hướng dẫn). Bên cạnh đó là lưu lượng khí bảo vệ tương ứng với trường hợp sử dụng khí bảo vệ là Ar hay He.



Hình 2. 16 Mối quan hệ giữa dòng điện hàn và chiều dày vật hàn

Hình 2.17 cho thấy rằng khi vật hàn có chiều dày lớn thì phải sử dụng dòng điện hàn lớn. Như chúng ta đã biết việc sử dụng dòng điện hàn lớn có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng mối hàn.

2.4 Kỹ thuật hàn nhôm A6061 bằng phương pháp hàn TIG

2.4.1 Tính công nghệ của hợp kim nhôm A6061

Hàm lượng Ma giê lên đến khoảng 5% và có thể được hòa tan trong nhôm làm tăng độ bền của hợp kim này: cao hơn so với ma giê nguyên chất. Lượng magiê có thể bị giải phóng trong điều kiện cân bằng ở nhiệt độ môi trường xung quanh chỉ khoảng 1,4%. Điều này có nghĩa rằng magiê luôn có xu hướng thoát ra khỏi dung dịch khi các hợp kim có hàm lượng magiê lớn được nung nóng và làm nguội chậm. Phản ứng này xảy ra rất chậm và quá trình hàn không gây ra bất kỳ sự thay đổi đáng kể nào, ngoại trừ việc làm lạnh nhanh sẽ làm cơ tính sẽ giảm xuống [1][12].

- Khi hàn, dễ xuất hiện oxit Al_2O_3 (nhiệt độ nóng chảy 2050°C so với 660°C của nhôm, có khối lượng riêng lớn hơn nhôm, $3,6\text{g}/\text{cm}^3$ so với $2,7\text{g}/\text{cm}^3$). Do đó, có thể xảy ra các hiện tượng như cạnh mối hàn khó nóng chảy, lẫn xỉ trong khi hàn. Vì vậy trước khi hàn phải khử màng oxit nhôm bằng các phương pháp cơ học hoặc hóa học. Các biện pháp cơ học bao gồm giũa, cạo, chải bằng bàn chải có sợi thép không gỉ. Các biện pháp hóa học gồm sử dụng dung dịch axit hoặc kiềm. Trong khi hàn còn có thể sử dụng hiệu ứng catot bắn phá màng oxit, hoặc thông qua thuốc hàn để hòa tan oxit nhôm, tạo thành các chất dễ bay hơi. Thuốc $50\% \text{KCl} + 15\% \text{NaCl} + 35\% \text{Na}_3\text{AlF}_6$ sẽ tạo phản ứng $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{KCl} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 \uparrow + 3\text{K}_2\text{O}$. Sau khi hàn, phải khử thuốc hàn dư để tránh hiện tượng ăn mòn kim loại mối hàn.

- Tại nhiệt độ cao, do độ bền giảm nhanh, tấm nhôm đang hàn có thể bị sụt. Độ chảy loãng cao làm nhôm dễ chảy ra khỏi chân mối hàn. Nhôm không đổi màu khi hàn, do đó khó không chế kích thước vững hàn.

- Hệ số dẫn nở nhiệt cao, mô đun đàn hồi thấp, nhôm dễ bị biến dạng khi hàn (phải kẹp chặt bằng đồ gá có tính dẫn nhiệt kém).

- Phải làm sạch mép hàn, dây hàn, không chỉ vì cần khử oxit nhôm, mà dầu mỡ cũng còn là nguyên nhân gây rỗ khí (hydro làm giảm độ bền và tính dẻo vì hydro có hệ số khuếch tán thấp trong nhôm). Rỗ chủ yếu tại kim loại mối hàn, đường chảy. Nung nóng sơ bộ và nung đồng thời khi hàn sẽ làm giảm rỗ. Cần khử các chất chứa hydro trên bề mặt vật hàn: dầu, mỡ, sơn, hơi ẩm. Có thể khử bằng hơi nước hoặc dung môi thích hợp và nên tiến hành trước khi lắp ghép hàn.

- Nhôm dẫn nhiệt tốt, phải dùng nguồn nhiệt có công suất cao hoặc nguồn nhiệt xung khi hàn.

- Kim loại mối hàn dễ nứt do cấu trúc hạt hình cột thô và cùng tinh có nhiệt độ nóng chảy thấp ở tinh giới, cũng như do co ngót (7%) khi kết tinh.

- Nhôm không có chuyển biến thù hình nên không xử lý nhiệt để cải thiện tổ chức cơ tính của nhôm được.

Khi hợp kim có thể nhiệt luyện được đã trải qua ủ đồng nhất hóa tổ chức và hóa già tự nhiên hoặc nhân tạo được đem ra hàn hồ quang, tại vùng ảnh hưởng nhiệt sẽ xảy ra sự suy giảm độ bền và tính dẻo. Vùng ảnh hưởng nhiệt có ba khu vực riêng biệt: vùng ủ, vùng ủ không hoàn toàn và vùng hóa già quá mức. Nếu liên kết hàn này được đem ủ đồng nhất hóa tổ chức và hóa già, độ bền ban đầu sẽ được phục hồi, nhưng tính dẻo thì không phục hồi được. Nếu chỉ đem hóa già thì cả độ bền lẫn tính dẻo đều thấp. Do đó, để có được cơ tính tối ưu, các hợp kim này cần phải được hàn ở trạng thái ủ, sau đó mới được đem đi nhiệt luyện (ủ đồng nhất hóa tổ chức và hóa già).

Khi hàn nhôm và hợp kim nhôm, cần tránh nung nóng sơ bộ nếu có thể được, vì nó làm tăng chiều rộng vùng ảnh hưởng nhiệt và làm giảm cơ tính liên kết hàn. Thường các chi tiết dày mới đòi hỏi nung nóng sơ bộ. Thậm chí khi đó, thời gian nung nóng sơ bộ cần được hạn chế tối đa. Nhiệt độ nung không nên vượt quá 150°C . Khi hợp kim chứa 3÷5,5% Mg, nhiệt độ nung nóng sơ bộ không được vượt quá 120°C và nhiệt độ giữa các đường hàn tối đa là 150°C .

Hợp kim nhôm không thể nhiệt luyện được chứa các nguyên tố hợp kim như Si, Mn, Mg. Các nguyên tố này làm tăng độ bền thông qua sự hình thành các dung dịch đặc hoặc các pha phân tán. Trong các nguyên tố kể trên Mg là nguyên tố có hiệu quả nhất, do đó hợp kim Al- Mg có độ bền cao cả trong trạng thái ủ. Mọi hợp kim nhôm thuộc nhóm không thể nhiệt luyện được đều biến cứng (kèm theo suy giảm tính dẻo) khi bị biến dạng ở trạng thái nguội. Hợp kim thuộc các hệ Al- Mg, Al- Mn đều dễ hàn.

Sau khi ủ, chúng có thể trở lại cơ tính ban đầu hợp kim nhôm loại này nếu được hàn sau khi đã qua biến cứng nguội, có thể có độ bền vùng ảnh hưởng nhiệt thấp như của kim loại cơ bản sau khi ủ. Nhôm, hợp kim Al- Mg và hợp kim Al- Mn đều dễ hàn trong môi trường khí bảo vệ bằng cả điện cực nóng chảy lẫn điện cực không nóng chảy (riêng với hợp kim đúc Al- Si thì còn cần phải sử dụng các quy trình đặc biệt).

Hợp kim nhôm có thể nhiệt luyện có chứa các nguyên tố hợp kim Cu, Mg, Zn và Si dưới dạng đơn hoặc dưới dạng kết hợp. Trong trạng thái ủ, độ bền của chúng phụ thuộc vào thành phần hóa học tương tự như với các hợp kim không thể nhiệt luyện được. Do đó, các hợp kim này có thể được nhiệt luyện theo hình thức ủ đồng nhất hóa tổ chức, tôi, sau đó hóa già tự nhiên hoặc hóa già nhân tạo. Sau hoặc trước khi hóa già, còn có thể tăng độ bền thông qua biến dạng ở trạng thái nguội. Hợp kim Al - Mg-Si là hợp kim dễ hàn. Nhiều hợp kim thuộc nhóm Al-Zn có tính hàn kém, nhưng khi có thêm Mg, tính hàn của chúng có thể được cải thiện. Hợp kim Al- Cu đòi hỏi có quy trình hàn đặc biệt và liên kết hàn có tính dẻo kém.

Hàn nhôm đặc biệt phát triển mạnh trong ngành chế tạo ô tô. Các chi tiết quan trọng bằng hợp kim nhôm như giá đỡ động cơ; khung cầu trước, cầu sau; trục truyền động, vành bánh xe, bộ trao đổi nhiệt bộ điều hòa nhiệt độ, v.v. đang dần dần thay thế vật liệu truyền thống là thép bằng nhôm. Hầu hết các bộ phận kết cấu hàn đó là các hợp kim nhôm với magie và silic (loạt 6xxx) được ép chảy và sau đó hàn trong môi trường khí bảo vệ bằng điện cực nóng chảy.

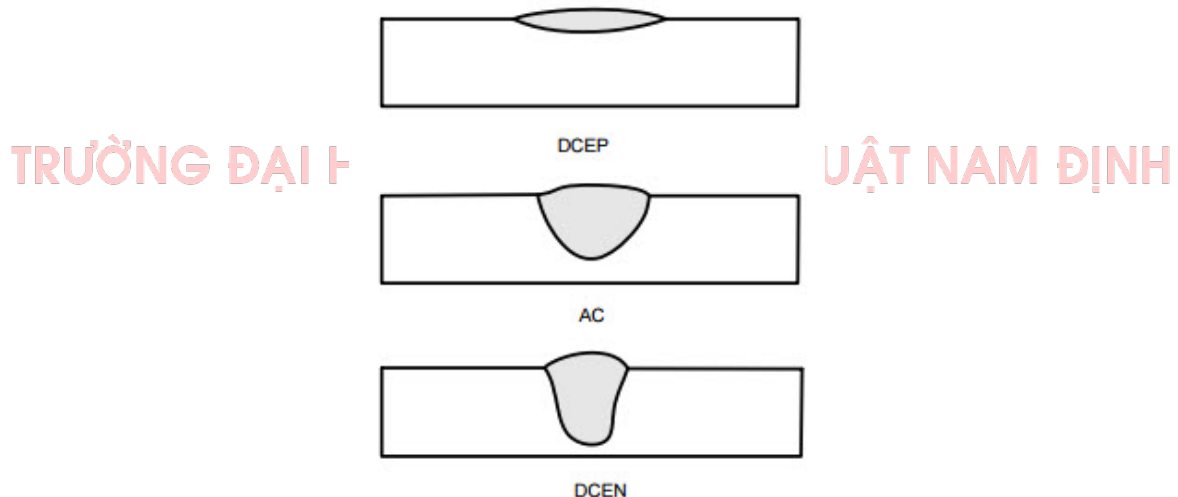
Sự phát triển của ngành đóng tàu với các sản phẩm tiên tiến như phà cao tốc đã thúc đẩy công nghệ hàn nhôm lên một bước mới. Đó là các loại tàu cánh ngầm có một hoặc nhiều thân, chở nặng, chịu được sóng to, chạy nhanh, với chiều dài 35, 45 m, tốc độ 40, 74 km/h. Phà cỡ lớn có thể dài 90 m, chở tới 700 hành khách và 150 xe hơi, có tốc độ thông thường 128 km/h. Chúng được chế tạo từ hợp kim nhôm mạnh có độ bền cao, sử dụng công nghệ hàn trong môi trường khí bảo vệ. So với tàu thép, chúng có thể tiết kiệm từ 40 (50% khối lượng).

