

***CÁC PHƯƠNG PHÁP HÀN ÁP DỤNG
TRONG CÔNG NGHIỆP TÀU THỦY***



CÁC PHƯƠNG PHÁP HÀN ÁP DỤNG TRONG CÔNG NGHIỆP TÀU THỦY

Nội dung phần này tập trung vào các vấn đề sau:

- Khái quát về hệ thống phân loại các phương pháp hàn.
- Các phương pháp hàn hồ quang thông dụng áp dụng trong công nghiệp tàu thủy
- Khái quát về các phương pháp hàn tiên tiến
- Chọn lựa các phương pháp hàn phù hợp với ứng dụng hàn khi thi công kết cấu thân tàu

NỘI DUNG

1.	Phân loại các vấn đề cơ bản của phương pháp hàn nóng chảy ^[-]	4
1.1.	Định danh các phương pháp hàn.....	4
1.2.	Ba nguyên lý hình thành mối hàn.....	8
1.3.	Mật độ nguồn nhiệt.....	11
1.4.	Hồ quang hàn.....	17
2.	Phương pháp hàn que (SMAW) ^[-]	26
2.1.	Thực chất đặc điểm.....	26
2.2.	Thiết bị hàn.....	29
2.3.	Thông số hàn ^[-] ^[-]	29
2.4.	Xác định & hiệu chỉnh thông số hàn.....	32
2.5.	Que hàn.....	34
2.6.	Phân nhóm que hàn theo đặc trưng công nghệ.....	38
2.7.	Kỹ thuật hàn.....	39
2.8.	Sấy que hàn.....	41
2.9.	Phân nhóm mối hàn theo các đặc trưng công nghệ.....	44
2.10.	Các chú ý khi chọn que hàn.....	47
3.	Phương pháp hàn dây lõi thuốc (FCAW).....	48
3.1.	Tổng quan.....	48
3.2.	Nguyên lý hoạt động.....	48
3.3.	Tác động của thông số hàn.....	50
3.4.	Thiết bị hàn FCAW.....	54
3.5.	Thiết kế chuẩn bị mối hàn.....	55
3.6.	Dây hàn FCAW.....	55
3.7.	Kỹ thuật hàn dây lõi thuốc.....	59
4.	Phương pháp hàn MIG - MAG.....	65
4.1.	Nguyên lý đặc điểm.....	66
4.2.	Kiểu chuyển dịch kim loại khi hàn MIG - MAG.....	68
4.3.	Thiết bị hàn.....	72
4.4.	Các nhân tố ảnh hưởng đến công nghệ hàn MIG - MAG.....	81
4.5.	Công nghệ hàn MIG - MAG.....	90
4.6.	Kỹ thuật hàn MIG - MAG.....	97

Th.s Trần Ngọc Dân – 2005

Danh mục các hình ảnh

Bảng - 1 Định danh các phương pháp hàn thông dụng	6
Hình - 1 Sơ đồ phân loại các phương pháp hàn theo AWS.....	7
Bảng - 2 Các nguyên lý hình thành mối hàn	8
Bảng - 3 Các nguồn năng lượng hàn.....	9
Bảng - 4 Tính năng công nghệ của các phương pháp hàn / lắp:	10
Hình - 2 Mật độ nguồn nhiệt của các phương pháp hàn thông dụng	11
Hình - 3 : <i>Nhiệt lượng hấp thu bởi chi tiết hàn theo mật độ dòng nhiệt</i>	11
Hình - 4 <i>quan hệ giữa công suất nguồn nhiệt và độ bền các mối hàn trên hợp kim nhôm</i>	12
Hình - 5 (a) Tác động của mật độ nguồn nhiệt và mức độ tản nhiệt khi hàn đến biến dạng và năng suất hàn(b) Quan hệ năng suất , chi phí đầu tư và mật độ nguồn nhiệt.	12
Hình - 6 Mật độ nguồn nhiệt , thời gian tương tác và đường kính vũng chảy	14
Hình - 7 <i>Tốc độ hàn tối đa , kích thước vũng chảy theo mật độ nguồn nhiệt</i> T.W.Eagar	14
Hình - 8 <i>Phân bố công suất nhiệt khí hàn</i>	15
Bảng - 5 hiệu suất trao đổi nhiệt khí hàn	15
Hình - 9 <i>Độ rộng của vùng ảnh hưởng nhiệt theo mật độ nguồn nhiệt.</i> T.W.Eagar	16
Hình - 10 <i>So sánh chiều dài hồ quang TIG (tự do) & Hồ quang Plasma(nén)</i>	17
Hình - 11 <i>Các vùng sụt áp trên hồ quang hàn</i>	18
Hình - 12 <i>Phân bố nhiệt trong hồ quang TIG</i>	19
Hình - 13 Đặc tính tinh hồ quang TIG và hồ quang MIG - MAG.....	20
Hình - 14 Các dạng đường đặc tính V-I của hồ quang	21
Hình - 15 Cực tính khí hàn TIG và tác động đến độ ngẫu.....	22
Hình - 16 Hiệu ứng tẩy oxyt kim loại của hồ quang phân cực dương	22
Hình - 17 Lực co thắt khí hàn với các phân cực khác nhau	23
Hình - 18(a) hồ quang có xu thế bị đẩy xa khỏi điểm nối mass (b) dòng foucault không đối xứng sẽ làm hồ quang bị thổi lệch (c) lực thổi lệch hồ quang hướng về phía chưa có mối hàn (d) mối hàn bị thổi lệch từ.	24
Hình - 19(a) tác động của điểm nối mass (b) Giải pháp kiểm soát thổi lệch từ khí hàn ống.....	25
Hình - 20 Sơ đồ lắp đặt thiết bị hàn que.....	26
Hình - 21 Sơ đồ mạch hàn SMAW.....	27
Hình - 22 Các dạng chuyển dịch (a) phun , (b) bay tự do (c) trọng lực.....	28
Bảng - 6 Tóm tắt các dạng chuyển dịch kim loại khí hàn que	28
Hình - 23 Tốc độ và cường độ tới hạn các cấp que hàn tàu điển hình	31
Bảng - 7 Điện áp giới hạn các cấp que điển hình	31
Hình - 24 Lưu đồ xác định thông số hàn..... Error! Bookmark not defined.	
Hình - 25 Ảnh hưởng của bề dày thuốc bọc (1) que thuốc bọc mỏng (2) que thuốc bọc trung bình (3) que thuốc bọc dày.....	34
Bảng - 8 Chức năng của các hợp chất có trong thuốc bọc que hàn.....	34
Bảng - 9 Thành phần và đặc điểm các nhóm thuốc hàn	37
Bảng - 10 Hướng dẫn sấy que hàn nhóm giảm hydro.....	41
Bảng - 11 Ký hiệu que hàn theo AWS	42
Bảng - 12 Các nhóm que được đăng kiểm quốc tế phê duyệt.....	43
Hình - 26 Nguyên lý hàn dây lõi thuốc (FCAW)	48
Hình - 27 Các chế độ chuyển dịch kim loại và năng suất đắp FCAW	50
Bảng - 13 Hiệu chỉnh thông số hàn FCAW	50
Hình - 28 Tốc độ cấp dây và tốc độ chảy (FCAW)	51
Hình - 29 Ảnh hưởng cực tính (FCAW)	51
Hình - 30 Tác động của cực tính và độ ngẫu mỗi hàn (DCEP,AC,DCEN)	52
Hình - 31 Định nghĩa độ nhú	52
Hình - 32 Hàn thuận (drag) và hàn nghịch (push)	52
Hình - 33 Ảnh hưởng khí bảo vệ và góc hàn	53
Hình - 34 Cấu hình mối hàn FCAW	55
Hình - 35 Sơ đồ chế tạo dây lõi thuốc	56
Hình - 36 các dạng tiết diện dây lõi thuốc	56
Bảng - 14 Thông tin dây hàn FCAW	58
Bảng - 15 Thông số công nghệ hàn dây thuốc điển hình	59
Bảng - 16 Thông số hàn và chuẩn bị mép vát các mối hàn tư thế phẳng điển hình	60
Bảng - 17 Ví dụ thông số công nghệ khí hàn dây lõi thuốc.....	61
Bảng - 18 Các nhóm dây thuốc được các tổ chức đăng kiểm quốc tế phê duyệt.....	62
Hình - 37 Các thông số tiết diện hàn	63
Bảng - 19 Thông số hiệu chỉnh và tác động đến tiết diện hàn	63
Bảng - 20 Khuyết tật và các hiệu chỉnh ngăn ngừa.....	64
Bảng - 21 Điều chỉnh tiết diện mối hàn.....	64
Hình - 38 Sơ đồ lắp thiết bị hàn (GMAW tổng quát) MIG – MAG điển hình	66

