



(12) **BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11) 
1-0020887

(51)⁷ **B23K 9/00, 9/16, 9/167**

(13) **B**

(21) 1-2014-03934

(22) 25.11.2014

(45) 27.05.2019 374

(43) 27.04.2015 325

(73) **TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI (VN)**

Số 1 Đại Cồ Việt, quận Hai Bà Trưng, thành phố Hà Nội

(72) **Vũ Đình Toại (VN)**

(54) **QUY TRÌNH HÀN LIÊN KẾT DẠNG CHỮ T GIỮA NHÔM VỚI THÉP KHÔNG MẠ HAY PHỦ LỚP TRUNG GIAN**

(57) Sáng chế đề xuất quy trình hàn liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian, thực hiện hàn cả hai phía bằng quá trình hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ điện cực không nóng chảy (TIG), bao gồm các bước:

a) xác định dải năng lượng đường phù hợp đối với liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép bằng mô phỏng số, qua đó chọn ra chế độ hàn tối ưu; b) chọn thiết bị hàn TIG và đồ gá hàn phù hợp; c) chế tạo tấm phôi nhôm và tấm phôi thép theo kích thước và hình dạng yêu cầu, trong đó một bên mép hàn được mài lượn cong về một phía, bên mép hàn còn lại không vát, các vị trí góc của mép hàn được mài vê tròn và toàn bộ bề mặt mép hàn được loại bỏ triệt để các nhấp nhô tế vi; d) gá kẹp phôi hàn ở tư thế hàn ngang để thực hiện hàn phía mài cong trước; e) điều chỉnh thiết bị hàn theo chế độ hàn tối ưu; f) hàn phía mài cong với chế độ hàn tối ưu, không làm dao động ngang mỏ hàn; g) tháo phôi và tiến hành làm sạch bề mặt của mối ghép ở phía không vát; h) gá kẹp phôi ở tư thế hàn ngang để thực hiện hàn phía không vát; i) hàn phía không vát với chế độ hàn tối ưu, không làm dao động ngang mỏ hàn; và j) tháo phôi, làm sạch và thực hiện các kiểm tra khuyết tật và cơ tính của liên kết hàn.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến quy trình hàn liên kết dạng chữ T giữa hai vật liệu rất khác biệt về chủng loại, cấu trúc và các tính chất vật lý – luyện kim đó là nhôm và thép không mạ hay phủ lớp trung gian, quy trình hàn này được thực hiện ở cả hai phía bằng quá trình hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ điện cực không nóng chảy.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Các cặp kim loại khác chủng loại thường được hàn với nhau bằng các quá trình hàn ở trạng thái rắn như hàn nổ, hàn ma sát, hàn xung từ, hàn tiếp xúc điện trở do chúng đạt được chất lượng rất tốt và ổn định. Tuy nhiên, trong một số trường hợp với dạng kết cấu đặc thù (về các mặt vật liệu, hình thái kết cấu, yêu cầu của mối ghép, v.v.), các quá trình hàn ở trạng thái rắn lại không đáp ứng được khả năng chế tạo như các quá trình hàn ở trạng thái nóng chảy, do vậy mà các quá trình hàn ở trạng thái nóng chảy khi đó lại được ưu tiên sử dụng để chế tạo sản phẩm. Trong thực tế, các quá trình hàn ở trạng thái nóng chảy có thể được sử dụng để hàn các cặp kim loại khác chủng loại gồm các quá trình hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ bằng điện cực không nóng chảy (TIG) và điện cực nóng chảy (MIG), hàn bằng hồ quang plasma (PAW) hoặc hàn bằng các nguồn tia năng lượng cao như chùm tia laze (LBW) và chùm tia điện tử (EBW).

Đối với liên kết hàn dạng chữ T giữa nhôm và thép, chỉ có quá trình hàn TIG, MIG hoặc các quá trình hàn lai ghép giữa MIG với plasma (PAW + MIG) hay với laze (LBW + MIG) là có thể thực hiện được. Các công trình có bản chất kỹ thuật gần giống với sáng chế này liên quan đến việc sử dụng hàn TIG để thực hiện liên kết hàn giữa nhôm với thép có thể kể đến là:

- Nhóm tác giả Honggang Dong, Chuanqing Liao, Guoqing Chen và Chuang Dong đã nghiên cứu giải pháp hàn TIG để tạo ra liên kết giáp mối nhôm – thép mạ

kẽm dạng tấm mỏng (dày 1,5 mm) sử dụng dây hàn Al-12%Si và Zn-15%Al với lõi thuốc KAlF₄ và CsAlF₄ (φ1,8 mm). Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng khe hở hàn càng lớn, thì độ bền liên kết càng cao, tuy nhiên với chiều dày tấm 1,5 mm, thì khe hở hàn tối ưu nhất là 1,5 mm. Khi áp dụng xử lý nhiệt sau hàn (Post Weld Heat Treatment - PWHT) ở 280°C trong thời gian 30 phút, thì độ bền liên kết tăng mạnh đối với trường hợp sử dụng dây hàn Al-12%Si và giảm nhẹ đối với trường hợp sử dụng dây hàn Zn-15%Al. Việc sử dụng thép mạ kẽm và thuốc hàn tuy có tác dụng làm tăng tính thấm ướt (chảy loang) cho nhôm hợp kim lên trên bề mặt của tấm thép, giúp cho quá trình hàn vảy được thuận lợi hơn nhưng lại gây ra rỗ cho mối hàn. Nhược điểm cơ bản của nghiên cứu này là chỉ thích hợp cho hàn liên kết chồng hoặc giáp mối tấm mỏng (hàn một phía) mà không phù hợp đối với liên kết hàn chữ T (hàn cả hai phía).

- Tác giả Simaizumi đã nghiên cứu giải pháp hàn TIG giữa nhôm với tấm thép đã được mạ nhôm. Giải pháp này được thực hiện với nhiều loại dây hàn phụ thuộc các hệ Al-Si, Al-Cu và Al-Zn với các thành phần hợp kim khác nhau. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng trong số các loại vật liệu bổ sung đó, thì loại dây hàn hệ Al-Si cho chiều dày của lớp liên kim (IMC) nhỏ nhất. Công trình nghiên cứu này cũng cho thấy rằng, độ bền kéo của liên kết hàn phụ thuộc rất nhiều vào chiều dày của lớp IMC. Muốn đạt độ bền kéo lớn hơn 150 N/mm², thì chiều dày của lớp IMC không được vượt quá 10 μm, hay nói cách khác 10 μm là chiều dày tối đa của lớp IMC khi hàn nhôm với thép để đạt được độ bền cao và tránh nứt. Tuy đã đưa ra được nhiều kết quả nghiên cứu có giá trị, nhưng công trình này cũng vẫn dừng lại ở việc áp dụng cho hàn tấm mỏng (< 2 mm).