Hợp kim nhôm độ bền cao có thể nhiệt luyện được (loạt 7xxx) được sử dụng làm kết cấu thành mỏng cho khung xe đạp, gậy đánh golf, gậy đánh bóng chày, xe trượt tuyết. Hợp kim nhôm độ bền cao, chịu được nhiệt độ âm có thể dùng làm xitec chở hàng và các bộ phận khác của thân xe tải. Ngoài ra, trong ngành chế tạo hàng không và vũ trụ, hợp kim nhôm mạnh không nhiệt luyện được và một số hợp kim nhiệt luyện được đều là những vật liệu truyền thống.

2.4.2 Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng hàn

1. Ảnh hưởng của cường độ dòng điện hàn [1][12]

- Cường độ dòng điện ảnh hưởng đến nhiệt độ của hồ quang, độ ngấu sâu của mối hàn.
- Phụ thuộc vào vật liệu, tư thế hàn, dạng mối ghép, loại dòng điện.
- Khi nhiệt cung cấp quá thấp, điều đó có thể xảy ra từ một dòng điện hàn quá thấp hoặc tốc độ hàn quá nhanh, đường hàn nhỏ cao là hiển nhiên và độ ngấu nhỏ.
- Khi dòng điện hàn quá thấp, đường hàn sẽ cao, độ ngấu sâu kém, và có khả năng của chồng lấp ở rìa đường hàn
- Khi tốc độ hàn quá nhanh, đường hàn cũng nhỏ và độ ngấu sâu kém
- Khi nhiệt cung cấp quá lớn, điều đó có thể xảy ra từ một dòng điện hàn quá cao hoặc tốc độ hàn quá chậm, đường hàn trở nên vô cùng rộng, thường rộng và bằng. Điều đó làm cho độ ngấu cũng nhiều và có thể bị bắn toé.
- Khi kim hàn để quá xa với vật hàn, xuất hiện một hồ quang dài, khả năng của khí bảo vệ bị giảm bớt và thành quả là chất lượng mối hàn kém, đặc biệt là trong hàn nhôm.



Hình 2. 17 Ảnh hưởng của dòng điện hàn và cực tính đến hình dáng bề hàn

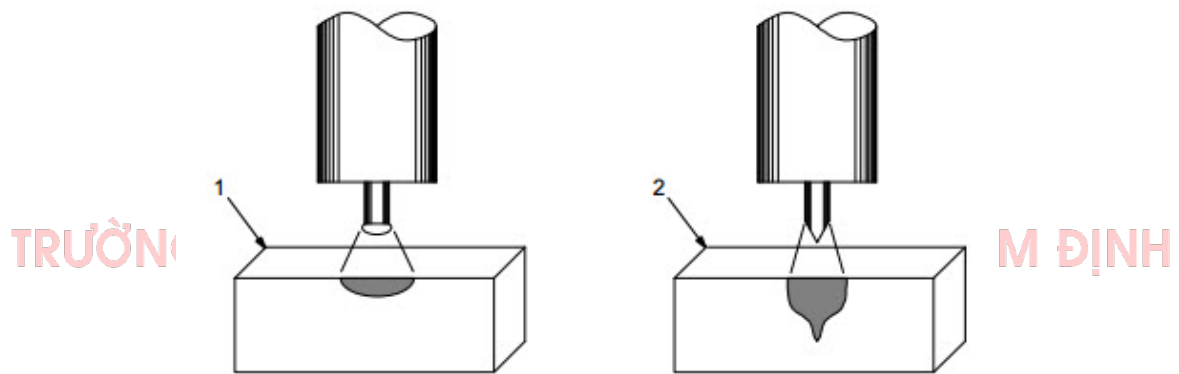
Trên hình 2.18 ta thấy dòng điện hàn có ảnh hưởng tới hình dáng kích thước của bề hàn, tốc độ hàn và chất lượng của mối hàn. Hầu hết, khi hàn TIG ta thường đấu điện cực với cực âm (DCEN) – đấu thuận, bởi vì nó cho chiều sâu ngấu tốt hơn và tốc độ hàn cao hơn so với đấu điện cực với cực dương (DCEP) – đấu nghịch. Bên cạnh đó, việc đấu nghịch sẽ làm cho đầu điện cực nhanh nóng và nhanh mòn hơn. Đấu nghịch thường được áp dụng cho hàn hợp kim nhôm bởi vì nó sẽ làm sạch bề mặt vật hàn, phá vỡ lớp ô xít nhôm. Tuy nhiên, sử dụng dòng xoay chiều khi hàn hợp kim nhôm và ma giê sẽ tốt hơn, bởi vì cho phép cân bằng nhiệt và làm sạch bề mặt vật hàn. Chiều sâu ngấu khi sử dụng dòng AC nằm giữa DCEN và DCEP.

Người ta cũng có thể dòng DC xung ở tần số thấp ($1 \div 10 \text{ Hz}$) để làm giảm biến dạng. Khi sử dụng dòng xung ở tần số cao ($5 \div 30 \text{ Hz}$) để cải thiện bề mặt mối hàn và làm tăng chiều sâu ngấu, tăng tốc độ hàn và giảm sự hình thành khuyết tật trong KLMH. Dòng điện hàn xung tần số cao thường được áp dụng trong hàn tự động.

Bảng 2. 4 So sánh cách sử dụng dòng điện một chiều và xoay chiều

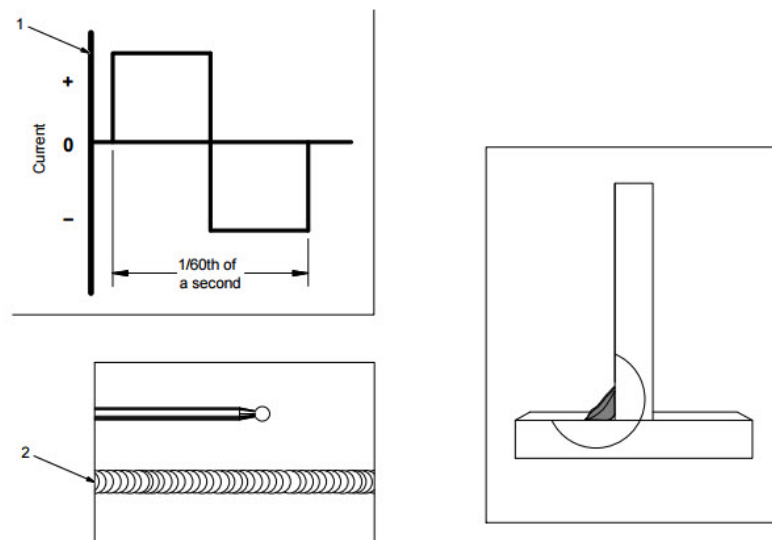
Điện cực bắt đầu là dương cực	Điện cực bắt đầu là âm cực
Điện cực bị nung nóng trước	Thích hợp với dòng điện DC
Có thể lặp lại	Có thể lặp lại
Vật hàn được làm sạch khi khởi động	Vật hàn không được làm sạch khi khởi động
Dễ bị hỏng điện cực	Không bị hư hỏng điện cực
Tốt trong trường hợp hàn với dòng xoay chiều	Có thể chấp nhận khi hàn với dòng AC

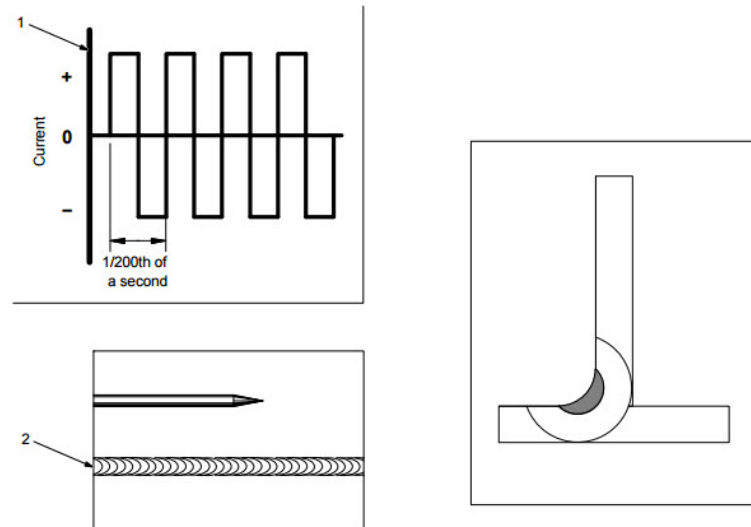
- Ảnh hưởng của tần số xung



Hình 2. 18 Ảnh hưởng của tần số xung đến chiều sâu ngấu

Trên hình 2.19(1) cho ta thấy khi hàn với dòng xoay chiều có tần số xung thấp thì chiều rộng bề hàn sẽ lớn và chiều sâu ngấu sẽ giảm. Tương tự như vậy khi hàn với tần số xung cao hình 2.19(2) thì hồ quang tập trung hơn và chiều sâu ngấu đảm bảo.





Hình 2. 19 Hàn TIG xung

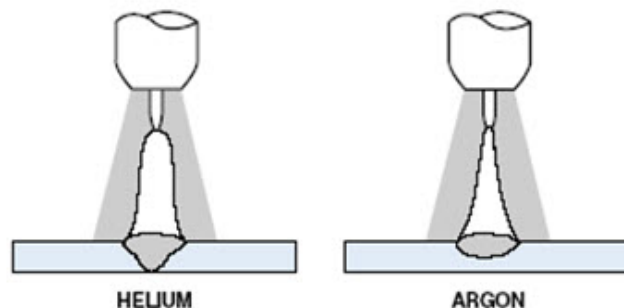
Trên hình 2.20 ta nhận thấy rằng khi hàn với tần số xung thấp, mối hàn không ngấu và khi hàn với tần số xung cao mối hàn cho chiều sâu ngấu tốt hơn.