Hình - 39	Các phương thức chuyển dịch kim loại GMAW	67
Hình - 40	Đặc trưng chuyển dịch kim loại khi hàn MIG	67
Hình - 41	Dòng tới hạn để có chuyển dịch phun (dây 1.6 – Ar + 1% O ₂)	68
Hình - 42	Chuyển dịch phun và chuyển dịch cầu	69
Hình - 43	biến thiên dòng điện và điện áp hàn khi chuyển dịch ngắn mạch.....	69
Hình - 44	Các giai đoạn chuyển dịch xung	70
Hình - 45	Các giai đoạn chuyển dịch sức căng bề mặt.....	71
Hình - 46	Sơ đồ lắp thiết bị MIG-MAG loại thông thường và synergic	72
Hình - 47	Cấu tạo súng hàn.....	74
Hình - 48	Bộ cấp dây MIG – MAG điển hình	75
Hình - 49	so sánh dịch chuyển thông số hàn giữa nguồn có đặc tính CC và CV.....	76
Hình - 50	Minh họa tính tự điều chỉnh chiều dày hồ quang khi hàn MIG – MAG	77
Hình - 51	Độ dốc và tác động co thắt khi chuyển dịch ngắn mạch	77
Hình - 52	Tác động của độ dốc đến giá trị dòng ngắn mạch.....	78
Hình - 53	Tác động của điện kháng giảm tốc độ tăng dòng điện.....	79
Bảng - 22	Các nhân tố tác động đến lực co thắt.....	79
Hình - 54	Thiết bị hàn MIG – MAG bán tự động.....	80
Hình - 55	Thiết bị hàn MIG – MAG tự động (hệ tọa độ phẳng).....	81
Hình - 56	Ảnh hưởng của khí bảo vệ lên tiết diện mối hàn.....	82
Bảng - 23	Thành phần khí bảo vệ và ứng dụng	83
Bảng - 24	Hướng dẫn chọn khí bảo vệ (hàn MIG).....	84
Bảng - 25	Chọn khí bảo vệ khi hàn MAG	86
Bảng - 26	Các dây hàn thông dụng (kim loại màu).....	88
Bảng - 27	Các dây hàn thông dụng (thép và thép hợp kim).....	89
Hình - 57	Cách xác định các thông số hàn MIG - MAG.....	91
Hình - 58	Đặc tính chuyển dịch kim loại dây hàn ER70S-2(98%Ar+2%O ₂ / CO ₂)	92
Hình - 59	Đặc tính chuyển dịch dây hàn ER70S-3 / ER70S – 4.....	93
Hình - 60	Đặc tính chuyển dịch kim loại dây ER70S – 6 và dây thép HSLA ER110S.....	94
Hình - 61	Cách xác định độ nhú (ESO).....	95
Hình - 63	Đường cong chảy dây hàn ER70S – x	96
Bảng - 28	Khắc phục các trục trặc khi hàn MIG - MAG	97
Bảng - 29	Hướng dẫn hiệu chỉnh các thông số khi hàn MIG - MAG.....	100

1. Phân loại các phương pháp hàn

1.1. Định danh các phương pháp hàn

Hàn là một nguyên công công nghệ quan trọng góp mặt trong hầu hết các ngành công nghiệp. Đối với công nghiệp tàu thủy, vai trò quan trọng của hàn là hiển nhiên. Các hiểu biết sâu rộng về đặc điểm, xác định các tiêu chí phù hợp để chọn lựa các phương pháp hàn khi thi công sẽ góp phần to lớn nâng cao chất lượng, năng suất lao động và hạ giá thành sản phẩm.

Việc định danh và phân loại các phương pháp hàn giúp cho cán bộ kỹ thuật, cán bộ quản lý sản xuất, nhà thiết kế thống nhất về mặt thuật ngữ và có tầm nhìn khái quát mang tính hệ thống khi thực thi nhiệm vụ.

Hai hệ thống định danh và phân loại có giá trị toàn cầu là hệ thống AWS và hệ thống EN.

- Hệ thống AWS do hiệp hội hàn Mỹ đề xuất và được hầu hết các nước chấp nhận. Hệ thống này phân các phương pháp hàn theo nguồn nhiệt và môi trường bảo vệ nguồn nhiệt và tên gọi được mã hóa bằng các từ tiếng anh viết tắt có tính gợi ý và hệ thống cao.
- Hệ thống EN do các tổ chức tiêu chuẩn hoá của các nước thuộc cộng đồng châu âu đề xuất. Hệ thống này định danh các phương pháp hàn bằng tập hợp 2 chữ số dạng XXX. Chữ số đầu tiên thể hiện nguồn nhiệt, chữ số thứ hai cho biết môi trường bảo vệ (xi, khí) và chữ số thứ ba là ký hiệu đặc tả riêng.
- TCVN cũng đã phát hành tiêu chuẩn định danh các thuật ngữ hàn, phần lớn là dịch từ các thuật ngữ, định danh được AWS định nghĩa, nên về mặt thực chất nó không khác biệt nhiều so với hệ thống AWS; ngoại trừ một số thuật ngữ được điều chỉnh theo cách gọi phổ biến ở Việt Nam

1.1.1. Định danh các phương pháp hàn theo EN

Các định danh ký hiệu phương pháp hàn sau đây được thống nhất sử dụng trên các bản vẽ kỹ thuật, công nghệ của các nước thuộc cộng đồng châu âu.

1 Các phương pháp hồ quang	45	Hàn khuếch tán
11 Hồ quang kim loại môi trường bảo vệ bằng xi	47	Hàn khí áp lực
111 <i>Hàn hồ quang với que có thuốc bọc.</i>	48	Hàn ép nguội
112 <i>Hàn bằng bộ gá trọng lực (Gravity arc welding)</i>		Các phương pháp hàn đặc biệt
113 Hàn hồ quang kim loại que trần.	71	Hàn nhiệt hóa (Thermit welding)
114 <i>Hàn bằng dây có lõi thuốc (Flux cored wire)</i>	72	<i>Hàn điện xỉ (Electro-slag welding)</i>
115 <i>Hàn bằng dây có thuốc bao ngoài (Coated wire)</i>	73	<i>Hàn điện khí (Electro-gas welding)</i>
118 <i>Hàn bằng que hàn đặt sẵn - hàn kiểu đốt pháo (Firecracker welding)</i>	74	Hàn điện từ (Induction welding)
12 Hồ quang ngậm	75	Hàn bằng chùm bức xạ năng lượng cao
121 <i>Hàn hồ quang chìm</i>	751	<i>Hàn LASER</i>
13 Hồ quang được bảo vệ bằng khí.	752	Hàn bằng hồ quang phản xạ (Arc image welding)
131 <i>Hàn MIG (hồ quang kim loại bảo vệ bằng khí trơ)</i>	753	Hàn bằng nguồn hồng ngoại (Infrared welding)
135 <i>Hàn MAG (hồ quang kim loại bảo vệ bằng khí hoạt hóa (oxy hoặc khí))</i>	76	Hàn bằng chùm tia electron (Electron beam welding)
136 <i>Hồ quang kim loại bằng dây thuốc có khí CO2 bảo vệ ngoài</i>	77	Hàn cụng (Percussion welding)
14 Hồ quang điện cực không nóng chảy, bảo vệ bằng khí	78	Hàn cấy goujong (Stud welding)
141 <i>Hàn TIG (hồ quang tungsten bảo vệ bằng khí trơ)</i>	781	<i>Hàn cấy hồ quang (Arc stud welding)</i>
149 Hồ quang tungsten tăng cường bằng khí hydro (Atomic-hydrogen welding)	782	Hàn cấy điện trở (Resistance stud welding)
15 <i>Hồ quang plasma</i>		
18 Các phương pháp hồ quang khác		
181 Hàn hồ quang bằng điện cực carbon		
185 Hàn hồ quang xoay vòng (Rotating arc welding)		
2 Các phương pháp điện trở		
22 Hàn điểm		
22 Hàn đường (hàn lăn)		
221 Hàn lăn chống mí		
225 Hàn lăn có tấm ghép		
23 Hàn điểm tiếp xúc điện cực dập nổi (Projection welding)		
24 Hàn cấy (Flash welding)		
25 Hàn đầu mí		
29 Các phương pháp hàn điện trở khác		
291 Hàn tiếp xúc bằng nguồn cao tần HF		
3 Các phương pháp hàn khí		
31 Phương pháp Oxy - khí nhiên liệu		
311 Hàn Oxy-acetylen		
312 Oxy-propan (LPG)		
313 Oxy-hydro		
32 Phương pháp Không khí - khí nhiên liệu		
321 Hàn không khí -acetylen		
322 Hàn không khí -propan		
4 Các phương pháp hàn áp lực		
41 Hàn siêu âm		
42 Hàn ma sát		
43 Hàn rèn		
44 Hàn bằng năng lượng va đập		
441 Hàn nổ		