- Nhóm tác giả Honggang Dong, Wenjin Hu, Yuping Duan, Xudong Wang, Chuang Dong đã nghiên cứu giải pháp hàn TIG để tạo ra liên kết chồng, tấm mỏng từ hai vật liệu nhôm và thép mạ kẽm, sử dụng nhiều loại dây hàn phụ khác nhau thuộc các hệ Al-Si, Al-Cu, Al-Si-Cu và Zn-Al. Nghiên cứu chỉ ra rằng chiều dày của lớp IMC giảm và độ bền kéo của liên kết hàn sẽ tăng lên cùng với sự tăng hàm lượng Si trong mối hàn. Trường hợp dùng dây hàn thuộc hệ Al-Si-Cu sẽ cho chiều dày của lớp IMC nhỏ hơn so với dùng dây hàn hệ Al-Cu và sự phá hủy

trong quá trình thử kéo trước hết xuất hiện tại mỗi hàn nhưng sau đó chạy xuyên qua vùng IMC. Khi sử dụng dây hàn thuộc loại Zn-15%Al, thì lớp IMC tại bề mặt ranh giới giữa mỗi hàn và tấm thép sẽ rất dày và trong mỗi hàn có tổ chức nhánh cây thô, điều này dẫn đến độ bền của liên kết hàn khá yếu. Hơn nữa, do nhiệt độ nóng chảy và bay hơi của lớp mạ kẽm trên tấm thép rất thấp, nên khi hàn chúng rất dễ bị cháy và kết quả là trong mỗi hàn thường có khuyết tật rỗ.

- Một loạt các công trình nghiên cứu của nhóm tác giả J. L. Song, S. B. Lin, C. L. Yang và các đồng nghiệp đã nghiên cứu ứng dụng quá trình hàn TIG để hàn giáp mối các tấm nhôm khá dày loại 5A06 (nhóm 5xxx) và thép không gỉ SUS321, sử dụng hai loại dây hàn thuộc các hệ Al-Si và Al-Cu kết hợp với việc sử dụng thuốc hàn loại không ăn mòn. Việc sử dụng thuốc hàn giúp hòa tan lớp màng cacbit và oxit trên bề mặt tấm thép không gỉ để tạo điều kiện liên kết hình thành mối hàn. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng khi sử dụng dây hàn hệ Al-Si thuộc loại 4043 (5%Si), thì lớp IMC cho cơ tính tối ưu nhất (độ bền kéo đạt tới 125,2 MPa, độ cứng tế vi khoảng 950 HV đối với lớp hàn thứ nhất và 790 HV đối với lớp hàn thứ 2). Vết nứt thường xuất hiện trong lớp IMC ở biên giới giữa mỗi hàn và tấm thép. Khi sử dụng dây hàn Al-Si thuộc loại 4047 kèm với thuốc hàn không ăn mòn, chiều dày của lớp IMC không đồng đều và thay đổi từ 5 μm đến 35 μm và độ bền kéo trung bình đạt được trong trường hợp này là 120 MPa và vết gãy xuất hiện tại lớp bề mặt phân giới. Vết nứt xuất phát từ đỉnh của pha giòn $\eta\text{-Fe}_2\text{Al}_5$ trong lớp IMC, khi chiều dày của nó vượt quá 10 μm .

- Các nhóm tác giả G. Sierra, P. Peyre, F. Deschaux Beaume, D. Stuart, G. Fras và Rattana Borrisutthekul, Pusit Mitsomwang, Sirirat Rattanachan, Yoshiharu Mutoh đã thực hiện nghiên cứu nhằm tìm hiểu khả năng hàn nhôm với thép bằng quá trình hàn TIG theo cách như sau: đặt hai tấm thép và nhôm mỏng (dày 1 mm) chồng lên nhau (tấm thép ở trên, tấm nhôm ở dưới), sau đó dùng mỏ hàn TIG để nung lên bề mặt tấm thép, quá trình cấp nhiệt liên tục cho đến khi nhiệt độ tại bề mặt ranh giới giữa hai chi tiết đạt đến nhiệt độ nóng chảy của nhôm.

Tóm lại, cho đến nay chưa có công trình nào sử dụng quá trình hàn TIG để hàn liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian, thực hiện hàn cả hai phía.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất quy trình hàn đi kèm với các kỹ thuật đặc biệt để thực hiện được liên kết hàn giữa nhôm với thép ở dạng chữ T, thép này không mạ hay phủ lớp trung gian, thực hiện hàn cả hai phía bằng quá trình hàn TIG. Ở đây đặc trưng kỹ thuật của quá trình hàn giữa nhôm với thép là phải tạo ra được liên kết kim loại (hàn) giữa hai vật liệu này.

Như đã biết, nhôm và thép là các vật liệu rất khác biệt về cấu trúc, chủng loại và đặc biệt là các tính chất vật lý - luyện kim. Mức độ hòa tan lẫn nhau để tạo thành dung dịch rắn giữa chúng không cao, khi hàn có thể hình thành các hợp chất hóa học (tổ chức liên kim – IMC) với đặc điểm là rất giòn và cứng. Do đó, có thể thấy rằng khó khăn chính khi nối nhôm với thép bằng nhiệt (hàn) là do khả năng hòa tan rất thấp của Fe vào Al để tạo thành dung dịch đặc (lượng hòa tan tối đa chỉ là 0,05%, theo công bố của Hiệp hội Nhôm châu Âu - European Aluminium Association (2002)), nên rất dễ hình thành các tổ chức liên kim cứng và giòn (Fe_xAl_y), làm cho mối hàn dễ xuất hiện các vết nứt (tách lớp), làm giảm khả năng chịu tải (tĩnh và động) của kết cấu. Hơn nữa, hệ số giãn nở nhiệt rất khác nhau của chúng cũng tạo nên ứng suất dư đáng kể trong liên kết. Vấn đề nữa là nhiệt độ nóng chảy và hệ số dẫn nhiệt khác nhau của hai kim loại này kèm theo nhiệt độ nóng chảy rất cao của lớp oxit nhôm trên bề mặt chi tiết hàn cũng dẫn đến các vấn đề rất khó khăn khi hàn.