2. Ảnh hưởng của vật liệu hàn

a. Ảnh hưởng của khí bảo vệ

Các mối hàn bị bắn, đặc biệt nhôm, có thể kết quả từ vấn đề trong hệ thống cung cấp khí, chỗ đó có thể bị rò rỉ trong ống kết nối, khí bảo vệ chất lượng kém, ống phun khí quá lớn, khoảng cách từ miệng ống phun khí tới vật hàn quá xa, luồng khí không có hiệu quả hoặc bất cứ việc gì khác nữa góp phần tới sự bảo vệ kém của khu vực hồ quang

Khí bảo vệ được sử dụng trong hàn TIG là Ar, He hoặc Ar + He. Khí bảo vệ có tác dụng bảo vệ điện cực và kim loại nóng chảy ở vùng hàn khỏi tác hại xấu của không khí xung quanh. Trong một số trường hợp như hàn thép không gỉ, hàn kim loại và hợp kim màu phải sử dụng khí bảo vệ dưới đáy mối hàn và bề mặt kim loại cơ bản cận kề khỏi bị ôxy hoá trong quá trình hàn, giảm nứt ở chân mối hàn và rỗ khí ở mối hàn.



Hình 2. 20 Ảnh hưởng của chủng loại khí bảo vệ đến độ ngấu mối hàn

Trong thực tế thường sử dụng hỗn hợp 70%He + 30%Ar để hàn kim loại và hợp kim màu, 70%Ar + 30% He cho hàn thép đạt hiệu quả cao.

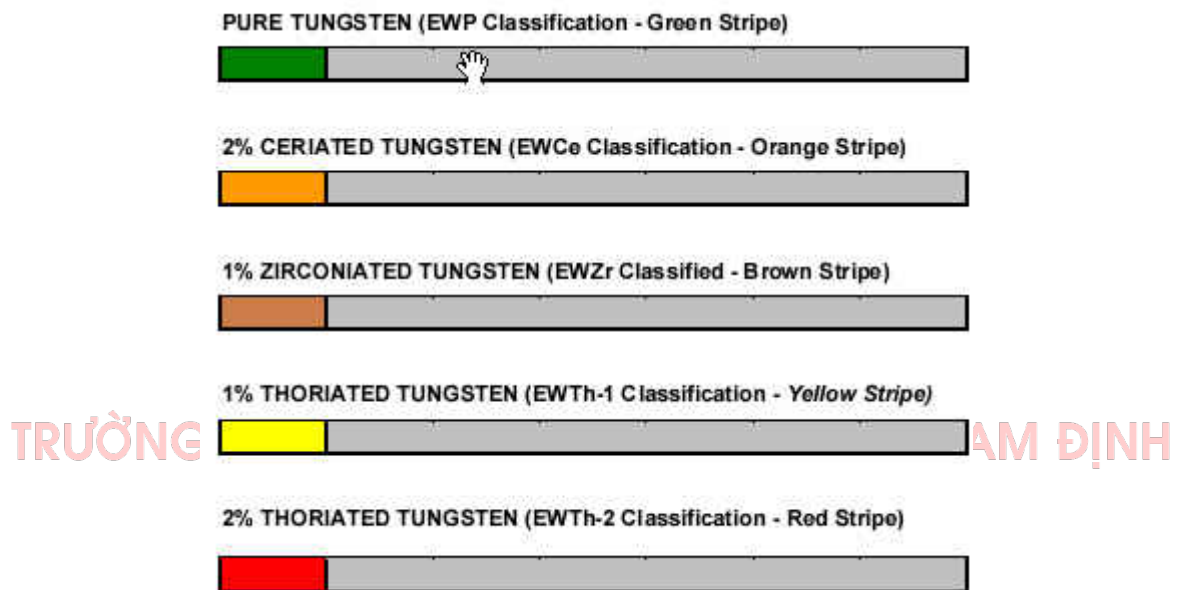
Khí Ar có điện thế ion hoá thấp so với khí He và CO_2 do vậy cùng với chiều dài

cột hồ quang, dùng khí bảo vệ là Ar thì hiệu điện thế hồ quang sẽ thấp hơn. Kết quả là, chiều sâu nóng chảy sẽ sâu hơn.

b. Ảnh hưởng của điện cực W

Điện cực dùng trong hàn TIG là loại điện cực không nóng chảy Vonfram hoặc Vonfram có pha thêm ThO_2 , La_2O_3 , ZrO_2 ,... Trong quá trình hàn, điện cực có tác dụng môi và duy trì hồ quang cháy ổn định [2].

Vonfram được dùng làm điện cực hàn do có tính chịu nhiệt cao (nhiệt độ nóng chảy là 3410°C), phát xạ điện tử tương đối tốt, dễ ion hóa hồ quang và duy trì tính ổn định hồ quang. Các điện cực Vonfram có đường kính từ $1,0 \div 4,0$ mm với chiều dài từ 75 – 175 mm được dùng rộng rãi.



Hình 2. 21 Một số điện cực dùng trong hàn TIG

Vấn đề chất lượng mối hàn bao gồm cả điện cực Tungsten bị nằm trong kim loại mối hàn đông đặc, điều đó có thể được phát hiện ra bằng phương pháp chụp ảnh phóng xạ. Trước đây được gọi là sự nổ mìn nhỏ tungsten và là cơ sở dựa trên dòng điện quá cao so với kích thước hoặc loại của điện cực tungsten.

Kim loại điện đầy cùng với lớp phủ ngoài bị oxit quá mức có thể cũng tạo nên mối hàn bị bắn. Hơi ẩm sẽ tập trung trong lớp oxit này. Dây kim loại điện đầy cần phải được làm sạch bằng giấy nhám.

Hàn trên kim loại bẩn, vật liệu thấm dầu mỡ hoặc cố gắng sửa chữa các vết nứt trong các bộ phận chi tiết máy đòi hỏi loại bỏ hết các khuyết tật vật liệu, làm sạch triệt để và gia nhiệt giúp cho loại trừ sự hấp thụ dầu, dầu mỡ, hơi ẩm và các tạp chất khác.

Các sự rò rỉ nước trong kim hàn có thể thường được phát hiện ra bởi màu của bề mặt mối hàn. Sự ngưng hơi có thể xảy ra ở bên trong của ống dẫn khí và hơi nước trong hồ quang sẽ là nguyên nhân tungsten trở thành bị nhiễm bẩn.

Nói tóm lại, các mối hàn có chất lượng tốt đòi hỏi tất cả các điều kiện chính xác,

các vật liệu được dùng có đặc điểm kỹ thuật phù hợp. Máy móc thiết bị trong tình hoạt động tốt.



Hình 2. 22 Ảnh hưởng điện cực trong quá trình hàn

3. Ảnh hưởng của kỹ thuật hàn

Điện cực phải được chuẩn bị, chọn chủng loại, kích cỡ phù hợp với từng loại vật liệu và theo chiều dày:

- Để hàn với dòng một chiều (DCEN) đầu điện cực phải mài đúng qui cách dạng côn, góc côn từ $30 \div 60^\circ$.
- Để hàn với dòng xoay chiều (AC) hoặc một chiều (DCEP) đầu điện cực được định hình có dạng bán cầu.

Chiều dài từ đầu tiếp điện (contact tip) đến mũi điện cực: tốt nhất nên để mũi điện cực nhô ra khỏi mỏ phun khoảng 1 lần đường kính điện cực. Trong trường hợp hàn góc cho phép nhô ra nhiều hơn để bảo đảm hồ quang quét qua được cạnh đáy của góc hàn. Bảo vệ vùng hàn: phải bảo đảm vùng hàn được bảo vệ tốt bằng dòng khí bằng cách chọn cỡ mỏ phun và lưu lượng khí hợp lý. Mỏ có đường kính lớn phun khí nhiều, bảo vệ tốt hơn song khó quan sát và đưa vũng chảy sâu vào rãnh hàn nếu không kéo dài phần nhô ra của điện cực. Trong trường hợp như thế điện cực sẽ quá nóng và dễ hỏng. Trường hợp dùng cỡ mỏ phun bé cần hiệu chỉnh lưu lượng phun khí thích ứng không tạo nên dòng chảy rối khiến cho việc bảo vệ vùng hàn kém hiệu quả và điện cực dễ bị oxy hóa làm cho hỏng.

- Khi hàn ống đường kính nhỏ cần thiết phải thổi khí bảo vệ mặt trong của ống
- Góc độ của mỏ hàn phụ thuộc vào loại mối nối và tư thế hàn.

4. Ảnh hưởng của tốc độ hàn

Khi tốc độ hàn tăng mà dòng điện hàn và điện áp hồ quang không thay đổi sẽ làm giảm nhiệt năng cấp vào vũng hàn. Tốc độ hàn không ảnh hưởng tới lực điện trường, áp lực hồ quang hàn bởi vì chúng không có phụ thuộc vào dòng điện hàn. Vận tốc hàn tăng sẽ ảnh hưởng tới kích thước bề hàn (chiều rộng và chiều sâu ngấu giảm). Tuy nhiên tỷ lệ giữa chiều sâu ngấu và chiều rộng bề hàn cũng bị ảnh hưởng một phần bởi vận tốc hàn. Khi hàn TIG tốc độ hàn khuyến cáo nằm trong khoảng từ $100 \div 500$ mm/phút tùy thuộc vào dòng điện hàn, loại vật liệu và chiều dày vật hàn.

5. Chiều dài hồ quang

Chiều dài cột hồ quang là khoảng cách giữa đầu điện cực và vật hàn. Chiều dài hồ quang trong hàn TIG thường trong khoảng từ $2 \div 5$ mm. Nếu chiều dài hồ quang lớn để duy trì sự ổn định của hồ quang thì điện áp phải tăng. Thường thì chiều sâu ngấu và mặt cắt bề hàn nóng chảy sẽ giảm khi chiều dài hồ quang tăng [14].