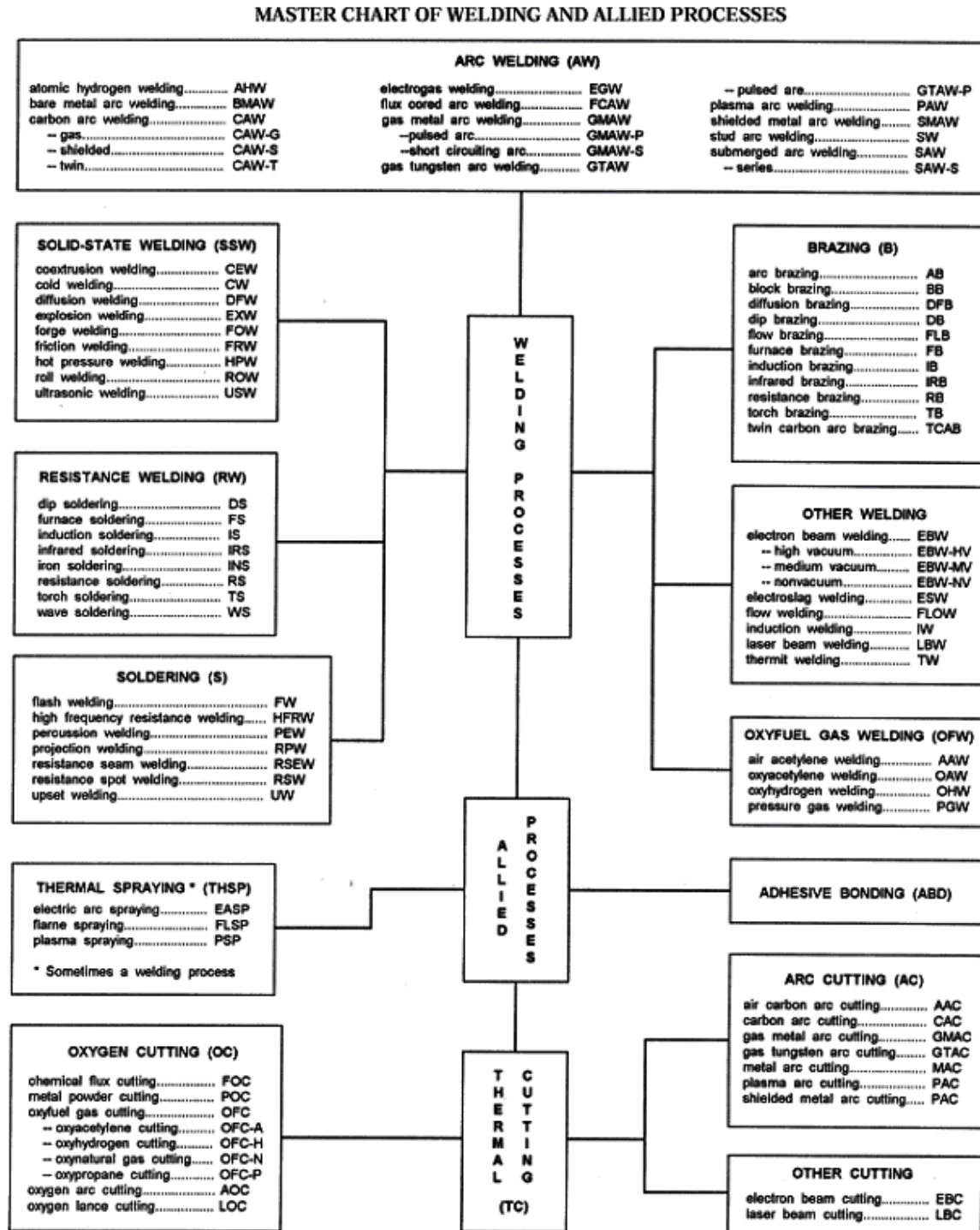
Trích từ tiêu chuẩn BS EN ISO 4063

Qua danh mục nêu trên ta thấy các phương pháp hàn rất đa dạng. Các phương pháp in nghiêng được sử dụng trong công nghiệp đóng và sửa chữa tàu

Bảng - 1 Định danh các phương pháp hàn thông dụng

Phương pháp hàn que (SMAW)	Phương pháp 111
Phương pháp hàn MAG dây lõi thuốc không dùng khí bảo vệ	Phương pháp 114
Phương pháp hàn hồ quang chìm (SAW)	Phương pháp 121
Phương pháp hàn hồ quang chìm với điện cực tẩm	Phương pháp 122
Phương pháp hàn MIG bán tự động dây rỗng	Phương pháp 131
Phương pháp hàn MIG dòng xung dây rỗng	Phương pháp 131
Phương pháp hàn MAG bán tự động dây rỗng (GMAW)	Phương pháp 135
Phương pháp hàn MAG dây lõi thuốc có khí bảo vệ (FCAW)	Phương pháp 136
Phương pháp hàn TIG (GTAW)	Phương pháp 141
Phương pháp hàn TIG bằng bộ gá "quả dao (Orbital)"	Phương pháp 141
Phương pháp hàn TIG hai nguồn nhiệt	Phương pháp 141
Phương pháp A-TIG (hàn TIG có chất trợ dung)	Phương pháp 141
Phương pháp hàn Plasma (PAW)	Phương pháp 15
Phương pháp hàn Micro-Plasma	Phương pháp 15
Phương pháp hàn điện xỉ (Electro Slag Welding)	Phương pháp 72
Phương pháp hàn điện khí (Electro - Gas Welding)	Phương pháp 73
Phương pháp hàn cấy (goujons)	Phương pháp 781
Phương pháp hàn điểm tiếp xúc	Phương pháp 21
Phương pháp hàn lăn	Phương pháp 22
Phương pháp hàn tiếp xúc điện cực dập nổi	Phương pháp 23
Phương pháp hàn cung (Upset Welding)	Phương pháp 24
Phương pháp hàn bằng chùm tia electron	Phương pháp 76
Phương pháp hàn bằng chùm tia LASER	Phương pháp 751
Phương pháp hàn ma sát	Phương pháp 42
Phương pháp hàn ma sát xoay (Friction STIR welding)	Phương pháp
Phương pháp hàn bằng sóng nổ	Phương pháp 441
Phương pháp hàn khuếch tán	Phương pháp 45
Phương pháp hàn nhiệt nhôm (aluminothermique)	Phương pháp 71
Phương pháp hàn Oxy- Acetylen	Phương pháp 311

1.1.2. Định danh theo AWS



Hình - 1 Sơ đồ phân loại các phương pháp hàn theo AWS

1.2. Ba nguyên lý hình thành mối hàn

Để có thể hình thành nên mối hàn, vùng tiếp giáp giữa hai mép hàn cần đạt đủ năng lượng và điều kiện hóa lý để các nguyên tử từ hai bề mặt có thể di chuyển (khuếch tán) vào nhau hình thành nên các liên kết nguyên tử mới. Nói cách khác, về bản chất liên kết hàn là liên kết nguyên tử.

Có nhiều cách để cung cấp năng lượng và trạng thái bề mặt cũng như các điều kiện hóa lý để tạo nên mối hàn.