Trên cơ sở đó có thể khẳng định rằng, không thể hàn nhôm với thép ở dạng nóng chảy (với cơ chế hòa tan – kết tinh) được vì mối hàn sẽ được hình thành chủ yếu bởi các liên kim, gây ra hiện tượng nứt mảnh liệt và tách lớp. Do đó, muốn tạo ra được liên kết hàn giữa nhôm với thép thì cần phải thực hiện ở cơ chế khác, cụ thể sáng chế đề xuất sử dụng cơ chế khuếch tán – kết tủa (dạng hàn vảy) như mô tả trên Hình 1.

Ý tưởng thực hiện sáng chế trên Hình 1 là: hai cạnh của mỗi hàn (về một phía) cùng lúc thực hiện hai cơ chế hàn là “hàn nóng chảy” và “hàn vảy” bằng một quá trình hàn TIG duy nhất. Để thực hiện được điều này, đòi hỏi phải khống chế rất chặt chẽ và chính xác chế độ nhiệt hàn, nhằm đảm bảo ở phía tiếp giáp với tấm nhôm nhiệt độ phải đạt tới nhiệt độ nóng chảy của nhôm để thực hiện cơ chế hòa tan – kết tinh (hàn nóng chảy), còn ở phía tiếp giáp với tấm thép nhiệt độ không được vượt quá nhiệt độ nóng chảy của thép để tránh cơ chế hòa tan – kết tinh, mà chỉ thực hiện cơ chế khuếch tán – kết tủa (hàn vảy).

Như vậy muốn tạo ra được liên kết hàn giữa hai tấm nhôm và thép, thì ngoài việc phải giải quyết bảy yếu tố cố hữu khi hàn nhôm như đã biết (các yếu tố từ 1 đến 7 trong Bảng 1), còn phải sử dụng các biện pháp kỹ thuật và công nghệ đặc biệt để bảo đảm rằng quá trình khuếch tán trên bề mặt của tấm thép phải xảy ra để tạo được liên kết kim loại (hàn), nhưng lượng khuếch tán phải được khống chế ở mức rất nhỏ để không hình thành ra lớp IMC là tốt nhất, hoặc nếu có hình thành lớp IMC, thì chiều dày của lớp IMC đó phải ở mức nhỏ hơn $10\mu\text{m}$.

Để đạt được mục đích trên, sáng chế đề xuất cần phải xử lý thêm đồng thời ba yếu tố bổ sung số 8, 9 và 10 trong Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1: Tổng hợp các yếu tố và giải pháp kỹ thuật khi hàn nhôm với thép

	Yếu tố	Biện pháp kỹ thuật
Tại phía tấm nhôm:		
1	Lớp màng oxit Al_2O_3	1a-Hiệu ứng bắn phá catot bằng dòng điện xoay chiều (AC) hoặc dòng điện một chiều (DC+) 1b-Làm sạch bổ sung bằng cơ học (chà bằng giấy ráp)
2	Chảy loãng cao, sụt chân mỗi hàn	2a-Sử dụng tốc độ hàn lớn 2b-Dùng tấm đệm (nếu có thể) 2c-Không nung nóng sơ bộ
3	Hệ số giãn nở nhiệt cao, dễ biến dạng khi hàn	3a-Kẹp chặt phôi bằng đồ gá 3b-Sử dụng năng lượng đường thấp nhưng phải

		đủ ngẫu
4	Hệ số dẫn nhiệt lớn	4a-Nguồn nhiệt tập trung, nguồn hàn xung
5	Dễ nứt do cấu trúc hạt hình cột thô	5a-Sử dụng năng lượng đường thấp nhưng phải đủ ngẫu
6	Hòa tan hydro ở nhiệt độ cao	6a-Làm sạch dầu mỡ bảo quản trên phôi 6b-Làm sạch triệt để mép hàn, dây hàn 6c-Sử dụng quá trình hàn ít hydro (TIG hoặc MIG)
7	Nứt giữa các tinh thể trong vùng ảnh hưởng nhiệt	7a-Chọn vật liệu hàn có thành phần hợp kim cao hơn kim loại cơ bản và vượt ra ngoài vùng nhạy cảm nứt
Tại phía tấm thép:		
8	Quá nhiệt trên bề mặt tấm thép	8a-Sử dụng năng lượng đường thấp nhất có thể 8b-Để mở hàn hướng về phía tấm nhôm
Tại bề mặt tiếp giáp giữa kim loại mối hàn với tấm thép:		
9	Bảo đảm điều kiện thấm ướt tốt của kim loại mối hàn lên trên bề mặt của tấm thép (đặc biệt trong trường hợp không dùng lớp mạ trung gian, không dùng thuốc hàn)	9a-Tấm thép phải được vát mép hợp lý 9b-Tạo độ nhẵn bóng trên bề mặt tấm thép bằng cách sử dụng giấy ráp hạt mịn để loại bỏ các nhấp nhô tế vi 9c-Làm sạch triệt để bụi, bẩn, oxit, mỡ sắt trên bề mặt của tấm thép 9d-Lắp ghép với khe hở hàn phù hợp 9e-Thực hiện ở tư thế hàn hợp lý nhằm bảo đảm cho kim loại lỏng chảy tràn, thấm ướt rộng và ổn định lên trên bề mặt tấm thép
10	Khống chế chiều dày của lớp IMC và làm mềm hóa (giảm độ cứng) lớp IMC	10a-Chọn vật liệu hàn có khả năng hạn chế việc tạo ra lớp IMC bất lợi, tạo hệ liên kim mềm hơn (hợp kim hóa mối hàn bằng nguyên tố thích hợp)

		10b-Sử dụng năng lượng đường thấp nhất có thể 10c-Hàn ở tốc độ cao, không dao động ngang mở hàn, không chế vũng hàn nhỏ 10d-Để mối hàn nguội nhanh, trước khi hàn phía không vát, liên kết phải để nguội đến nhiệt độ môi trường
--	--	---