2.4.3 Chế độ hàn nhôm A6061

1. Vật liệu hàn

a. Dây hàn

Đối với hợp kim nhôm đầu 5xxx nói chung và A6061 nói riêng ta có thể sử dụng nhiều loại dây hàn tùy thuộc vào yêu cầu chất lượng hàn. Ta có thể chọn theo bảng 2.4

Bảng 2. 5 Loại que hàn và tính chất của chúng

Alloy	Typical Filler Metal Properties					
	Weld Ductility	Toughness	Resistance	Min. Shear Strength		All Filler Metal Weld Typical Ultimate Tensile Strength (ksi)
	(% Elongation)	Resistance To Crack Growth	To Solidification Cracking	Longitudinal	Transverse	
1100	High (55)	Good	Good	Low (7.5)	Low (7.5)	Low (13.5)
4043	Low (15)	Low	Very Good	Low (11.5)	Low (15.0)	Low (18.0)
4047	Low (13)	Low	Excellent	Low (11.5)	Low (15.0)	Low (18.0)
4643	Low (15)	Low	Good	Med. (13.5)	Med. (20.0)	Med. (27.0)
4943	Low (15)	Low	Very Good	Med. (17.0)	Med. (23.0)	Med. (34.0)
5087	Good (25)	High	Good	High (20.0)	High (30.0)	High (42.0)
5183	Good (25)	High	Good	High (18.5)	High (28.0)	High (41.0)
5356	High (35)	V. High	Good	High (17.5)	High (26.0)	High (38.0)
5554	High (40)	V. High	Fair	Med. (17.0)	Med. (23.0)	Med. (33.0)
5556	Good (25)	High	Good	High (20.0)	High (30.0)	High (42.0)

Trong nghiên cứu của mình tác giả lựa chọn que hàn TIG có thông số kí hiệu như sau:

Bảng 2. 6 Thành phần hóa học của dây hàn

Thành phần hóa học (%)								
Mn	Si	Cr	Fe	Mg	Ti	Cu	Zn	Al
0,05÷0,2	≤0,25	0,05÷0,2	≤0,4	4,5÷5,5	0,06÷0,2	≤0,1	≤0,1	Còn lại

b. Khí bảo vệ

Khí Argon (Ar) 98%

Lưu lượng khí bảo vệ: < 20 lít/ phút

2. Chế độ hàn

Theo khuyến cáo của MAXAL – Guide for Aluminum welding tác giả chọn chế độ hàn theo chiều dày thực nghiệm

Chiều dày vật hàn: ≈ 6 mm

Vị trí hàn: 1G

Khe hở lắp ghép: $0 \div 3$ mm

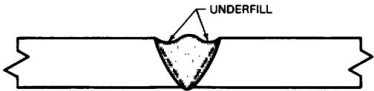
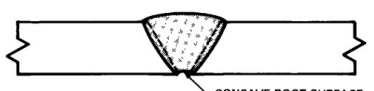
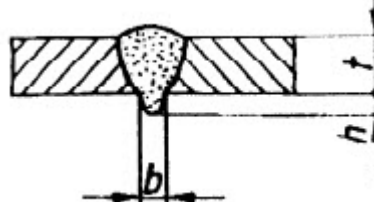
Số lớp hàn: 2

Dòng điện hàn: $170 \div 190$ A

Lưu lượng khí bảo vệ: < 20 lít/ phút

3. Một số khuyết tật thường gặp, nguyên nhân và cách khắc phục

Bảng 2. 7 Một số khuyết tật thường gặp, [22]

TT	Khuyết tật	Nguyên nhân	Biện pháp phòng ngừa
1	Cháy cạnh 	- Không có điểm dừng ở 2 biên độ - Tốc độ hàn lớn	- Điều chỉnh dòng điện hàn cho phù hợp - Dừng ở hai biên độ dao động
2	Lõm chân 	- Tốc độ hàn lớn - Kim loại bổ sung chưa phù hợp	- Điều chỉnh chế độ hàn và tốc độ bón dây cho phù hợp
3	Mối hàn quá ngấu 	- Tốc độ hàn nhỏ - Bổ sung kim loại phụ quá nhiều - Dòng hàn lớn	- Điều chỉnh lại dòng điện và tốc độ hàn - Bổ sung kim loại vừa đủ
4	Rỗ khí	- Hàn nơi có gió thổi > 5m/s - Vật hàn bị ẩm ướt hoặc hàn dưới mưa - Lưu lượng khí bảo vệ quá lớn hoặc quá nhỏ	- Hạn chế hàn nơi có gió lùa hoặc phải che chắn tốt - Vật hàn tránh bị ẩm ướt. - Điều chỉnh lưu lượng khí bảo vệ cho đúng.
5	Ăn mòn hóa học	Lựa chọn dây hàn chưa phù hợp với điều kiện làm việc của kết cấu	Chọn đúng chủng loại dây hàn

Kết luận chương 2:

Trong chương 2 tác giả đã:

- Có cái nhìn khái quát về các phương pháp hàn nhôm và hợp kim nhôm, từ đó tác giả đã lựa chọn được phương pháp hàn phù hợp với hợp kim nhôm A6061.
- Phân tích công nghệ hàn TIG, lựa chọn thông số và chế độ hàn phù hợp với từng loại vật liệu và chiều dày khác nhau.
- Phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới tính hàn của hợp kim nhôm A6061 và lựa chọn dây hàn ER5356 để hàn thực nghiệm.
- Phân tích được một số khuyết tật thường xảy ra trong quá trình hàn nhôm và hợp kim nhôm, đặc biệt là hợp kim nhôm A6061.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

CHƯƠNG III

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG CỦA CHẾ ĐỘ HÀN TIG XUNG VỚI MÔI GHÉP HÀN HỢP KIM NHÔM A6061

3.1. Mục đích nghiên cứu thực nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm nhằm so sánh, đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến chất lượng liên kết hàn hợp kim nhôm A6061. Từ đó so sánh kết quả thực nghiệm với tính toán lý thuyết nhằm tối ưu hóa một vài thông số công nghệ khi hàn.

3.2. Xây dựng quy trình hàn sơ bộ cho hợp kim nhôm A6061

3.2.1. Kim loại cơ bản

Bảng 3. 2 Cơ tính hợp kim nhôm A6061

Cấp vật liệu	Cơ tính (MPa)		
	Giới hạn chảy	Giới hạn bền kéo	Độ giãn dài tương đối, %
A6061	≥ 276	340	12

Bảng 3. 3 Thành phần hóa học hợp kim nhôm A6061

Thành phần hóa học (%)								
Mn	Si	Cr	Fe	Mg	Ti	Cu	Zn	Al
0,15	0,4÷0,8	Max 0,35	Max 0,7	0,8÷1,2	0,15	0,1	0,25	95,8÷98,6

3.2.2. Vật liệu hàn

1. Dây hàn

Kí hiệu: ER5356, theo AWS A5.10

Đường kính dây $\varnothing = 2,4$ (mm)

Nhiệt độ chảy: $1060 \div 1175$ °F

Khối lượng riêng: $2,66 \text{ g/mm}^3$

Hệ số giãn nở nhiệt ($20 \div 300$ °C): $23,7 \times 10^{-6}/\text{K}$

Hệ số dẫn nhiệt (20°C): $110 \div 150 \text{ W/m-K}$

Bảng 3. 4 Thành phần hóa học của dây hàn

Thành phần hóa học (%)								
Mn	Si	Cr	Fe	Mg	Ti	Cu	Zn	Al
0,05÷0,2	$\leq 0,25$	0,05÷0,2	$\leq 0,4$	4,5÷5,5	0,06÷0,2	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	Còn lại

2. Phụ kiện hàn

STT	Tên trang thiết bị phụ trợ	Mục đích sử dụng
1	Mũ hàn TIG tự động tối 	-Kính có chế độ tự động chuyển tối phù hợp với ánh sáng khi hàn. -Bảo vệ mắt và phần đầu của người thợ hàn.
2	Găng tay hàn TIG 	-Tránh sự ảnh hưởng của nguồn nhiệt hàn đến phần tay của người thợ hàn.
3	Quần áo chịu nhiệt 	-Quần áo chịu nhiệt/ yếm chịu nhiệt cần được làm từ những vật liệu khó cháy, ít hấp thu nguồn nhiệt. -Tránh sự ảnh hưởng của nguồn nhiệt đến phần thân của người thợ hàn.
4	Giày bảo hộ khi hàn 	-Tránh sự ảnh hưởng của nguồn nhiệt đến phần chân của người thợ hàn. -Giày có khả năng chống tĩnh điện, chống giật, an toàn cho thợ hàn.
5	Máy mài cầm tay 	-Dùng để mài mép các mẫu (nếu cần)
6	Bàn chải thép không gỉ 	-Dùng để làm sạch mép hàn.

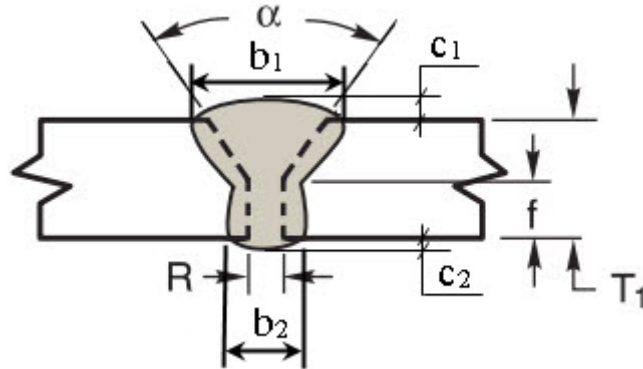
3.2.3. Thiết kế mối ghép hàn TIG hợp kim nhôm A6061

Mối ghép hàn nhôm và hợp kim nhôm được thiết kế theo tiêu chuẩn: “AWS D1.2/D1.2M -2006, trang 145” [6].

Chiều dày: $T_1 = 6 \text{ mm}$;

- Kiểu liên kết hàn: Giáp mối, hàn 1 phía (2 lớp)

- Kiểu vát mép: chữ V
- Góc vát: $\alpha = 60^\circ$; (+10°; - 5°)
- Khe hở lắp ghép: $R \leq 2,0 \text{ mm}$
- Lượng dư gia công: $f = (1,5 \div 2) \text{ mm}$
- Chiều rộng mối hàn: $b_1 = (9 \div 10,5) \text{ mm}$
- Chiều rộng đáy: $b_2 = (4 \div 6) \text{ mm}$
- Chiều cao mặt mối hàn: $c_1 = 2 \pm 0,5$
- Chiều cao mặt đáy mối hàn: $c_2 = 1,5 \pm 0,5$.



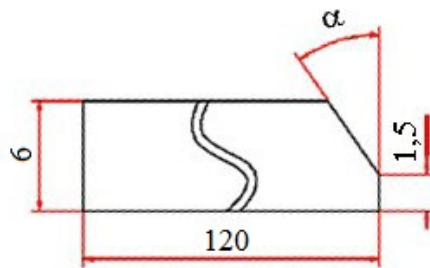
Hình 3. 1 Mối ghép hàn

3.2.4. Chuẩn bị phôi hàn

Phôi hợp kim nhôm: A6061

Kích thước: 250×120×6mm

Thông số kỹ thuật xem 3.2.4



Hình 3. 2 Chuẩn bị mép vát

Yêu cầu: Mép vát phẳng, thẳng

Bề mặt phôi không dính dầu, mỡ hoặc tạp chất

Làm sạch vùng hàn (khoảng 15mm về mỗi phía) trước khi hàn bằng bàn chải sợi thép không gỉ.