- (1) Cách thông dụng nhất là nung chảy vùng kim loại ở mép hàn trong điều kiện hóa lý phù hợp, sau đó vũng chảy (bể hàn – weld pool) sẽ đông rắn lại để tạo nên mối hàn. Các phương pháp hàn dùng nguyên lý hình thành mối hàn từ nguyên lý nóng chảy – đông rắn thường được gọi là phương pháp hàn nóng chảy (fusion processes).
- (2) Ngoài phương pháp nóng chảy nêu trên, mối hàn còn có thể được hình thành bằng cách đốt nóng hai bề mặt tiếp giáp đến nhiệt độ tái kết tinh (recrystallisation), sau đó tạo nên các biến dạng dẻo cục bộ tại khu vực hàn. Trong tiến trình nguội lại, quá trình tái cấu trúc của mạng tinh thể, tạo hạt sẽ hình thành nên mối hàn giữa hai bề mặt tiếp xúc. Phương pháp này có lịch sử rất lâu đời và thường được gọi với tên dân gian là “cháy”; thuật ngữ kỹ thuật là “hàn rèn – forge welding” hoặc hiện đại hơn “hàn (tiếp xúc) ở trạng thái rắn – solide state welding”, “hàn áp lực – pressure welding”.
- (3) Quá trình khuếch tán các nguyên tử từ bề mặt này sang bề mặt khác cũng có thể diễn ra tại mặt tiếp xúc giữa hai pha lỏng – rắn. Để cho các nguyên tử từ pha lỏng có thể khuếch tán vào bề mặt rắn, kích thước và đặc điểm các nguyên tử khuếch tán và nguyên tử trong bề mặt rắn phải có sự tương đồng về mặt luyện kim. Theo thuật ngữ luyện kim, ta nói chúng có thể hình thành nên các “dung dịch rắn thay thế hoặc xen kẽ - interchange / intermediate solid solution”. Phương pháp hàn có nguyên lý hình thành mối hàn theo kiểu này thường được gọi là “hàn vẩy”¹. Phương pháp hàn vẩy được phân nhóm chi tiết là hàn vẩy mềm (soldering) hàn vẩy cứng (brazing) và hàn vẩy nóng chảy (braze - welding). Hàn vẩy mềm, sở dĩ có tên như thế vì vật liệu đắp (filler metal) thường khá mềm, khi nhiệt độ nóng chảy của vẩy hàn nhỏ hơn 450°C; cao hơn sẽ được gọi là hàn vẩy cứng (brazing). Hàn vẩy nóng chảy (Braze welding) thực tế chẳng có ràng buộc nào với “đồng hoặc thau”. Thuật ngữ này dùng để chỉ các phương pháp hàn vật liệu bằng hợp kim cùng tinh (eutectic) là hợp kim có cùng bản chất với kim loại nền (base metal) song có nhiệt độ nóng chảy thấp nhất. Ví dụ hàn nhôm bằng que đắp nhôm silic 5% sẽ được gọi là “baze welding”²

Bảng - 2 Các nguyên lý hình thành mối hàn

¹ Thuật ngữ “vẩy” là thuật ngữ chuyên ngành của thợ kim hoàn dùng để chỉ hợp kim vàng pha bạc dùng để hàn nối các chi tiết của đồ trang sức. Thực tế thợ hàn ít khi gọi là hàn vẩy mà thường dùng các thuật ngữ như “hàn chì / thiếc”, hàn thau / bạc / đồng” khi đề cập đến phương pháp hàn này.

² Braze welding không được xếp nhóm hàn nóng chảy vì nhiệt độ khu vực hàn nhỏ hơn nhiệt độ nóng chảy của kim loại nền.

Hàn nóng chảy $T_h > T_c$	Hàn ở trạng thái rắn $T_{kt} < T_h < T_c$		Hàn vảy $T_v < T_h < T_c$		
	Áp lực tĩnh	Lực xung kích / dao động	Hàn vảy mềm $T_v < 450^\circ\text{C}$	Hàn vảy mềm $T_v \geq 450^\circ\text{C}$	Hàn vảy nóng chảy $T_v \leq T_c$
Hàn Khí (OFW) Hàn hồ quang (xAW) Hàn điện xỉ Hàn Laser Hàn bằng chùm tia Electron Hàn ma sát xoay (FSW)	Hàn điểm (spot) Hàn đường (seam) Hàn cụng (upset) Hàn cấy (stud / flash welding) Hàn ma sát (FW)	Hàn nổ Hàn siêu âm Hàn xung từ	Hàn chì / thiếc	Hàn vảy thau / bạc ...	Hàn đồng / thau bằng que đắp thau Hàn gang bằng que đắp nickel Hàn nhôm bằng que nhôm AlSi 5%

Bảng - 3 Các nguồn năng lượng hàn

Nhiệt năng	Cơ năng	Nhiệt / Hóa năng	Điện (trở)	Hồ quang	Điện từ	Các chùm tia năng lượng cao
Nóng chảy	FSW	OFW Thermo Chemical welding	ESW	Hàn que Hàn dây thuốc Hàn hồ quang chìm Hàn MIG/MAG Hàn điện khí (EGW) Hàn TIG Hàn Plasma		LBW EB
Áp lực	FW Hàn nổ	Hàn khí – áp lực	Hàn điểm Hàn điện cụng đập nổi (projection welding) Hàn đường Hàn cụng Hàn cấy (stub welding)	Hàn cấy phóng hồ quang (Flash welding) Hàn cụng phóng hồ quang (Flash upset)	Hàn cảm ứng Hàn xung từ năng lượng cao	
Hàn vảy		Hàn chì mô hàn đồng	Hàn chì (mô hàn điện)		Hàn vảy cảm ứng	Hàn vảy Laser

Bảng - 4 Tính năng công nghệ của các phương pháp hàn / lắp:

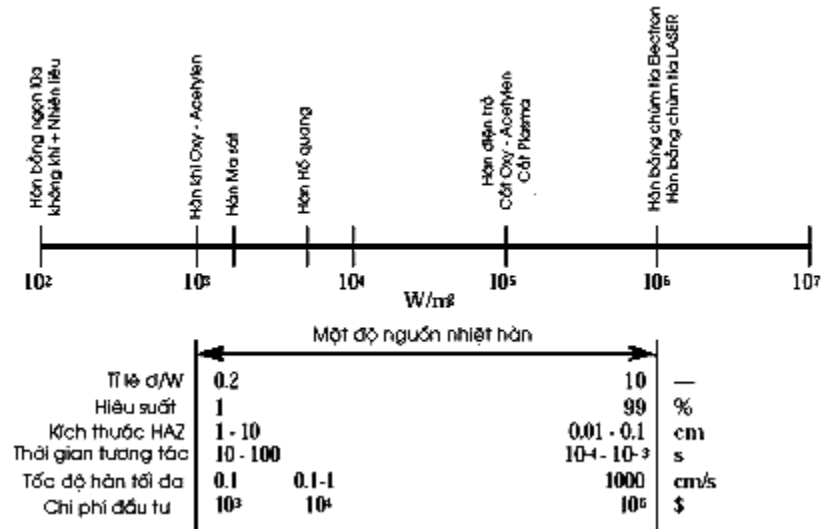
Phương pháp Nguồn năng lượng hàn	Chỉ số định danh ³	Áp dụng trên thép	Áp dụng trên không gỉ	Áp dụng trên nhôm	mối ghép đầu mí	mối ghép chống mí	Hàn trên thép tấm	Hàn ống	Khả năng cơ động	Hàn thủ công	Khả năng cơ khí / tự động hóa	Áp dụng được trên công trường
Hồ quang	1	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có
Khí Laser	3 52	Có	Có thể	Có thể	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Không
Điện trở	2	Có	Có	Có	Có thể	Có	Có	Có thể	Có thể	Có	Có	Không
Ma sát	42	Có	Có	Có	Có	Không	Có	Không ⁴	Không	Không	Có	Không
Hàn vảy bulong rivet	9	Không	Có	Có	Không	Có	Có	Có thể	Có	Có	Có thể	Có
Keo dán	Không	Có	Có	Có	Không	Có	Có	Không	Có thể	Có	Có	Có