Cụ thể, để có thể tạo ra được liên kết kim loại trực tiếp giữa nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian, ở dạng chữ T và hàn ở cả hai phía, sáng chế đề xuất quy trình bao gồm các bước:

a) xác định dải năng lượng đường phù hợp đối với liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép bằng mô phỏng số, qua đó chọn ra chế độ hàn tối ưu: năng lượng đường tối ưu $q_{\text{tư}} = 680 \text{ J/mm}$ tương ứng với dòng điện hàn $I_h = 200\text{A}$, điện áp hàn $U_h = 17\text{V}$ và vận tốc hàn $V_h = 3,5 \text{ mm/s}$;

b) chọn thiết bị hàn TIG đáp ứng được chế độ hàn tối ưu và đồ gá hàn phù hợp với liên kết dạng chữ T;

c) chế tạo tấm phôi nhôm và tấm phôi thép theo kích thước và hình dạng yêu cầu, trong đó một đầu của tấm phôi thép là mép hàn được chia thành hai bên để thực hiện hai mối hàn ở hai phía của nó được tạo sao cho một bên mép hàn được mài lượn cong về một phía, bên mép hàn còn lại không vát, các vị trí góc của mép hàn được mài vê tròn và toàn bộ bề mặt mép hàn được loại bỏ triệt để các nhấp nhô tế vi;

d) gá kẹp phôi hàn bảo đảm khe hở hàn giữa tấm phôi nhôm và đầu tấm phôi thép nằm trong khoảng từ 1,5 đến 2 mm và ở tư thế hàn ngang với tấm phôi nhôm nằm thẳng đứng còn tấm phôi thép nằm ngang với bề mặt mài cong được hướng lên trên để thực hiện hàn phía mài cong trước;

e) điều chỉnh thiết bị hàn theo chế độ hàn tối ưu và chọn vật liệu hàn có khả năng hạn chế việc tạo ra lớp liên kim bất lợi hoặc có khả năng tạo hệ liên kim mềm;

f) hàn phía mài cong với chế độ hàn tối ưu, phôi hàn không được nung nóng sơ bộ trước, khi hàn cần phải để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm, không làm dao động ngang mỏ hàn;

g) tháo phôi và tiến hành làm sạch triệt để bụi bẩn, oxit, mặt sắt bám trên bề mặt của mối ghép ở phía không vát;

h) gá kẹp phôi ở tư thế hàn ngang với tấm phôi nhôm nằm thẳng đứng còn tấm phôi thép nằm ngang với bề mặt không vát được hướng lên trên để thực hiện hàn phía không vát;

i) hàn phía không vát với chế độ hàn tối ưu, phôi hàn không được nung nóng sơ bộ trước, khi hàn cần phải để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm, không làm dao động ngang mỏ hàn; và

j) tháo phôi, làm sạch và thực hiện các kiểm tra khuyết tật và cơ tính của liên kết hàn.

Theo một khía cạnh của quy trình theo sáng chế, tấm phôi nhôm được làm từ vật liệu AA1100, còn tấm phôi thép được làm từ vật liệu CCT38.

Theo một khía cạnh của quy trình theo sáng chế, thiết bị hàn là thiết bị hàn TIG có điện cực vonfram được mài dọc trục thành hình nón cụt.

Theo một khía cạnh của quy trình theo sáng chế, mỏ hàn được bố trí để tạo một góc xấp xỉ 20° so với tấm phôi thép.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các đặc điểm, tính chất và khía cạnh khác nữa của sáng chế sẽ trở nên rõ ràng hơn qua phần mô tả chi tiết dưới đây có dựa vào các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Hình 1 là sơ đồ ý tưởng thực hiện liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T;

Hình 2 là sơ đồ gá kẹp phôi và tư thế hàn ngang khi hàn liên kết nhôm – thép dạng chữ T;

Hình 3 là cấu trúc thô đại của liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T sau khi hàn cả hai phía;

Hình 4 là kết quả tính toán xác định dải (vùng) năng lượng đường phù hợp đối với liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T;

Hình 5 là liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép có sử dụng dải vật liệu trung gian ba lớp và thực hiện theo cách thông thường hiện nay;

Hình 6 là các ảnh thể hiện cấu trúc tế vi với độ phóng đại 500 lần của các vùng liên kết giữa a) mối hàn với tấm nhôm, b) mối hàn với tấm thép có lớp IMC và c) mối hàn với tấm thép không có lớp IMC;

Hình 7 gồm 7a) là ảnh phổ EDS thể hiện phân bố các nguyên tố trong vùng liên kết, 7b) là ảnh SEM thể hiện cấu trúc siêu tế vi với độ phóng đại 6500 lần của vùng liên kết giữa mối hàn với tấm thép tại nơi không có lớp IMC, 7c) và 7d) lần lượt là các ảnh thể hiện thành phần hợp kim tại các vị trí khảo sát 1 và 2; và

Hình 8 gồm 8a) là ảnh phổ EDS thể hiện phân bố các nguyên tố trong vùng liên kết, 8b) là ảnh SEM thể hiện cấu trúc siêu tế vi với độ phóng đại 6500 lần của vùng liên kết giữa mối hàn với tấm thép tại nơi có lớp IMC, 8c) và 8d) lần lượt là các ảnh thể hiện thành phần hợp kim tại các vị trí khảo sát 3 và 4.

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo sáng chế này, quy trình hàn liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian, thực hiện hàn cả hai phía bằng quá trình hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ điện cực không nóng chảy (TIG), bao gồm các bước từ a) đến j) sau đây.

a) Xác định dải năng lượng đường phù hợp đối với liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép bằng mô phỏng số, qua đó chọn ra chế độ hàn tối ưu:

Trong công nghệ hàn, năng lượng đường là một trong những thông số công nghệ quan trọng nhất (đặc trưng bởi các thông số công nghệ hàn như: dòng điện hàn I_h , điện áp hàn U_h và vận tốc hàn V_h) quyết định đến khả năng hình thành liên kết hàn và nó phụ thuộc vào từng dạng liên kết, loại vật liệu và chiều dày khác nhau như đã biết. Do liên kết hàn tổ hợp giữa nhôm với thép là dạng liên kết mới (phi tiêu chuẩn), nên chưa có tiêu chuẩn hay quy phạm để áp dụng. Thực tế thí nghiệm đã chỉ ra rằng nếu cố gắng áp dụng các tiêu chuẩn, quy phạm và kinh nghiệm hàn đã có để thực hiện liên kết hàn nhôm – thép đều nhận được thất bại, hai tấm nhôm và thép bị tách rời ngay sau khi hàn.