3.2.5 Tiến hành hàn

3.2.5.1 Xây dựng quy trình hàn

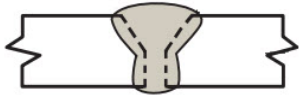
- Quy trình hàn (WPS) – Không có xung

		Quy trình hàn số: SPKTND-01				
		LOẠI: Bán tự động ☐ Bằng tay ☒ Tự động ☐				
Kiểu liên kết hàn: Giáp mối Đệm phía sau: Không Khe hở lắp ghép: $\leq 2,0$ mm Góc vát: $60^0 (+10^0; - 5^0)$ Kiểu: V Khoét đáy: không				PHƯƠNG PHÁP HÀN GMAW ☐ GTAW ☒ SMAW ☐		
				VỊ TRÍ HÀN Vị trí hàn: 1G		
VẬT LIỆU CƠ BẢN Vật liệu theo tiêu chuẩn: AWS-D1.2/D1.2M Loại: A6061 Chiều dày: 6 mm Đường kính:				ĐẶC TÍNH DÒNG ĐIỆN: Dòng điện: AC ☒ DCEP ☐ Xung Có ☐ Không ☒ Điện cực: Cỡ: Loại:		
KIM LOẠI BỔ SUNG Tiêu chuẩn: AWS 5.10 Ký hiệu: ER-5356 Đường kính: $\varnothing 2,4$ mm				THAO TÁC KỸ THUẬT Góc độ mở hàn: $\alpha = 80 \div 85^0$ $\beta = 90^0$ Góc độ dây hàn: 20^0 Kiểu dao động đầu hàn: Răng cưa ☒ Bán nguyệt ☐ Khác ☐ Hàn: 1 lượt ☒ nhiều lượt ☐ 1 phía ☒ 2 phía ☐ Tầm với điện cực: Làm sạch đường hàn: Bàn chải inox Trang thiết bị khác: máy mài tay		
KHÍ BẢO VỆ Tiêu chuẩn: TCVN Ký hiệu: Ar (98%) Lưu lượng: 15 lít/phút						
NUNG NÓNG SƠ BỘ Nhiệt độ nung nóng, m/min: N/A Nhiệt độ giữa các đường hàn min/max: N/A				NHIỆT LUYỆN SAU HÀN Nhiệt độ: N/A Thời gian: N/A		
KIỂM TRA SAU HÀN: Kiểm tra không phá hủy: bằng mắt thường Kiểm tra phá hủy: thử kéo Tiêu chuẩn: TCVN197-2014 Kiểm tra tổ chức tế vi Tiêu chuẩn:				VỀ PHÁC LIÊN KẾT 		
Đường hàn	Quá trình hàn	Kim loại bổ sung		Chế độ hàn		V_h (mm/s)
		Kí hiệu	Đường kính	Loại dòng	Dòng hàn (A)	
Lớp lót	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110÷190	3 ÷ 5
Lớp phủ	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110÷140	3 ÷ 5

- Quy trình hàn (WPS) – Có xung

		Quy trình hàn số: ĐHSPKTNĐ-02					
		LOẠI: Bán tự động ☐ Bằng tay ☒ Tự động ☐					
Kiểu liên kết hàn: Giáp mối Đệm phía sau: Không Khe hở lắp ghép: $\leq 2,0$ mm Góc vát: $60^0 (+10^0; - 5^0)$ Kiểu: V Khoét đáy: không				PHƯƠNG PHÁP HÀN GTAW ☒ SAW ☐ SMAW ☐			
				VỊ TRÍ HÀN Vị trí hàn: 1G			
VẬT LIỆU CƠ BẢN Vật liệu theo tiêu chuẩn: AWS- D1.2/D1.2M Loại: A6061 Chiều dày: 6 mm Đường kính:				ĐẶC TÍNH DÒNG ĐIỆN: Dòng điện: AC ☒ DCEP ☐ Xung Có ☒ Tần số: 2 Hz Không ☐ Điện cực Vonfram (GTAW) Cờ: 2,4 mm Loại: EWZr			
KIM LOẠI BỔ SUNG Tiêu chuẩn: AWS 5.10 Ký hiệu: ER-5356 Đường kính: $\varnothing 2,4$ mm				THAO TÁC KỸ THUẬT Góc độ mở hàn: $\alpha = 80 \div 85^0$ $\beta = 90^0$ Góc độ dây hàn: 20^0 Kiểu dao động đầu hàn: Răng cưa ☒ Bán nguyệt ☐ Khác ☐ Hàn: 1 lượt ☐ nhiều lượt ☒ 1 phía ☒ 2 phía ☐ Khoảng cách điện cực: 3 mm Làm sạch đường hàn: Bàn chải sắt Trang thiết bị khác: máy mài tay			
KHÍ BẢO VỆ Tiêu chuẩn: Ký hiệu: Ar (98%) Lưu lượng: 13 lít/phút							
NUNG NÓNG SƠ BỘ Nhiệt độ nung nóng, m/min: N/A Nhiệt độ giữa các đường hàn min/max: N/A				NHIỆT LUYỆN SAU HÀN Nhiệt độ: N/A Thời gian: N/A			
KIỂM TRA SAU HÀN: Kiểm tra không phá hủy: bằng mắt thường Kiểm tra phá hủy: thử kéo Tiêu chuẩn:				VẼ PHÁC LIÊN KẾT 			
Đường hàn	Quá trình hàn	Kim loại bổ sung		Chế độ hàn			
		Kí hiệu	Đường kính	Loại dòng	Dòng nền (A)	Dòng hàn (A)	V_h (mm/s)
Lớp lót	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110	150÷190	3 ÷ 5
Lớp phủ	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110	110÷140	3 ÷ 5

- Quy trình hàn (WPS) – Có xung

		Quy trình hàn số: ĐHSPKTND-03					
		LOẠI: Bán tự động ☐ Bằng tay ☒ Tự động ☐					
Kiểu liên kết hàn: Giáp mối Đệm phía sau: Không Khe hở lắp ghép: $\leq 2,0$ mm Góc vát: $60^0 (+10^0; - 5^0)$ Kiểu: V Khoét đáy: không				PHƯƠNG PHÁP HÀN GTAW ☒ SAW ☐ SMAW ☐ VỊ TRÍ HÀN Vị trí hàn: 1G			
VẬT LIỆU CƠ BẢN Vật liệu theo tiêu chuẩn: AWS- D1.2/D1.2M Loại: A6061 Chiều dày: 6 mm Đường kính:				ĐẶC TÍNH DÒNG ĐIỆN: Dòng điện: AC ☒ DCEP ☐ Xung Có ☒ Tần số: 3 Hz Không ☐ Điện cực Vonfram (GTAW) Cỡ: 2,4 mm Loại: EWZr			
KIM LOẠI BỔ SUNG Tiêu chuẩn: AWS 5.10 Ký hiệu: ER-5356 Đường kính: $\varnothing 2,4$ mm				THAO TÁC KỸ THUẬT Góc độ mở hàn: $\alpha = 80 \div 85^0$ $\beta = 90^0$ Góc độ dây hàn: 20^0 Kiểu dao động đầu hàn: Răng cưa ☒ Bán nguyệt ☐ Khác ☐ Hàn: 1 lượt ☐ nhiều lượt ☒ 1 phía ☒ 2 phía ☐ Khoảng cách điện cực: 3 mm Làm sạch đường hàn: Bàn chải sắt Trang thiết bị khác: máy mài tay			
KHÍ BẢO VỆ Tiêu chuẩn: Ký hiệu: Ar (98%) Lưu lượng: 13 lít/phút							
NUNG NÓNG SƠ BỘ Nhiệt độ nung nóng, m/min: N/A Nhiệt độ giữa các đường hàn min/max: N/A				NHIỆT LUYỆN SAU HÀN Nhiệt độ: N/A Thời gian: N/A			
KIỂM TRA SAU HÀN: Kiểm tra không phá hủy: bằng mắt thường Kiểm tra phá hủy: thử kéo Tiêu chuẩn:				VỀ PHÁC LIÊN KẾT 			
Đường hàn	Quá trình hàn	Kim loại bổ sung		Chế độ hàn			
		Kí hiệu	Đường kính	Loại dòng	Dòng nền (A)	Dòng hàn (A)	V_h (mm/s)
Lớp lót	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110	150÷190	3 ÷ 5
Lớp phủ	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110	110÷140	3 ÷ 5

- Quy trình hàn (WPS) – Có xung

		Quy trình hàn số: ĐHSPKTND-04					
		LOẠI: Bán tự động ☐ Bằng tay ☒ Tự động ☐					
Kiểu liên kết hàn: Giáp mối Đệm phía sau: Không Khe hở lắp ghép: $\leq 2,0$ mm Góc vát: $60^0 (+10^0; - 5^0)$ Kiểu: V Khoét đáy: không				PHƯƠNG PHÁP HÀN GTAW ☒ SAW ☐ SMAW ☐			
				VỊ TRÍ HÀN Vị trí hàn: 1G			
VẬT LIỆU CƠ BẢN Vật liệu theo tiêu chuẩn: AWS- D1.2/D1.2M Loại: A6061 Chiều dày: 6 mm Đường kính:				ĐẶC TÍNH DÒNG ĐIỆN: Dòng điện: AC ☒ DCEP ☐ Xung Có ☒ Tần số: 5 Hz Không ☐ Điện cực Vonfram (GTAW) Cỡ: 2,4 mm Loại: EWZr			
KIM LOẠI BỔ SUNG Tiêu chuẩn: AWS 5.10 Ký hiệu: ER-5356 Đường kính: $\varnothing 2,4$ mm				THAO TÁC KỸ THUẬT Góc độ mở hàn: $\alpha = 80 \div 85^0$ $\beta = 90^0$ Góc độ dây hàn: 20^0 Kiểu dao động đầu hàn:			
KHÍ BẢO VỆ Tiêu chuẩn: Ký hiệu: Ar (98%) Lưu lượng: 13 lít/phút				Răng cưa ☒ Bán nguyệt ☐ Khác ☐ Hàn: 1 lượt ☐ nhiều lượt ☒ 1 phía ☒ 2 phía ☐ Khoảng cách điện cực: 3 mm Làm sạch đường hàn: Bàn chải sắt Trang thiết bị khác: máy mài tay			
NUNG NÓNG SƠ BỘ Nhiệt độ nung nóng, m/min: N/A Nhiệt độ giữa các đường hàn min/max: N/A				NHIỆT LUYỆN SAU HÀN Nhiệt độ: N/A Thời gian: N/A			
KIỂM TRA SAU HÀN: Kiểm tra không phá hủy: bằng mắt thường Kiểm tra phá hủy: thử kéo Tiêu chuẩn:				VẼ PHÁC LIÊN KẾT 			
Đường hàn	Quá trình hàn	Kim loại bổ sung		Chế độ hàn			
		Kí hiệu	Đường kính	Loại dòng	Dòng nền (A)	Dòng hàn (A)	V_h (mm/s)
Lớp lót	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110	150÷190	3 ÷ 5
Lớp phủ	GTAW-P	ER-5356	$\varnothing 2,4$	AC	110	110÷140	3 ÷ 5