Nguồn TWI – The Welding Institute

³ Theo danh pháp EN - 499

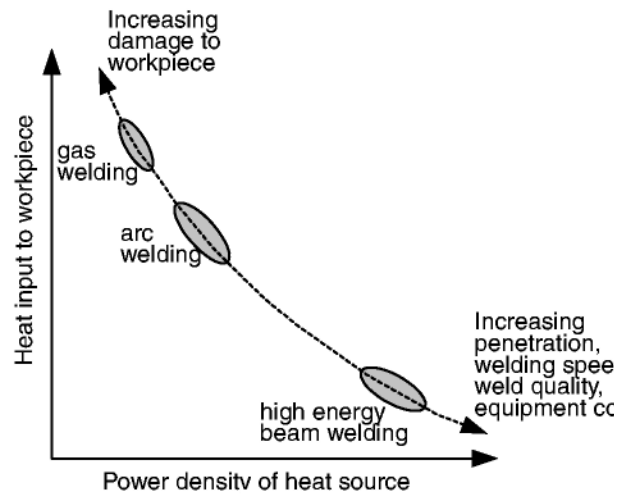
⁴ Với phương pháp hàn ma sát xoáy kết hợp với tự động hóa , các mối hàn ống có thể thực hiện dễ dàng

1.3. Đặc điểm nguồn nhiệt hàn



Hình - 2 Mật độ nguồn nhiệt của các phương pháp hàn thông dụng

Khi đưa một thiết bị sấy tóc công suất 1.5-kW gần một tấm thép không gỉ 304 dày 1.6mm ; chúng ta thấy là vùng nung nóng có đường kính đến 50mm , song không thể hy vọng là đến lúc nào đó tấm thép không gỉ sẽ bị nóng chảy. Trái lại với một hồ quang TIG (GTAW) công suất cỡ 1.5kW, thì vùng nung nóng chỉ khoảng 6mm đường kính , song tấm thép sẽ bị đốt nóng chảy hầu như tức thì. Thí nghiệm này cho thấy chính mật độ nguồn nhiệt , chứ không phải công suất nguồn nhiệt , là yếu tố chính khi xem xét một nguồn năng lượng nào đó có thích hợp với công việc hàn hay không.



Hình - 3 : Nhiệt lượng hấp thu bởi chi tiết hàn theo mật độ dòng nhiệt

Hình 3 cho thấy quan hệ giữa mật độ nguồn nhiệt và nhiệt lượng chi tiết hàn hấp thu được. Ta thấy nguồn năng lượng có mật độ dòng nhiệt càng cao , thì nhiệt lượng hấp thu bởi chi tiết hàn càng giảm . Khi mật độ dòng nhiệt quá thấp, khu vực nung nóng phân tán rộng làm cho việc hình thành vũng chảy hoặc không thể hình thành hoặc không thể kiểm soát được.

Rõ ràng là mật độ dòng nhiệt càng cao thì khu vực nóng chảy hình thành nên bể hàn (weld pool) càng nhỏ, khu vực ảnh hưởng nhiệt (HAZ) càng hẹp. Tiết diện mối hàn được thực hiện bởi phương pháp hàn Oxy – acetylen sẽ rộng và nông hơn tiết diện mối hàn được thực hiện bởi phương pháp hàn que. Đối với các nguồn nhiệt có mật độ cao như hồ quang plasma , LASER,

chùm tia Electron ... thì bể hàn hầu như bị đánh thủng tức thời, Mỗi hàn chỉ được hình thành khi lượng kim loại đắp được cung cấp đủ nhanh để lấp lại lỗ thủng⁵.

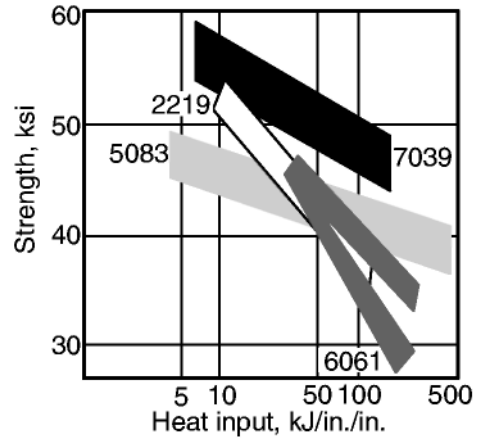
Các phương pháp hàn với mật độ dòng nhiệt cao cho phép thực hiện các mối hàn có độ ngấu sâu, tốc độ hàn cao là các giải pháp phù hợp cho năng suất và chất lượng hàn.

Đối với nhôm và hợp kim nhôm, do tính chất đặc trưng của vật liệu như dẫn nhiệt cao, độ bền nhạy cảm với tác động nhiệt, nên mật độ nguồn nhiệt có ảnh hưởng rất lớn đến độ bền mối hàn (Hình 3); theo đó độ bền suy giảm nhanh khi mật độ nguồn nhiệt tăng cao. Các nhóm nhôm hoá bền (durable aluminium) (6061, 7039) suy giảm độ bền nhanh hơn các nhóm nhôm dẻo (2019, 5083).

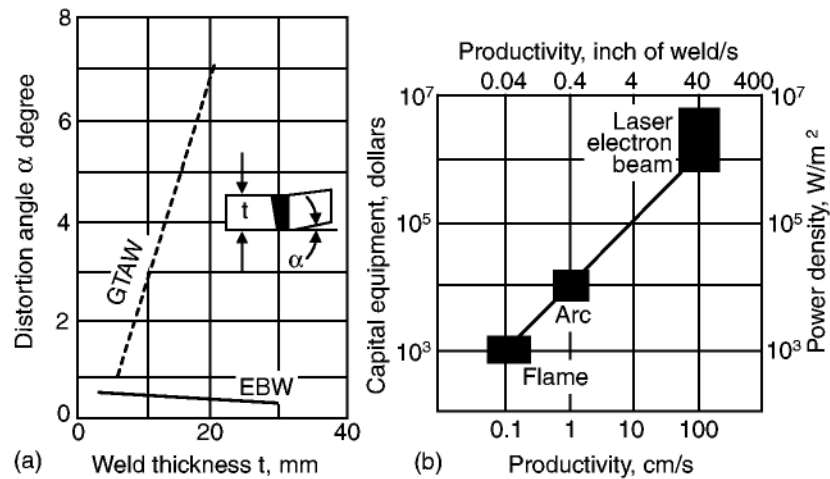
Ở hình 5a chúng ta thấy tác động của mật độ nguồn nhiệt và bề dày chi tiết đến góc biến dạng hàn. Mật độ càng cao thì ảnh hưởng của bề dày chi tiết đến biến dạng hàn càng giảm.

Hình 5b mô tả mối tương quan giữa mật độ nguồn nhiệt với tốc độ hàn và chi phí đầu tư.

Ngoài công suất nguồn nhiệt, hai yếu tố chính quyết định mật độ nguồn nhiệt là tiết diện phân bố và thời gian tương tác cần thiết để tạo nên vũng chảy.



Hình - 4 quan hệ giữa công suất nguồn nhiệt và độ bền các mối hàn trên hợp kim nhôm

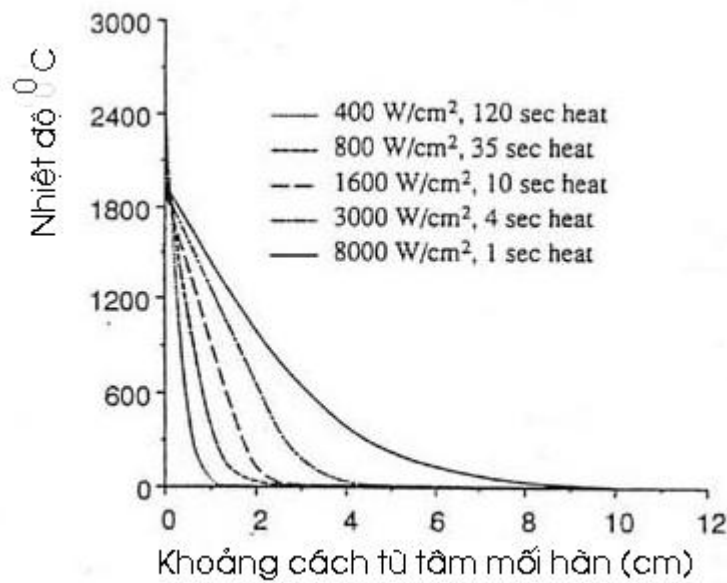


Hình - 5 (a) Tác động của mật độ nguồn nhiệt và mức độ tán nhiệt khi hàn đến biến dạng và năng suất hàn (b) Quan hệ năng suất, chi phí đầu tư và mật độ nguồn nhiệt.