Trong trường hợp này, như được thể hiện trên Hình 1, nếu tiến hành hàn ở năng lượng đường quá thấp, thì sẽ không đủ nhiệt để nung chảy tấm nhôm và không đủ điều kiện (nhiệt độ và thời gian) khuếch tán kim loại tại bề mặt tiếp giáp giữa mỗi hàn và tấm thép để tạo thành liên kết hàn vững chắc. Ngược lại, nếu tiến hành hàn ở năng lượng đường quá cao, thì sẽ làm cháy thủng tấm nhôm và đặc biệt là gây quá nhiệt, thậm chí làm nóng chảy bề mặt tấm thép dẫn đến kết quả là lớp IMC hình thành quá dày, gây ra nứt và tách lớp nên không tạo thành liên kết hàn.

Vấn đề đặt ra là phải xác định được dải năng lượng đường phù hợp để bảo đảm hai cạnh của mỗi hàn (về một phía) cùng lúc thực hiện hai cơ chế hàn là “hàn nóng chảy” và “hàn vảy” bằng một quá trình hàn duy nhất. Như đã biết, dải năng lượng đường phù hợp để hàn đối với một loại vật liệu và chiều dày là khá hẹp, trong khi ở đây dải năng lượng đường yêu cầu phải phù hợp đồng thời cho cả hai loại vật liệu nên sẽ còn hẹp hơn rất nhiều, do vậy việc tìm ra nó sẽ rất khó khăn.

Để xác định được dải năng lượng đường phù hợp đối với cả nhôm và thép trong trường hợp này (các biện pháp kỹ thuật 2a, 3b, 5a, 10c), sáng chế đề xuất sử dụng phương pháp tính toán mô phỏng số, sử dụng phần mềm Sysweld, nhằm mục đích tiết kiệm thời gian và các chi phí thử nghiệm. Trên cơ sở dải năng lượng đường phù hợp xác định được thông qua mô phỏng số, tiến hành lựa chọn giá trị năng lượng đường (tương ứng với các thông số công nghệ hàn) tối ưu là giá trị nhỏ nhất trong dải năng lượng đường phù hợp xác định được (các biện pháp kỹ thuật 8a, 10b). Theo sáng chế, như thể hiện trên Hình 4, dải năng lượng đường phù hợp đối với liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép bằng mô phỏng số là $q = 680 - 720$ J/mm. Năng lượng đường tối ưu áp dụng cho liên kết hàn này là $q_{\text{tu}} = 680$ J/mm tương ứng với chế độ hàn tối ưu là dòng điện hàn $I_h = 200\text{A}$, điện áp hàn $U_h = 17\text{V}$ và vận tốc hàn $V_h = 3,5$ mm/s (được xác định tại hệ số nhiệt hiệu dụng của quá trình hàn TIG là $\eta = 0,7$).

b) Chọn thiết bị hàn TIG đáp ứng được chế độ hàn tối ưu và đồ gá hàn phù hợp với liên kết dạng chữ T:

Thiết bị hàn cũng là một trong những yếu tố quan trọng quyết định đến chất lượng của liên kết hàn. Thiết bị hàn được lựa chọn phải đảm bảo thực hiện được

chế độ hàn tối ưu đã xác định được ở bước a). Đối với liên kết hàn nhôm – thép, sáng chế đề xuất chọn thiết bị hàn TIG (biện pháp kỹ thuật 6c) có thêm các chức năng và đặc tính kỹ thuật sau: hiển thị chính xác các thông số công nghệ bằng đồng hồ hiển thị số (digital), hoạt động ổn định, có dòng hàn mịn, điều chỉnh vô cấp các thông số công nghệ, có chức năng hàn xung với đầy đủ khả năng điều chỉnh ở chế độ xung xoay chiều (AC) để bắn phá lớp màng Al_2O_3 trên tấm nhôm (các biện pháp kỹ thuật 1a, 4a), có chức năng hàn 4 nhịp (4T) để có thể gá trên xe hàn tự hành bảo đảm quá trình hàn ổn định, có công suất đủ lớn và hiệu suất cao. Đồ gá hàn được chọn phải có khả năng kẹp chặt chắc chắn liên kết hàn dạng chữ T (biện pháp kỹ thuật 3a).

c) Chế tạo tấm phôi nhôm và tấm phôi thép theo kích thước và hình dạng yêu cầu:

Các tấm phôi phải được lựa chọn đúng chủng loại vật liệu và chiều dày, làm sạch dầu mỡ bảo quản trên phôi bằng rửa lau và dung dịch axeton (các biện pháp kỹ thuật 6a, 6b), sau đó tiến hành cắt phôi bằng máy cắt tôn theo đúng kích thước sử dụng (đối với thép cũng có thể cắt bằng ngọn lửa khí cháy hoặc cắt bằng plasma, riêng đối với tấm nhôm chỉ có thể cắt bằng cơ học hoặc bằng plasma như đã biết). Tấm phôi thép theo sáng chế khác biệt ở chỗ một bên mép hàn của tấm thép được mài lượn cong về một phía, bên mép hàn còn lại không vát, các vị trí góc của mép hàn được mài vê tròn.

Bởi vì tính thấm ướt trực tiếp của nhôm lỏng lên trên bề mặt của thép rất kém, nên nếu tấm thép không được vát hoặc được vát mép theo các kiểu chữ V hay chữ X như đã biết thì không bảo đảm được khả năng điền đầy kim loại lỏng vào trong rãnh hàn. Có thể tăng tính thấm ướt của nhôm lỏng lên trên bề mặt của tấm thép bằng cách mạ nhôm, mạ kẽm hay phủ lớp kim loại trung gian lên trên bề mặt của tấm thép như đã biết, nhưng phương pháp này rất phức tạp và tăng rất nhiều chi phí. Để khắc phục nhược điểm này, sáng chế đề xuất tạo mép hàn của tấm thép ở dạng đặc biệt: mài lượn cong về một phía, phía còn lại không vát (biện pháp kỹ thuật 9a).

Một điểm cần chú ý nữa là khi hàn thì tại các vị trí góc và các đỉnh nhấp nhô tế vi trong bề mặt mép hàn thường có nhiệt độ cao nhất, nghĩa là các vị trí này sẽ có nguy cơ bị quá nhiệt. Để ngăn chặn hiện tượng quá nhiệt cục bộ trên bề mặt mép hàn, sáng chế đề xuất các vị trí góc của mép hàn phải được vê tròn và tiến hành đánh bóng với độ nhám $Ra \leq 0,6 \mu m$ (trên bề mặt mép hàn của tấm thép) bằng giấy ráp hạt mịn (biện pháp kỹ thuật 9b) để loại bỏ triệt để các nhấp nhô tế vi. Thực tế thử nghiệm cho thấy rằng kiểu mép hàn theo sáng chế cũng phù hợp đối với liên kết giáp mối nhôm – thép.