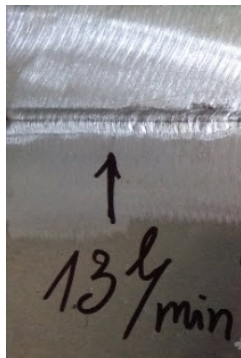
3.2.5.2 Tiến hành hàn

Các bước	Trình tự thực hiện	Hình ảnh minh họa
1	Chuẩn bị phôi hàn 250×100×6	
2	Gá kẹp phôi hàn Sử dụng văm chữ C	
4	Vị trí hàn: 1G	

5	Chuẩn bị thiết bị và phụ kiện hàn. Điều chỉnh dòng điện hàn: - Dòng xung Dòng nền: $I_h = 110 \text{ A}$ Dòng hàn: $I_h = 110 \div 190 \text{ A}$ - Dòng không xung $I_h = 170 \text{ A}$	
6	Lưu lượng khí bảo vệ: 15 l/min	
7	Thực hiện hàn - Góc dịch chuyển: $5 \div 10^\circ$ so với phương thẳng đứng - Góc làm việc: 90°	
8	Kiểm tra, đánh giá tổng thể mối hàn bằng mắt thường. (mặt trước)	

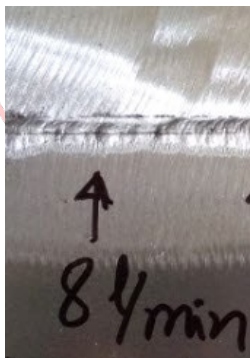
	Kiểm tra, đánh giá tổng thể mối hàn bằng mắt thường. (mặt sau)	
--	---	--

3.2.6 Kết quả



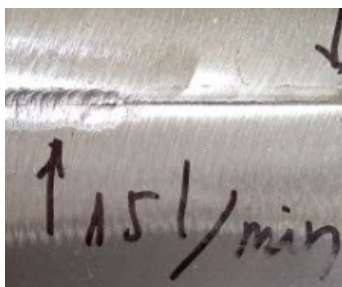
Lưu lượng khí bảo vệ 13 lít/ phút

Mặt sau mối hàn vừa đủ ngấu, quan sát không thấy có hiện tượng rỗ khí.
Mặt trước không có hiện tượng rỗ khí



Lưu lượng khí bảo vệ 8 lít/ phút

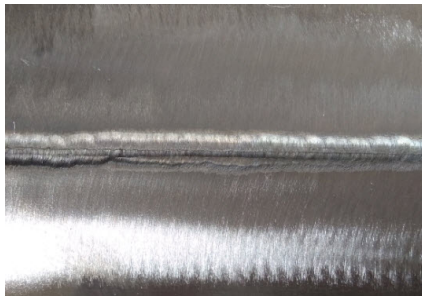
Mặt sau mối hàn không ngấu hết.
Mặt trước không thấy hiện tượng nứt bề mặt.



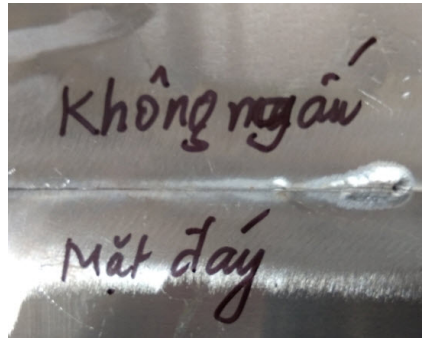
Mặt sau mối hàn có chỗ chưa ngấu
Mặt trước không thấy hiện tượng nứt bề mặt, có 1 vài lỗ khí đường kính dưới 1mm



Rỗ khí bề mặt do lưu lượng khí nhỏ quá hoặc lớn quá hoặc nơi có gió lùa > 5mm.



Ngấu lệch về 1 phía: Nguyên nhân do nguồn nhiệt hàn tập trung lệch về 1 phía



Không ngấu: Nguyên nhân

- Dòng hàn nhỏ
- Tốc độ hàn lớn
- Khí bảo vệ lớn
- Góc dịch chuyển nhỏ

Như vậy, với các mẫu hàn thực nghiệm khi thay đổi lưu lượng khí bảo vệ ta thấy rằng ở mức 13 lít/ phút cho chất lượng mối hàn tốt nhất.

Khi hàn cùng với chế độ hàn (dòng điện hàn, vận tốc hàn, lưu lượng khí bảo vệ,...), chỉ khác nhau tần số (2, 3, 5 xung/giây) ta thấy rằng tần số càng cao thì bề mặt mối hàn càng mịn, chiều sâu ngấu cũng tốt hơn so với hàn xung với tần số thấp.

Bảng 3. 5 Kết quả kiểm tra ngoại dạng mối hàn hợp kim nhôm A6061

Mẫu số	Vật liệu	Chiều dày	Tần số	Quan sát bằng mắt thường
1	A6061	6 mm	5 Hz	Không phát hiện khuyết tật trong vùng mối hàn
4	A6061	6 mm	5 Hz	Không phát hiện khuyết tật trong vùng mối hàn
5	A6061	6 mm	3 Hz	Không phát hiện khuyết tật trong vùng mối hàn
6	A6061	6 mm	3 Hz	Không phát hiện khuyết tật trong vùng mối hàn
8	A6061	6 mm	Không xung	Không phát hiện khuyết tật trong vùng mối hàn
10	A6061	6 mm	2 Hz	Không phát hiện khuyết tật trong vùng mối hàn
12	A6061	6 mm	2 Hz	Không phát hiện khuyết tật trong vùng mối hàn

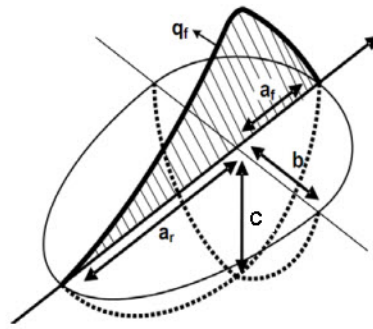
3.3 Mô phỏng số quá trình hàn TIG nhôm

3.3.1 Mô hình nguồn nhiệt

Trong nghiên cứu của mình tác giả có sử dụng thêm kỹ thuật mô phỏng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm SYSWELD của tập đoàn ESI.

Goldak và cộng sự [7][8][9] đã đưa ra mô hình nguồn nhiệt có mật độ phân bố

ellipsoid kép được xác định khi kết hợp hai khối bán ellipsoid khác nhau để tạo thành một nguồn nhiệt (hình 3.3).



Hình 3. 3 Mô hình nguồn nhiệt hàn GMAW

Bảng 3. 6 Mô hình nguồn nhiệt theo Goldak

Đường hàn	b (mm)	c (mm)	a _f (mm)	a _r (mm)
1	8	4	4	8
2	8	4	4	8

3.3.2 Thông số quá trình hàn và mô phỏng

Thông số, chế độ hàn thực nghiệm bằng phương pháp hàn TIG được mô tả trong bảng 3.7. Thông số mô phỏng được cho trong bảng 3.8.

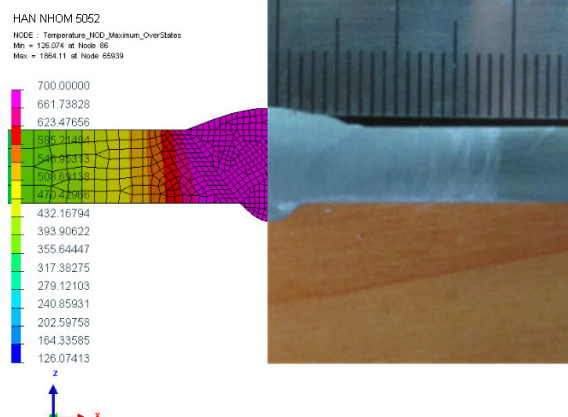
Bảng 3. 7 Chế độ hàn

Đường hàn	I _h (A)	U _h (V)	V _h (mm/s)	D _d (mm)
1	175	14,0	4	1,0
2	180	14,5	4	1,0

Trong đó: V_h: Vận tốc hàn [mm/s]; D_d: Đường kính dây hàn [mm].

Bảng 3. 8 Thông số mô phỏng

Đường hàn	Năng lượng đường (J/mm)	V _h (mm/s)
1	620	4
2	650	4



Hình 3. 4 Nhiệt lượng cấp vào mô hình

Trên hình 3.4 ta nhận thấy rằng lượng nhiệt cấp vào mô hình khi mô phỏng có hình dạng gần giống với mẫu thực nghiệm

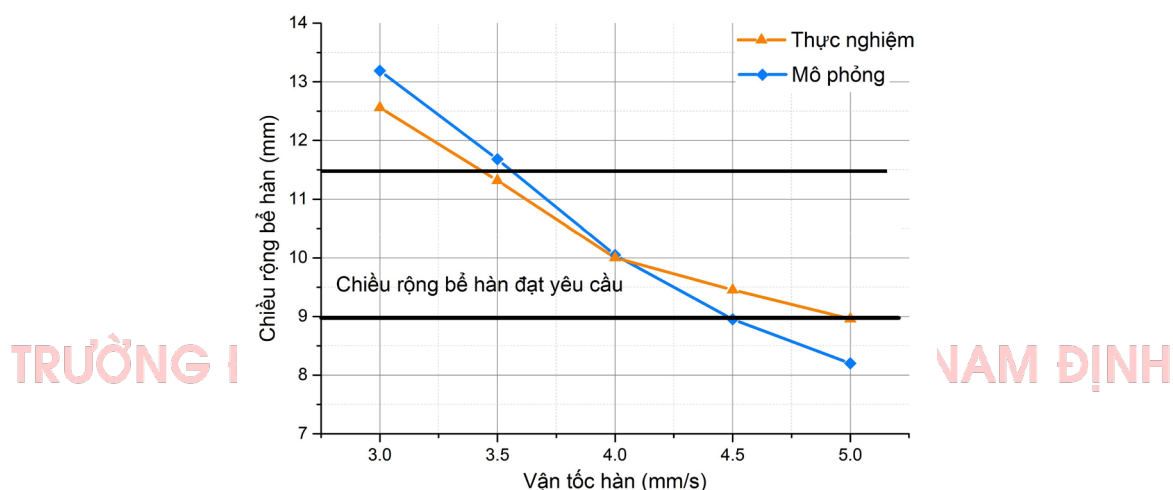
Dòng điện hàn: $I_h = 165 \div 190 \text{ A}$

Điện áp hồ quang: $U_h = (14,0 \div 14,5) \text{ V}$

Lưu lượng khí bảo vệ: 13 lít/ phút

Bảng 3. 9 Chiều rộng bề hàn mô phỏng và thực nghiệm

Số	S (mm)	q_0 (J/mm)	V_h (mm/s)	Mô phỏng	Thực nghiệm
TN 1	6	620 - 640	3,0	7,5	8,0
TN 2	6	620 - 640	3,5	8,8	9,0
TN 3	6	620 - 640	4,0	9,2	10,0
TN 4	6	620 - 640	4,5	9,7	10,8
TN 5	6	620 - 640	5,0	11,1	11,5