⁵ Kỹ thuật này có tên gọi là “KEYHOLE”

1.3.1. Tiết diện phân bố nhiệt khi hàn.

- Đối với phương pháp hàn khí : mật độ nguồn nhiệt trải rộng lên một tiết diện rộng và tăng công suất ngọn lửa cũng đồng thời với việc tăng tiết diện nung nóng , do vậy trong phương pháp hàn khí việc tăng công suất ngọn lửa đôi khi không mang lại hiệu quả hàn mong muốn. Thực tế thì khi hàn khí Oxy – Acetylen trên thép chúng ta thường chọn công suất ngọn lửa theo bề dày chi tiết hàn ⁶
- Đối với phương pháp hàn điểm tiếp xúc : Tiết diện của điểm hàn hầu như hoàn toàn được xác định dựa trên các yếu tố : độ nhấp nhô và độ sạch của vùng tiếp xúc , đường kính mũi điện cực , áp lực rèn khi hàn. Do vậy mật độ nguồn nhiệt nhỏ nhất và lớn nhất có thể được xác định. Vấn đề còn lại là xác định thời gian hàn cần thiết để điểm hàn được hình thành theo đúng yêu cầu. ⁷



Hình - 6 Mật độ nguồn nhiệt , thời gian tương tác và đường kính vùng chảy

- Đối với các phương pháp hàn nóng chảy mật độ năng lượng đường (Công suất / tốc độ hàn) có ý nghĩa thiết thực hơn

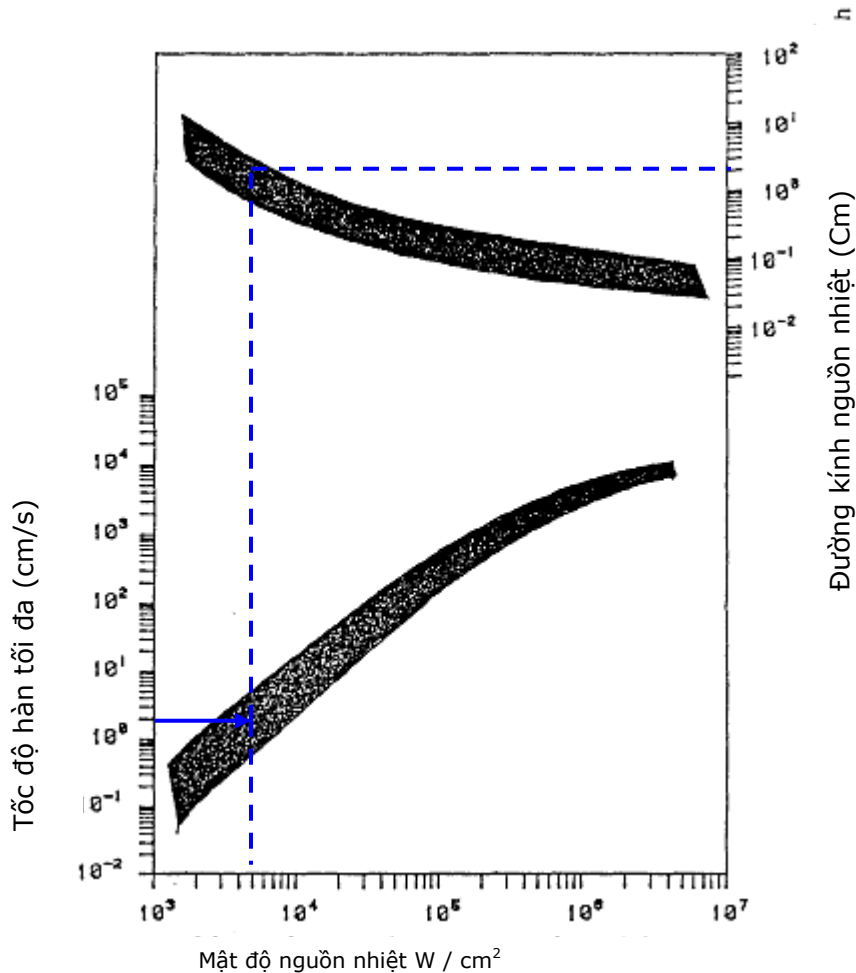
⁶ Công suất ngọn lửa OA được xác định theo lượng Acetylen tiêu thụ trong 1 giờ . Đại lượng này phụ thuộc vào cỡ mô hàn được sử dụng , Như vậy , thực chất khi hàn kích cỡ mô hàn cần phải được chọn phù hợp với bề dày chi tiết được hàn.

⁷ Nếu giả định nguồn nhiệt là phẳng và phân bố đều thì có thể ước lượng thời gian cần thiết để vùng chảy hình thành nhờ công thức thực nghiệm sau : (t_m : là thời gian hàn , HI : mật độ nguồn nhiệt)

$$t_m = \left[\frac{5000}{HI} \right]^2$$

1.3.2. Thời gian tương tác giữa nguồn nhiệt và vũng chảy

Theo hình 6 và 7 thì nguồn nhiệt có mật độ càng thấp, thời gian cần để hình thành vũng chảy càng kéo dài năng lượng tổn thất do nung nóng chi tiết hàn càng lớn. Đối với các phương pháp hàn nóng chảy thời gian tương tác phụ thuộc vào tốc độ hàn ; trong khi tốc độ hàn được quyết định bởi năng suất đắp và lượng kim loại cần đắp thêm để hoàn tất tiết diện hàn.



Hình - 7 Tốc độ hàn tối đa , kích thước vũng chảy theo mật độ nguồn nhiệt *T.W.Eagar*

Từ hình 7 ta thấy việc tăng mật độ nguồn nhiệt thúc đẩy tốc độ hàn tăng nhanh trong khi tiết diện vũng chảy có xu hướng thu hẹp , do phải di chuyển nhanh tránh cháy thủng nên thời gian tương tác giảm.

Từ các phân tích trên hình 7 có thể ước lượng mật độ nguồn nhiệt theo công thức sau

$$q = \frac{k, UI}{V.b} \tag{1}$$

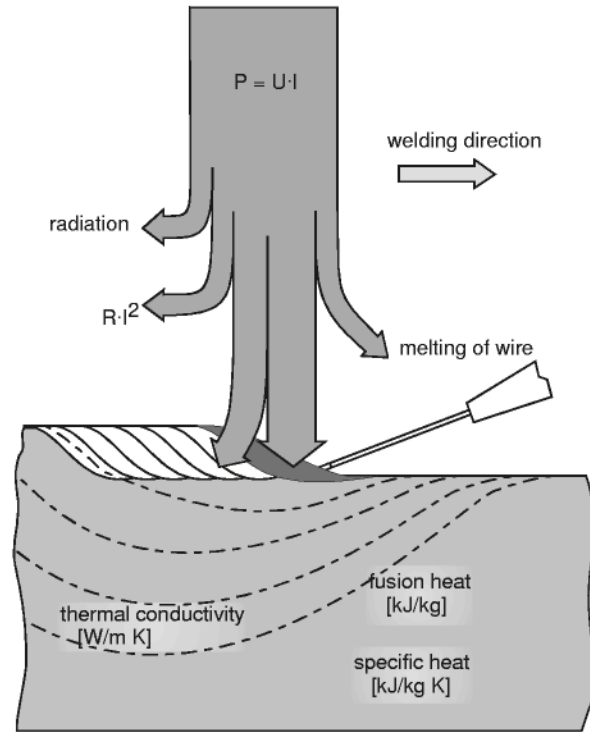
Trong đó

- q : mật độ nguồn nhiệt (W/s^2)
- k : hiệu suất trao đổi nhiệt
- V : tốc độ hàn (m/s)
- b : bề rộng mỗi hàn(m)

Đối với các phương pháp hàn hồ quang nóng chảy thì hiệu suất trao đổi nhiệt phụ thuộc vào :

- Nhiệt độ plasma hồ quang
- Hệ số truyền nhiệt của môi trường bảo vệ
- Hệ số tản nhiệt và bề dày chi tiết
- Hệ số tổn thất nhiệt trên kèm, súng, đuốc hàn (khi được giải nhiệt bằng nước)

Hình 8 cho thấy phân bố tương đối của công suất nhiệt khi hàn. Phần năng lượng thực sự tác động vào việc hình thành mối hàn (hình thành vũng chảy, đốt chảy dây/que hàn) tổn thất do tản nhiệt chỉ chiếm khoảng 60-80% tùy phương pháp.