Để ngăn ngừa các khuyết tật khác như rỗ khí, lẫn oxit, v.v., và đặc biệt là các cụm IMC (do các hạt mặt sắt bị nóng chảy khi hàn tương tác với nhôm lỏng) ở trong mối hàn, sáng chế đề xuất nhất thiết phải tiến hành làm sạch triệt để bụi, bẩn, oxit, mặt sắt còn sót lại trên bề mặt phôi bằng cách thổi khí nén áp suất cao (biện pháp kỹ thuật 9c).

Đối với tấm nhôm, trước khi lắp ghép cần phải tiến hành làm sạch bề mặt bằng phương pháp chà bề mặt để loại bỏ lớp Al_2O_3 như đã biết (biện pháp kỹ thuật 1b).

Theo một phương án theo sáng chế, tấm phôi nhôm được làm bằng vật liệu nhôm AA1100, còn tấm phôi thép được làm bằng vật liệu thép CCT38.

d) Gá kẹp phôi hàn bảo đảm khe hở hàn giữa tấm phôi nhôm và đầu tấm phôi thép nằm trong khoảng từ 1,5 đến 2 mm và ở tư thế hàn ngang để thực hiện hàn phía mài cong trước (phía thứ nhất):

Để hàn phía thứ nhất, phôi hàn sau khi được chuẩn bị đúng yêu cầu kỹ thuật như đã nêu ở bước c) được kẹp chặt (biện pháp kỹ thuật 3a) trên đồ gá chuyên dụng cho liên kết dạng chữ T đã chọn (với lưu ý là mặt mài lượn cong của tấm thép được đặt hướng lên phía trên để thực hiện phía này trước).

Do hiệu ứng sức căng bề mặt của kim loại lỏng, kết hợp với tính thấm ướt của nhôm lỏng lên trên bề mặt của tấm thép rất kém, nên để bảo đảm khả năng điền đầy kim loại lỏng vào trong rãnh hàn, sáng chế khuyến cáo lắp ghép phôi hàn với khe hở đủ lớn (nhưng không được lớn quá để tránh sụt mối hàn) và đặt mối ghép ở tư thế hàn ngang như Hình 2 (các biện pháp kỹ thuật 9d, 9e). Sau khi gá kẹp chắc

chấn ở cả ba vị trí và để đúng tư thế hàn ngang, tiếp tục tiến hành thổi sạch bụi, bẩn, oxit và mặt sắt còn sót lại trong rãnh hàn bằng khí nén áp suất cao.

e) Điều chỉnh thiết bị hàn theo chế độ hàn tối ưu và chọn vật liệu hàn có khả năng hạn chế việc tạo ra lớp liên kim bất lợi hoặc có khả năng tạo hệ liên kim mềm:

Để đảm bảo nguồn nhiệt tập trung (biện pháp kỹ thuật 4a), sáng chế đề xuất mài đầu điện cực vonfram ở dạng nón cụt (như đã biết khi hàn nhôm với nhôm thì đầu điện cực được mài tròn). Trước khi hàn, tiến hành cài đặt và điều chỉnh thiết bị hàn theo đúng chế độ hàn tối ưu đã xác định được ở bước a). Tiến hành hàn thử trên phôi vụn để xác nhận chính xác các thông số chế độ hàn (I_h , U_h , V_h) cũng như áp suất và lưu lượng khí bảo vệ phù hợp trước khi tiến hành hàn trên phôi thực.

Dây hàn được lựa chọn là loại dây hợp kim nhôm có thành phần hợp kim cao hơn kim loại cơ bản và vượt ra ngoài vùng nhạy cảm với nứt (biện pháp kỹ thuật 7a), có khả năng hạn chế việc tạo ra lớp IMC bất lợi và/hoặc tạo hệ liên kim mềm hơn (biện pháp kỹ thuật 10a).

f) Hàn phía mài cong với chế độ hàn tối ưu, phôi hàn không được nung nóng sơ bộ trước, khi hàn cần phải để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm, không làm dao động ngang mỏ hàn:

Như đã biết khi hàn nhôm, do tính chảy loãng của nhôm cao nên dễ gây ra hiện tượng sụt chân mỗi hàn, do vậy phôi hàn không nung nóng sơ bộ (biện pháp kỹ thuật 2c). Để ngăn ngừa hiện tượng quá nhiệt trên bề mặt của tấm thép và hạn chế chiều dày của lớp IMC, sáng chế đề xuất khi hàn cần phải để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm (tạo một góc $\alpha \approx 20^\circ$ so với tấm thép), không dao động ngang mỏ hàn, không chế vũng hàn nhỏ và hàn ở tốc độ cao nhất có thể (các biện pháp kỹ thuật 8b, 10b và 10c).

g) Tháo phôi và tiến hành làm sạch hết bụi bẩn, oxit, mặt sắt bám trên bề mặt của mỗi ghép ở phía không vát:

Sau khi hàn xong phía mài cong, để liên kết hàn nguội đến nhiệt độ môi trường rồi mới tiến hành tháo phôi ra khỏi đồ gá (biện pháp kỹ thuật 10d). Ở đây cần phải rất lưu ý rằng khi hàn phía mài cong (phía thứ nhất), thì bề mặt của tấm

thép ở phía không vát cũng được nung đến nhiệt độ cao nên bề mặt sẽ bị ôxi hóa (do phía không vát không được phun khí bảo vệ trong lúc hàn phía thứ nhất). Do vậy, nếu như không làm sạch triệt để lớp màng oxit sắt bám trên bề mặt tấm thép ở phía không vát, thì sẽ không tạo ra được liên kết giữa mối hàn và tấm thép. Trên cơ sở đó, sáng chế đề xuất tiến hành làm sạch triệt để bề mặt của mối ghép ở phía không vát theo tuần tự: chải bằng bàn chải sắt sợi nhỏ được làm từ thép không gỉ, chà bằng giấy ráp và thổi bằng khí nén áp suất cao (biện pháp kỹ thuật 9c).

h) Gá kẹp phôi ở tư thế hàn ngang để thực hiện hàn phía không vát (phía thứ hai):