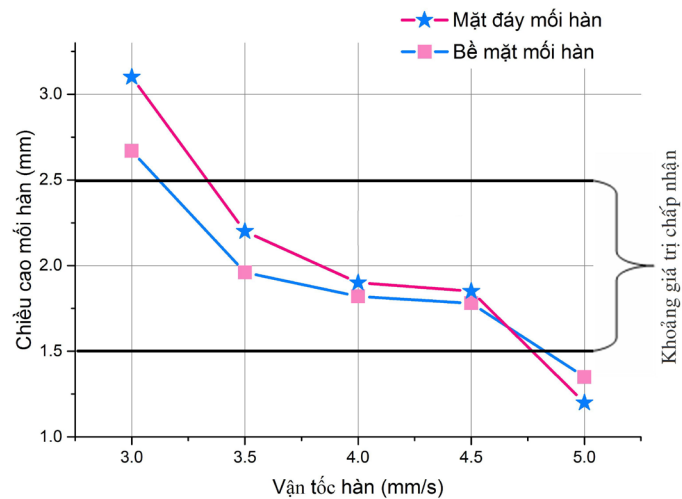


Hình 3. 5 Mối quan hệ giữa tốc độ hàn và chiều rộng bề hàn

Trên hình 3.5 ta nhận thấy rằng khi vận tốc hàn nằm trong khoảng từ 3,3÷5 mm/s thì chiều rộng mỗi hàn nằm trong khoảng có thể chấp nhận được theo [6].

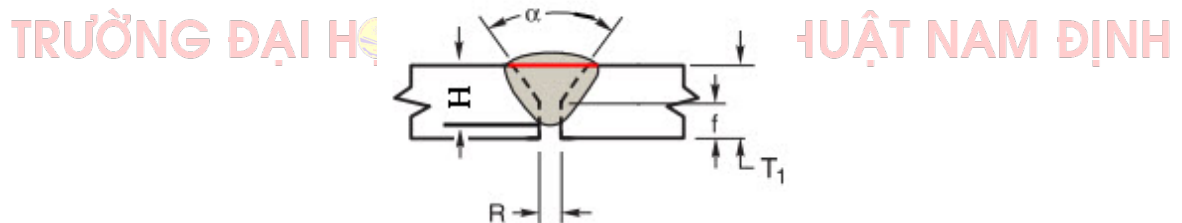
Bảng 3. 10 Ảnh hưởng của vận tốc hàn đến độ lồi của mối hàn

Mẫu	q (W)	Tần số xung (Hz)	V_h (mm/s)	Khí bảo vệ (lít/ phút)	Độ lồi bề mặt (mm)	Độ lồi mặt đáy (mm)
1	1827	5	3,0	13	2,53	3,1
4	1827	5	3,5	13	1,96	2,5
5	1827	5	4,0	13	1,82	1,9
6	1827	5	4,5	13	1,78	1,85
8	1827	5	5,0	13	1,35	1,15
10	1827	3	4,0	13	1,2	1,11
12	1827	3	5,0	13	1,3	1,2



Hình 3. 6 Ảnh hưởng của vận tốc hàn tới độ lồi của mặt đáy và bề mặt mỗi hàn

Dựa vào kết quả thực nghiệm và mô phỏng, hình 3.4 tác giả nhận thấy rằng vận tốc hàn cũng có ảnh hưởng lớn đến độ lồi bề mặt và mặt đáy. Khi vận tốc hàn chậm độ lồi bề mặt mỗi hàn tăng lên, chiều rộng mỗi hàn to. Khi vận tốc hàn tăng thì bề rộng mỗi hàn cũng giảm xuống, đuôi bề hàn dài ra, độ lồi bề mặt của mỗi hàn cũng giảm xuống. Tuy nhiên theo nghiên cứu của tác giả thì để đảm bảo ngẫu hoàn toàn (tắm mỏng) khi hàn với chế độ hàn khoảng $I_h=175A$, lưu lượng khí bảo vệ là 13 lít/phút.



Hình 3. 7 Chiều sâu ngấu của mỗi hàn (H)

3.2.9 Kết quả thử kéo mỗi hàn

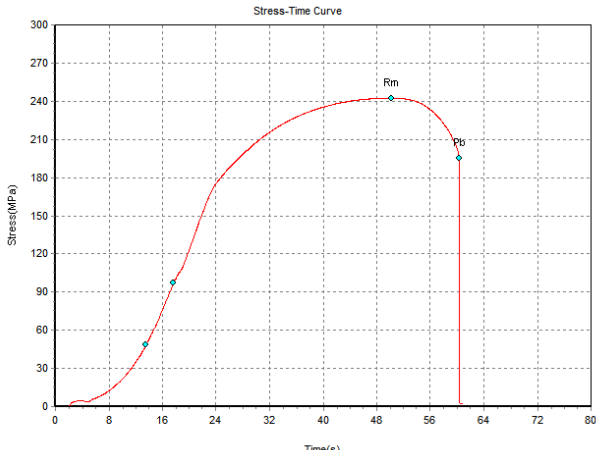
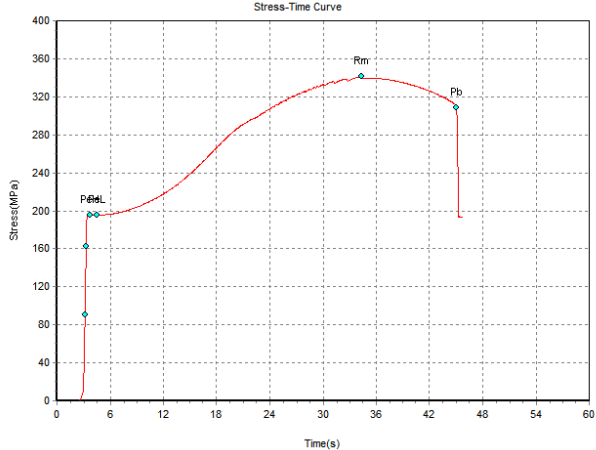
Bảng 3. 11 Vị trí đứt của mỗi hàn hợp kim nhôm A6061

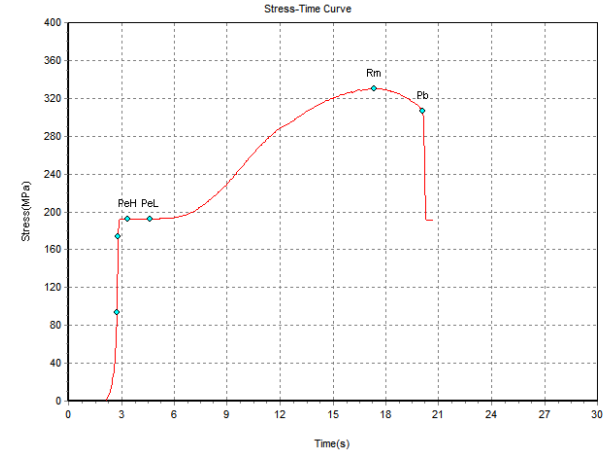
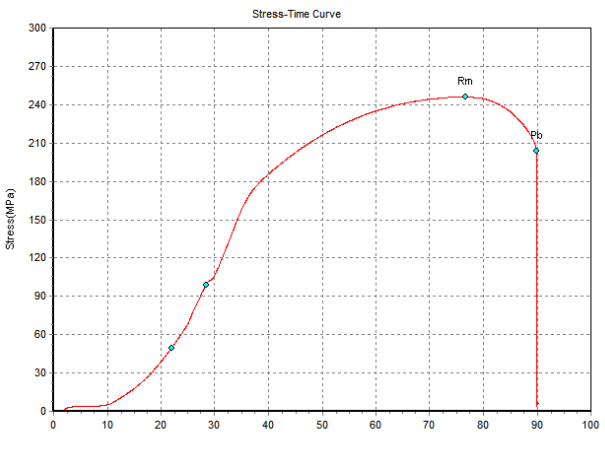
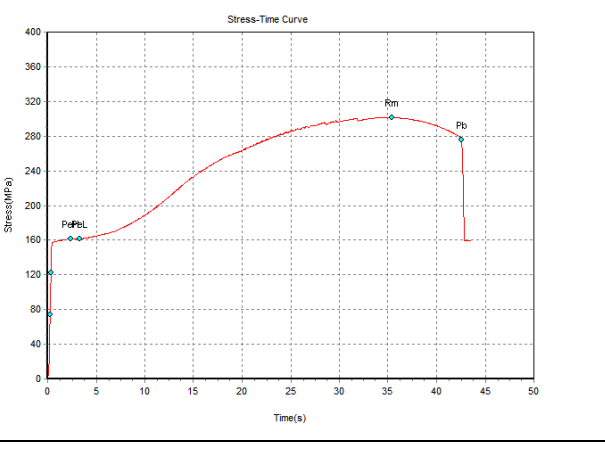
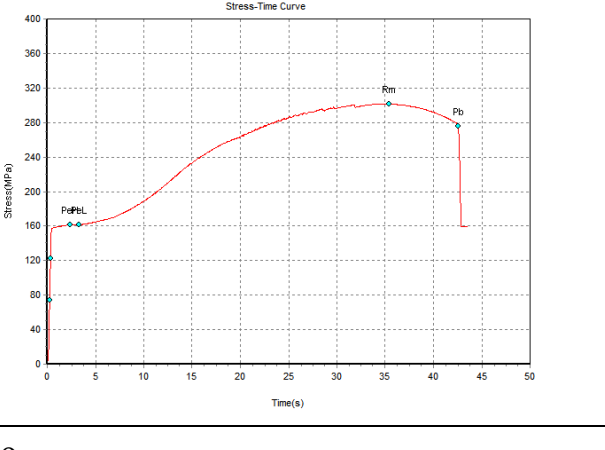
Mẫu số	Vật liệu	Chế độ hàn	Tần số	Vị trí đứt
1	A6061	KLCB		
4	A6061	Xung	5	
5	A6061	Xung	5	

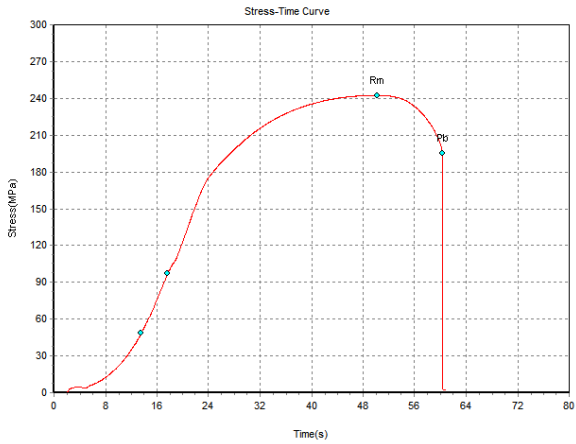
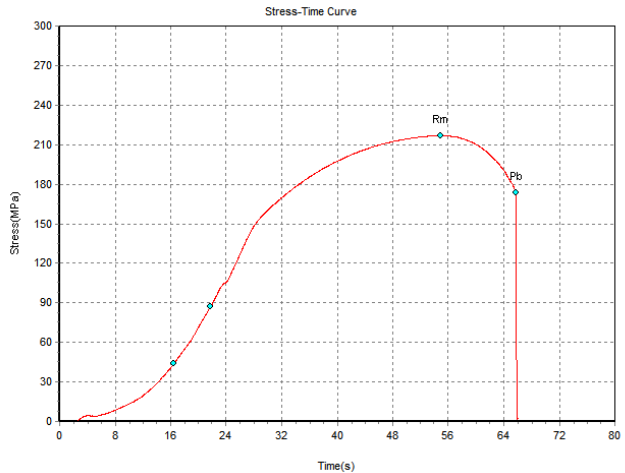
6	A6061	Không xung	-	
8	A6061	Xung	3	
10	A6061	Xung	3	
12	A6061	Xung	2	
15	A6061	Xung	2	

Ta thấy rằng, mẫu 1, 2, 4 vị trí đứt của mẫu nằm ở vùng viền chảy, các mẫu còn lại đứt ở vùng giòn xanh (cách vùng viền chảy khoảng 5 mm).