Hình - 8 Phân bố công suất nhiệt khi hàn

Bảng - 5 hiệu suất trao đổi nhiệt khi hàn

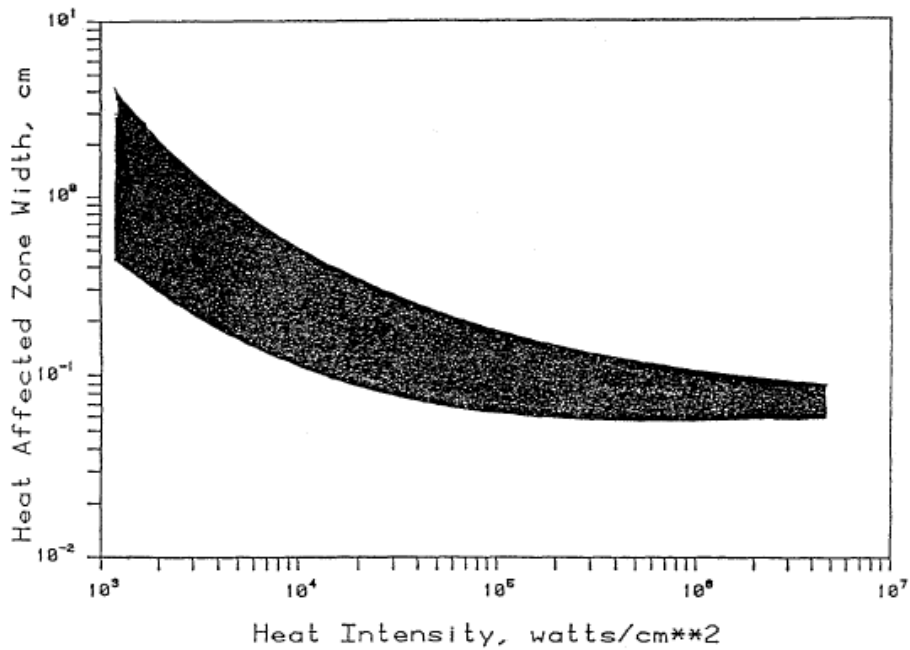
Phương pháp	Hệ số k
Hàn hồ quang chìm	1.0
Hàn que	0.8
Hàn MIG-MAG	0.8
Hàn TIG & Plasma	0.6

Khi hàn, năng suất hàn phụ thuộc vào năng suất đắp của vật liệu hàn (que / dây hàn) và phương pháp hàn. Trong khi chất lượng mối hàn, thể hiện qua cơ tính và độ bền vững của mối hàn khi chịu tải lại phụ thuộc vào chu trình nhiệt và cấu trúc luyện kim của khu vực chịu tác động của nguồn nhiệt hàn.

Chu trình nhiệt hàn là diễn biến nung nóng và làm nguội khi hàn phụ thuộc vào mật độ nguồn nhiệt, các tính chất vật lý của kim loại hàn và kim loại đắp, số lượt đắp và lượng kim loại đắp cho mỗi lượt.

Cấu trúc luyện kim và độ lớn của vùng chịu tương tác nhiệt phụ thuộc vào mật độ nguồn nhiệt, tính chất vật lý, luyện kim của kim loại đắp và kim loại chi tiết.

Thực tế hiển nhiên là khi vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ)⁸ càng lớn thì các tổn thất chất lượng càng cao. Tổn thất nhẹ nhất khi hàn trên các vật liệu có tính hàn cực tốt là biến dạng nhiệt. Hình 9 cho thấy quan hệ giữa mật độ nguồn nhiệt và độ rộng của HAZ.



Hình - 9 Độ rộng của vùng ảnh hưởng nhiệt theo mật độ nguồn nhiệt.

T.W.Eagar

Một phương trình quen thuộc với các chuyên gia hàn và có tên rất ấn tượng là phương trình EINSTEIN thể hiện quan hệ giữa độ ngấu và thời gian tác động nguồn nhiệt.

$$X = \alpha \sqrt{at} \quad (2)$$

Theo phương trình này thì X là độ ngấu tỉ lệ với căn bậc hai của α là hệ số khuếch tán nhiệt của vật liệu Cm^2/S và t là thời gian tác động.

Độ ngấu có ý nghĩa quan trọng khi hàn đắp trên thép hợp kim vì nó sẽ làm thay đổi thành phần kim loại của mối hàn và do đó tác động đến cơ tính và tính bền vững của mối hàn và vùng HAZ.

Hệ số khuếch tán nhiệt tất nhiên sẽ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nhiệt tiết diện phân tán của nguồn nhiệt, còn thời gian tương tác sẽ phụ thuộc vào tốc độ hàn và như vậy rõ ràng là mật độ nguồn nhiệt cũng gián tiếp ảnh hưởng đến độ ngấu (bề sâu vùng chảy) khi hàn.

Các thực nghiệm để xác định các hệ số ở phương trình (1) và phương trình (2) có ý nghĩa thực tiễn rất lớn đối với các nghiên cứu tự động hóa quá trình hàn.

⁸ HAZ = Heat Affect Zone

1.4. Hồ quang hàn

Các phương pháp hàn hồ quang nóng chảy là phương pháp thi công chủ yếu để thực hiện các mối ghép hàn kết cấu thân tàu. Hiểu rõ bản chất hồ quang hàn là cần thiết và bổ ích khi thiết kế và thi công hàn.

1.4.1. Định nghĩa

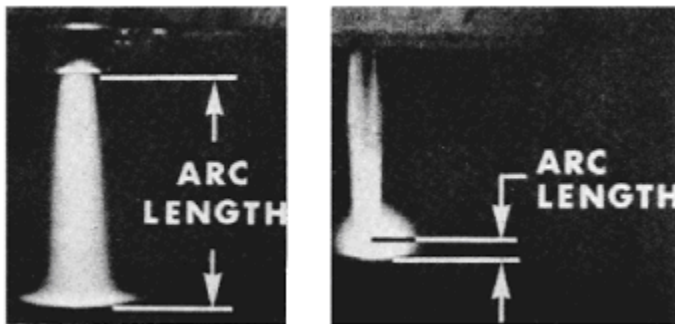
Hồ quang là hiện tượng phóng điện qua chất khí. Sự phóng điện này có nhiều biểu hiện khác nhau tùy thuộc vào điện áp, dòng điện, khoảng cách, thành phần khí và thời gian duy trì. Các dạng phóng điện hồ quang gồm: phóng điện phát sáng (đèn huỳnh quang), tia lửa điện, chớp và sấm và hồ quang hàn.

Hồ quang hàn là :

- hiện tượng phóng điện duy trì qua chất khí ở khoảng cách ngắn (1 -:- 10 mm)
- điện áp thấp (15 -:- 45 V)
- và dòng điện trung bình (5 -:- 5000 A)⁹

1.4.2. Cấu tạo hồ quang

(1) Hồ quang tự do & hồ quang nén :



Hình - 10 So sánh chiều dài hồ quang Plasma (nén) & hồ quang TIG (tự do)

Hồ quang tự do có thể nói là cột plasma bao gồm các ion dương và âm điện tử di chuyển ngược chiều nhau, các phần tử này liên tục va chạm kết hợp và phân ly để tạo nên bức xạ và nhiệt năng. Hồ quang tự do không chịu tác động của môi trường khí bao quanh nó hoặc từ trường hay các nhân tố vật lý khác. Phần lớn các phương pháp hàn hồ quang sử dụng hồ quang tự do ngoại trừ phương pháp hàn Plasma sử dụng hồ quang nén.

Hồ quang nén, là cột plasma¹⁰ chịu tác động mạnh của từ trường hoặc dòng khí bao quanh làm cho chúng tập trung và kéo dài hơn nhằm mục đích sử dụng.