Mối ghép sau khi được làm sạch triệt để bề mặt ở phía không vát, lại được kẹp vào đồ gá như bước d). Đặt mối ghép ở tư thế hàn ngang tương tự như Hình 2 với lưu ý phía không vát hướng lên trên (biện pháp kỹ thuật 9e). Sau khi gá kẹp chắc chắn, tiếp tục tiến hành thổi sạch bụi, bẩn, oxit và mặt sắt còn sót lại trên mép hàn bằng khí nén áp suất cao (biện pháp kỹ thuật 9c).

i) Hàn phía không vát với chế độ hàn tối ưu, phôi hàn không được nung nóng sơ bộ trước, khi hàn cần phải để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm, không làm dao động ngang mỏ hàn:

Mối ghép không nung nóng sơ bộ (biện pháp kỹ thuật 2c). Mối hàn ở phía không vát cũng được thực hiện tương tự như kỹ thuật hàn phía thứ nhất, cụ thể là để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm (tạo một góc $\alpha \approx 20^\circ$ so với tấm thép), không dao động ngang mỏ hàn, khống chế vũng hàn nhỏ và hàn ở tốc độ cao nhất có thể (các biện pháp kỹ thuật 8b, 10b và 10c) để ngăn ngừa hiện tượng quá nhiệt trên bề mặt của tấm thép và hạn chế chiều dày của lớp IMC.

j) Tháo phôi, làm sạch, thực hiện các kiểm tra khuyết tật và cơ tính của liên kết hàn:

Liên kết hàn sau khi hàn xong cả hai phía, để nguội đến nhiệt độ môi trường mới tháo ra khỏi đồ gá và làm sạch bằng rửa lau. Sử dụng thước, dưỡng đo mối hàn để kiểm tra các khuyết tật phía bên ngoài giống như đối với các liên kết hàn chữ T từ các vật liệu cùng chủng loại đã biết. Liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T cũng áp dụng được các phương pháp kiểm tra: thẩm thấu (PT), siêu âm (UT), chụp ảnh

phóng xạ (RT), thô đại (Macro) hay tế vi (Micro) để kiểm tra các khuyết tật bên trong của liên kết hàn như đã biết. Riêng phương pháp kiểm tra từ tính (MT) là không áp dụng được trong trường hợp này do nhôm là vật liệu không có từ tính. Lưu ý rằng, các phương pháp kiểm tra khuyết tật của liên kết hàn thuộc phạm vi đã biết nên không được mô tả chi tiết ở đây.

Do đặc thù của liên kết hàn nhôm – thép là có lớp IMC rất cứng nên dễ bị nứt, không chỉ có nứt tế vi mà còn có thể nứt ở mức siêu tế vi. Vì thế, sáng chế khuyến cáo sử dụng thêm phương pháp kiểm tra cấu trúc siêu tế vi (Ultramicro) bằng chụp ảnh trên hiển vi điện tử quét (SEM) để kiểm tra triệt để các vết nứt. Qua thực tế tiến hành phân tích ở nhiều lát cắt ngang của liên kết hàn nhôm – thép, với độ phóng đại 6500 lần của SEM đã phát hiện được vết nứt ở mức nanomet, trong khi đó phương pháp kiểm tra cấu trúc tế vi bằng chụp ảnh trên kính hiển vi quang học thông thường (độ phóng đại 500 lần) đã không phát hiện được vết nứt siêu tế vi này. Như vậy nếu không sử dụng phương pháp chụp ảnh SEM, thì đã bỏ qua khuyết tật khá nguy hiểm. Vì thế, sáng chế khuyến cáo: đối với liên kết hàn nhôm – thép, nhất thiết phải tiến hành chụp ảnh SEM để kiểm tra chất lượng liên kết hàn.

Do liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T thực hiện bằng quá trình hàn hồ quang, nên thường hình thành lớp IMC rất cứng và giòn ở vùng biên giới giữa mối hàn và tấm thép, do vậy cơ tính của vùng này thường là yếu nhất trong liên kết hàn. Mặt khác, từ thực tế liên kết hàn dạng chữ T thường được sử dụng như các dầm hoặc thanh trong kết cấu, khi đó trạng thái làm việc của liên kết hàn dạng chữ T ngoài chịu uốn nó còn chịu lực cắt. Do vậy, ngoài các phương pháp kiểm tra cơ tính thông thường (độ cứng, uốn, bẻ, v.v.) đối với liên kết hàn chữ T như đã biết (không thuộc phạm vi sáng chế nên không được mô tả chi tiết thêm), sáng chế đề xuất cần phải tiến hành kiểm tra thêm độ bền cắt của liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T, thông qua việc tự phát triển một đồ gá để thử kéo liên kết hàn dạng chữ T.

Trên đây là chi tiết các bước tiến hành của quy trình hàn liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian, thực hiện hàn cả hai phía bằng quá trình hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ điện cực không nóng

chảy (TIG). Qua kiểm nghiệm thực tế cho thấy rằng nếu bỏ sót bất cứ một bước nào hoặc đảo lộn trình tự các bước hay không tuân thủ triệt để các biện pháp kỹ thuật đã đề xuất, thì sản phẩm thu được có chất lượng rất kém (thường là nứt/tách lớp, bề mặt bị vón cục, mối hàn bị các khuyết tật hình dạng) hoặc thậm chí là không nhận được liên kết hàn. Do vậy, sáng chế khuyến cáo cần phải tuân thủ đầy đủ và đúng trình tự các bước và các biện pháp kỹ thuật đặc biệt nêu trên.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Dưới đây, quy trình hàn liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian, thực hiện hàn cả hai phía bằng quá trình hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ điện cực không nóng chảy (TIG) theo sáng chế sẽ được áp dụng cho cặp vật liệu nhôm AA1100 với thép CCT38, chiều dày 5 mm với thành phần hóa học cụ thể trong Bảng 2.

Bảng 2: Thành phần hóa học của nhôm AA1100 và thép CCT38

Vật liệu cơ bản	%C	%Mn	%Si	%Cu	%Zn	%P (tối đa)	%S (tối đa)	%Al	%Fe
AA1100	-	0,05	0,95 (Si+Fe)	0,05- 0,2	0,1	-	-	Còn lại	-
CCT38	0,14 – 0,22	0,40 - 0,65	0,12 - 0,30	-	-	0,04	0,045	-	Còn lại

Để tìm ra chế độ công nghệ hàn (I_h , U_h , V_h) tối ưu cho liên kết hàn này, trước hết tiến hành tính toán mô phỏng số trên máy tính để tìm ra dải (vùng) năng lượng đường phù hợp (như thể hiện trên Hình 4) là $q = 680 - 720$ [J/mm]. Từ đó chọn ra được năng lượng đường tối ưu áp dụng cho liên kết hàn này là $q_{\text{tư}} = 680$ [J/mm] (là giá trị nhỏ nhất trong dải năng lượng đường phù hợp), tương ứng với chế độ hàn tối ưu là: $I_h = 200\text{A}$, $U_h = 17\text{V}$ và $V_h = 3,5$ mm/s (hệ số nhiệt hiệu dụng của quá trình hàn TIG là $\eta = 0,7$).