Bảng 3. 12 Kết quả thử kéo mối hàn

TT	Mẫu hàn số	Thử kéo	Giới hạn bền kéo [N/mm ²]	Giá trị trung bình [N/mm ²]	Biểu đồ thử kéo
1	1	Lần 1	240,1	241,96	 Stress-Time Curve for sample 1. The graph shows Stress (MPa) on the y-axis (0 to 300) and Time (s) on the x-axis (0 to 80). The curve rises to a peak labeled Rm at approximately 240 MPa around 50 seconds, then drops sharply to a point labeled Pb at approximately 200 MPa around 60 seconds.
		Lần 2	250,3		
		Lần 3	235,6		
2	4	Lần 1	325,5	330,3	 Stress-Time Curve for sample 2. The graph shows Stress (MPa) on the y-axis (0 to 400) and Time (s) on the x-axis (0 to 60). The curve rises to a peak labeled Rm at approximately 330 MPa around 35 seconds, then drops sharply to a point labeled Pb at approximately 300 MPa around 45 seconds. A point labeled P0.2 is also marked at approximately 200 MPa around 5 seconds.
		Lần 2	330,4		
		Lần 3	335		

3	5	Lần 1	322,5	330	 Stress-Time Curve for test 3. The graph shows stress (MPa) on the y-axis (0 to 400) versus time (s) on the x-axis (0 to 30). The curve starts at the origin, rises to a yield point (PeL) at approximately 180 MPa and 3.5 s, then continues to a peak (Rm) at approximately 330 MPa and 18 s, before dropping to a failure point (Pb) at approximately 300 MPa and 20 s.
		Lần 2	334,2		
		Lần 3	333,5		
4	6	Lần 1	250	242,1	 Stress-Time Curve for test 4. The graph shows stress (MPa) on the y-axis (0 to 300) versus time (s) on the x-axis (0 to 100). The curve starts at the origin, rises to a peak (Rm) at approximately 242 MPa and 75 s, then drops to a failure point (Pb) at approximately 210 MPa and 90 s.
		Lần 2	255,5		
		Lần 3	230,9		
5	8	Lần 1	265,8	295,6	 Stress-Time Curve for test 5. The graph shows stress (MPa) on the y-axis (0 to 400) versus time (s) on the x-axis (0 to 50). The curve starts at the origin, rises to a peak (Rm) at approximately 295 MPa and 35 s, then drops to a failure point (Pb) at approximately 280 MPa and 45 s.
		Lần 2	300,5		
		Lần 3	320,5		
6	10	Lần 1	285,5	298,1	 Stress-Time Curve for test 6. The graph shows stress (MPa) on the y-axis (0 to 400) versus time (s) on the x-axis (0 to 50). The curve starts at the origin, rises to a peak (Rm) at approximately 298 MPa and 35 s, then drops to a failure point (Pb) at approximately 280 MPa and 45 s.
		Lần 2	298,0		
		Lần 3	310,8		

7	12	Lần 1	245,6	249,5	
		Lần 2	252,5		
		Lần 3	250,5		
8	15	Lần 1	230,8	214	
		Lần 2	215,6		
		Lần 3	195,5		

Với kết quả thử kéo các mẫu hàn hợp kim nhôm A6061 ta nhận thấy rằng độ bền kéo của KLMH và KLCB có kết quả tương đối giống nhau. Chỉ có mẫu hàn M-4 có giới hạn bền kéo là chênh lệch nhiều so với KLCB. Như vậy với quy trình hàn (WPS) như tác giả nghiên cứu ở trên có thể được sử dụng trong thực tế đối với các cơ sở chế tạo liên kết nhôm và hợp kim nhôm bằng hàn.

Kết luận chương 3 :

Trong chương 3 tác giả đã :

- Xây dựng quy trình hàn liên kết giáp mối hợp kim nhôm A6061 có chiều dày 6mm
- Mô phỏng số trường nhiệt độ, ứng suất và biến dạng hàn khi hàn giáp mối, vát mép 1 phía hợp kim nhôm A6061 có chiều dày 6mm, bằng phương pháp hàn MIG.
- Đánh giá được các thông số như: tốc độ nguội, độ lồi mặt đáy, lồi mặt trên, khoảng năng lượng đường phù hợp.
- Thử kéo liên kết hàn hợp kim nhôm A6061 trên máy thử kéo nén WDW-600 tại phòng thí nghiệm phá hủy 103-A5, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định cho các kết quả khả quan, đặc biệt là các mẫu hàn ở chế độ 5 xung.
- Rút ra được thông số chế độ hàn hợp lý :
+ $I_h=175A$, $U_h (V) =14 V$, $V_h (mm/s) = 4 (mm/s)$, $f_{hz} = 5 (Hz)$

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT NAM ĐỊNH

3.4 ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.4.1 Các kết quả thu được

Đề tài: Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ hàn TIG xung đến chất lượng của liên kết hàn từ hợp kim nhôm A6061 tác giả đã:

- Xây dựng quy trình hàn cho hợp kim nhôm A6061;
- Ứng dụng công cụ mô phỏng số vào việc phân tích, đánh giá sự phân bố nhiệt độ, ảnh hưởng của chế độ hàn đến hình dáng, kích thước bề hàn;
- Lựa chọn thông số chế độ hàn phù hợp khi hàn vật liệu hợp kim nhôm A6061 có chiều dày 6mm;
- Kết quả thử kéo mối hàn hợp kim nhôm A6061 nằm trong phạm vi cho phép và có thể chấp nhận được.

3.4.2 Kết luận và kiến nghị

3.4.2.1 Kết luận

Luận văn được nghiên cứu kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm. Kết quả thực nghiệm phản ánh tính đúng đắn của lý thuyết. Bản thông số quy trình hàn được chính tác giả xây dựng và có kiểm tra đánh giá cơ tính (thử kéo) tại các vùng có thay đổi thông số hàn.

Bên cạnh thực nghiệm, trong luận văn này tác giả cũng nghiên cứu sâu về công nghệ hàn TIG hợp kim nhôm A6061 thông qua việc nghiên cứu và áp dụng các tiêu chuẩn và đưa ra những khuyến cáo cụ thể khi hàn cùng họ với hợp kim nhôm A6061 nói riêng và các loại hợp kim nhôm khác.

3.4.2.2 Kiến nghị

Trong luận văn này, tác giả đã tham khảo tài liệu chuyên môn có độ tin cậy cao, xin ý kiến của các chuyên gia có trình độ tay nghề cao và đã từng có thời gian hàn trực tiếp loại hợp kim nhôm. Trong luận văn nghiên cứu của mình, tác giả có làm thực nghiệm để so sánh kết quả nghiên cứu giữa lý thuyết và thực tế nhằm đánh ảnh hưởng của các thông số chế độ hàn đến chất lượng mối hàn. Nên luận văn này có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo cho các cơ sở sản xuất, nhà máy, xí nghiệp có sản xuất hàn và chế tạo nhôm hợp kim nhôm A6061.

Tuy nhiên, tác giả cũng đề nghị trên cơ sở các kết quả nghiên cứu chiều dày 6mm đối với vật liệu hợp kim nhôm A6061 cần mở rộng nghiên cứu khi hàn có chiều dày lớn hơn (vát mép chữ X, V,...). Để có thể được áp dụng rộng rãi hơn nữa trong ngành công nghiệp hàn kim loại và hợp kim màu ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ngô Lê Thông (2009), Công nghệ hàn điện nóng chảy, tập 1, 2, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Văn Thông (1998), Vật liệu và Công nghệ hàn; Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
- [3]. Vũ Huy Lâm (2018), vật liệu hàn, NXB Bách Khoa Hà Nội.
- [4]. Trần Ích Thịnh (2007), Phương pháp phân tử hữu hạn, NXB KHKT, Hà Nội
- [5]. Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 1859-75).
- [6]. AWS D1.2/D1.2M (2014), Structural Welding Code – Aluminium.
- [7]. Nguyen The Ninh, Thermal Analysis of Welds, ETRS Pty Ltd, HRL Services Mulgrave, Australia.
- [8]. Naidu D.S, Moore K.L., Yender R., Tyler J., 1997. Gas metal arc welding control: Part 1- modeling and analysis. Nonlinear Analysis, Methods and Applications.
- [9]. J. Goldak, M. Bibby, J. Moore and B. Patel, (1996) Computer Modelling of Heat Flow in Welds.
- [10]. M.St. Węglowski, Y. Huang, Y.M. Zhang, Effect of welding current on metal transfer in GMAW, Archives of Materials Science and Engineering, 2008,
- [11]. Klas Weman, welding Processes handbook, Woodhead Publishing limited, 2003.
- [12]. Gene Mathers, 2002, The welding of aluminum and its alloy, Woodhead Publishing Limited
- [13]. Prakash Mohan, Master of Technology, Study the effects of welding parameter on TIG welding of Aluminum plate.
- [14]. Kobelco Welding Handbook – Kobe Steel LTD., Japan 2009.
- [15]. R.L.O'Brien, Welding Handbook, Volume 2 welding Processes, American Welding Society, 1998.
- [16]. Lincoln Welding Handbook , Lincoln Welding Co., LTD., USA 2005.
- [17]. Lincoln Electric. 1994. The Procedure Handbook of Arc Welding. Cleveland: Lincoln Electric.