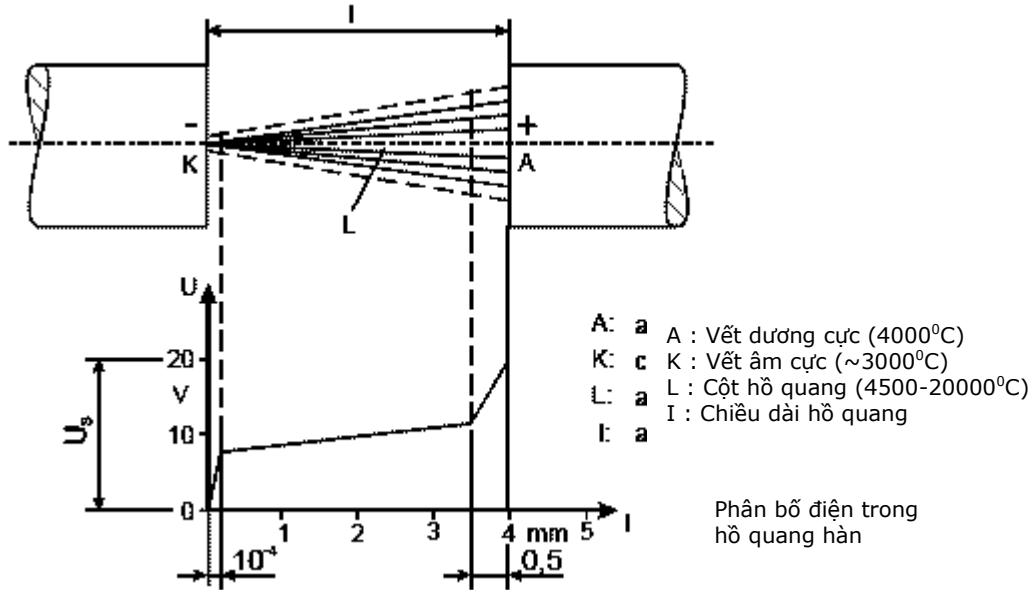
Hồ quang hàn bao gồm các hạt mang điện, có nghĩa là có các đặc tính cũng vật dẫn điện, vừa là dòng khí plasma tốc độ cao. Điều này cho phép :

⁹ Rubakov Gas & Arc Welding

¹⁰ Tập bài giảng phương pháp cắt bằng plasma (<http://science.howstuffworks.com/plasma-cutter3.htm>) (http://www.centricut.com/New_Lessons/online_training.html)

- Dùng từ trường gây ra các tác động lên hồ quang như thổi lệch, nén
- Dùng điện trường để gia tốc, kéo dài hồ quang
- Dùng các hiệu ứng khí động như dòng xoáy để nén và kéo dài hồ quang (plasma hai dòng khí, plasma dòng nước).

Đối với hồ quang tự do, thì cột hồ quang có dạng hình chuông và luôn hướng phần loe về phía chi tiết hàn, bất kể là nó được gắn vào âm cực hay dương cực. Những khảo sát chi tiết cho thấy là cột hồ quang có thể chia thành ba đoạn riêng biệt



Hình - 11 Các vùng sụt áp trên hồ quang hàn

- Vết âm cực (cathode) nơi các electron bị bứt ra thường là các điểm rất nhỏ kích thước từ 10^{-4} đến 10^{-1} mm dịch chuyển ngẫu nhiên trên điện cực.
- Vùng sụt áp âm cực có độ dày khoảng 10^{-4} mm và độ sụt áp khoảng 8-10V
- Vết dương cực (anode) nơi các ion dương được tạo thành là một vùng bị bắn phá bởi các electron và có kích thước phụ thuộc vào mật độ dòng điện và điện áp của hồ quang.
- Vùng sụt áp dương cực có bề dày 0.5 mm với sụt áp từ 6-10 V
- Cột hồ quang, cột plasma có kích thước phụ thuộc vào mật độ và đường kính điện cực, là nơi có nhiệt độ cao nhất với sụt áp tỉ lệ bậc nhất theo chiều dài hồ quang.

Về mặt điện thì các khảo sát cho thấy tồn tại hai vùng sụt áp chủ yếu ở âm cực và dương cực (từ 10 đến 20 V tùy môi trường khí và chất liệu điện cực), còn trên cột hồ quang thì sụt áp tỉ lệ bậc nhất với chiều dài hồ quang¹¹ (hệ số tỉ lệ khoảng 15,7 V/cm)¹².

¹¹ Khi tính chiều dài hồ quang thì khoảng cách sụt áp ở dương cực và âm cực được bỏ qua vì chúng có giá trị rất nhỏ (10^{-4} - 10^{-2} cm)

¹² Theo G. Ayrton thì $U_h = a + bL_h + \frac{c + dL_h}{I_h^n}$ với $a = 15 - 20V$, $b = 15,7 V/cm$, $c = 10W$, $d = 3W/cm$

Như vậy với dòng hàn lớn thì có thể bỏ qua phân số cuối cùng của công thức G Ayrton và khi đó ta có :

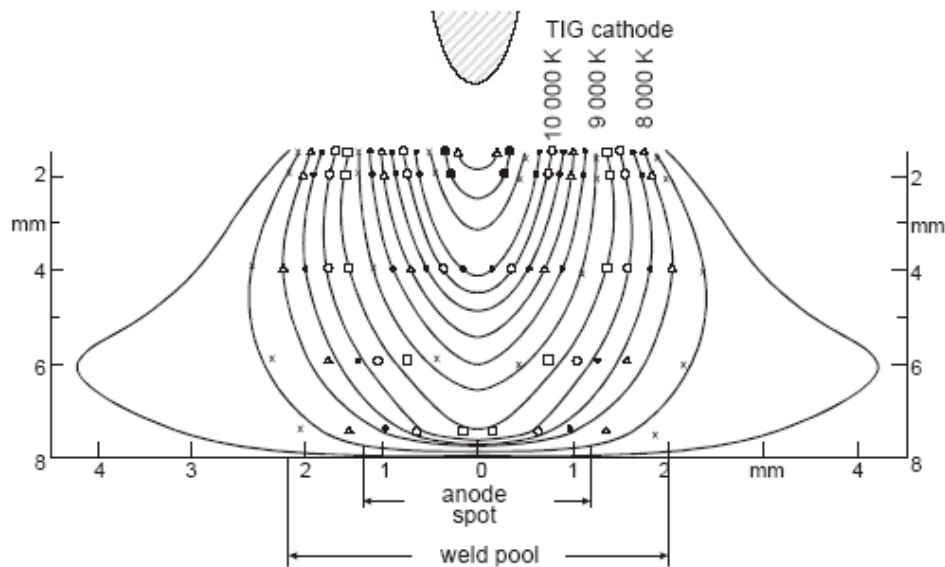
$$U_h = a + bL_h \quad (3)$$

Nói cách khác , điện áp hồ quang hàn tỉ lệ bậc nhất với chiều dài hồ quang.

Một câu hỏi tự nhiên là quan hệ giữa điện áp và dòng điện trong hồ quang hàn sẽ như thế nào ?

(2) Phân loại hồ quang hàn

- a. Hồ quang không nóng chảy (non consumable) : là hồ quang sinh ra giữa điện cực không bị nóng chảy và vũng chảy hàn , ví dụ hồ quang tungsten , hồ quang carbon. Trong loại hồ quang này không có các chuyển dịch kim loại. Gồm hai dạng trực tiếp (Open arc) và gián tiếp nén / không nén (transferred / non – transferred Arc).



Hình - 12 Phân bố nhiệt trong hồ quang TIG

- b. Hồ quang kim loại (metal arc) là hồ quang cháy giữa điện cực kim loại và vũng chảy là dạng phổ biến của các phương pháp hàn hồ quang trong đó điện cực cũng chính là kim loại đắp bổ sung.

(3) Các điều kiện môi , duy trì hồ quang hàn

Theo thực nghiệm của G Ayrton thì để hồ quang có thể cháy được thì điện áp giữa hai cực phải đạt một giá trị nào đó tùy thuộc phương pháp hàn.

Điện áp tối thiểu để duy trì hồ quang có chiều dài L được ước lượng bằng phương trình (3) hoặc chọn bằng điện áp qui chuẩn (convention voltage).¹³

Điện áp môi hồ quang thường lớn hơn nhiều điện áp duy trì và cũng phụ thuộc vào vật liệu hàn (que / dây / khí / thuốc hàn).

¹³ Sở dĩ có tên điện áp qui chuẩn vì điện áp duy trì hồ quang phụ thuộc chủ yếu vào môi trường bảo vệ, vật liệu và thiết bị hàn. Tất nhiên sẽ rất khác biệt nếu các nhà cung cấp không tuân theo một chuẩn nào đó và sự khác biệt này sẽ làm cho các thiết kế công nghệ khó khăn. Điện áp qui ước là điện áp tối thiểu duy trì hồ quang ở một cường độ hàn nhất định được các nhà sản xuất vật liệu hàn thống nhất.