Trên cơ sở chế độ hàn tối ưu đã xác định được ở trên kết hợp với các khuyến cáo về lựa chọn thiết bị hàn theo sáng chế ở bước b), lựa chọn thiết bị hàn

MasterTIG 2500 xung AC/DC (của hãng Kemppi – Phần Lan) có các chức năng và đặc tính kỹ thuật như: hiển thị chính xác các thông số công nghệ hàn bằng đồng hồ hiển thị số và ampe kế tích hợp trong máy, hoạt động ổn định nhờ hệ thống ổn áp tích hợp, hệ điều khiển Inverter cho dòng hàn mịn, điều chỉnh vô cấp các thông số công nghệ, có chức năng hàn xung với đầy đủ khả năng điều chỉnh ở chế độ xung xoay chiều, có chức năng hàn 4 nhịp (4T) để gá trên xe hàn tự hành bảo đảm quá trình hàn ổn định, có công suất đủ lớn. Tiếp theo, lựa chọn đồ gá hàn chuyên dụng có thể kẹp chặt cả ba phía của liên kết hàn dạng chữ T như được thể hiện trên Hình 2.

Các tấm phôi hàn được lựa chọn đúng mác AA1100 và CCT38 với chiều dày 5 mm, tiến hành làm sạch dầu mỡ bảo quản trên phôi bằng rẻ lau và dung dịch axeton rồi tiến hành cắt phôi với kích thước 250 x 180 x 5 mm (đúng như mô hình mô phỏng trên máy tính) bằng máy cắt tôn. Riêng đối với tấm thép, một đầu được mài lượn cong về một phía, phía còn lại không vát và các vị trí góc được vê tròn (Hình 3). Tiếp theo tiến hành loại bỏ các nhấp nhô tế vi trên bề mặt tấm thép bằng giấy ráp hạt mịn (cỡ hạt 100 – 150 μm) và cuối cùng tiến hành làm sạch triệt để bụi, bẩn, oxit, mạt sắt trên bề mặt của tấm thép bằng cách thổi khí nén áp suất cao (khoảng 10 kg/cm^2). Đối với tấm nhôm, trước khi lắp ghép cũng tiến hành loại bỏ lớp Al_2O_3 trên bề mặt bằng phương pháp chà bề mặt sử dụng giấy ráp như đã biết.

Hai tấm phôi nhôm AA1100 và thép CCT38 sau khi làm sạch như mô tả ở trên, được đưa lên đồ gá để lắp ghép ở dạng chữ T với lưu ý tấm thép đặt vuông góc với tấm nhôm, để khe hở hàn trong phạm vi từ 1,5 – 2 mm, sau đó kẹp chặt cả ba phía của mỗi ghép và để mỗi ghép ở tư thế hàn ngang như Hình 2. Ở bước này cần phải lưu ý là mặt mài lượn cong của tấm thép (bắt buộc) phải được đặt hướng lên phía trên để thực hiện phía này trước. Sau khi gá kẹp chắc chắn và để đúng tư thế hàn ngang (tấm thép nằm ngang, tấm nhôm thẳng đứng), tiến hành thổi sạch bụi, bẩn, oxit và các mạt sắt còn sót lại trong rãnh hàn bằng khí nén áp suất cao (khoảng 10 kg/cm^2).

Khi chuẩn bị thiết bị hàn TIG, điện cực vonfram được mài dọc trục và có hình dạng nón cụt. Tiến hành cài đặt máy hàn TIG theo đúng chế độ hàn tối ưu đã xác

định ($I_h=200A$, $U_h=17V$, $V_h=3,5$ mm/s, sử dụng dòng hàn xung ngắn mạch xoay chiều). Sau khi điều chỉnh các núm/phím chức năng trên máy, tiến hành hàn thử trên phôi vụn để xác nhận chắc chắn rằng các thông số chế độ hàn đã cài đặt là chính xác và tìm ra lưu lượng khí bảo vệ vừa đủ là khoảng 10 lít/phút. Lựa chọn dây hàn là hợp kim nhôm ER4043 có 5%Si (chọn theo các tác giả Simaizumi; Honggang Dong và các cộng sự; J. L. Song và các cộng sự) với đường kính 2 mm nhằm bảo đảm có thành phần hợp kim cao hơn kim loại cơ bản và vượt ra ngoài vùng nhạy cảm với nứt, đồng thời có khả năng hạn chế việc tạo ra lớp IMC bất lợi.

Thực hiện hàn trên phôi với chế độ hàn tối ưu ở trên và áp dụng các kỹ thuật: phôi hàn không nung nóng sơ bộ, khi hàn để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm (tạo một góc $\alpha \approx 20^\circ$ so với tấm thép), không dao động ngang mỏ hàn và không chế vũng hàn nhỏ.

Sau khi hàn xong phía thứ nhất, để liên kết hàn nguội đến nhiệt độ môi trường rồi mới tiến hành tháo phôi ra khỏi đồ gá. Tiếp theo tiến hành làm sạch triệt để bề mặt của mối ghép ở phía không vát theo tuần tự: chải bằng bàn chải sắt sợi nhỏ được làm từ thép không gỉ để tránh đưa oxit vào rãnh hàn, chà bề mặt bằng giấy ráp hạt mịn (cỡ hạt 100 – 150 μm) và thổi bằng khí nén áp suất cao (áp suất khoảng 10 kg/cm^2).

Mối ghép sau khi được làm sạch bề mặt ở phía không vát, lại được kẹp chặt vào đồ gá chuyên dụng tương tự như thực hiện đối với phía vát. Sau khi gá kẹp chắc chắn và để đúng tư thế hàn ngang (tấm thép nằm ngang, tấm nhôm thẳng đứng), tiếp tục tiến hành thổi sạch bụi, bẩn, oxit và các hạt sắt còn sót lại trên mép hàn bằng khí nén áp suất cao.

Thực hiện hàn trên phôi ở phía không vát với chế độ hàn tối ưu ở trên và cũng thực hiện theo các kỹ thuật: phôi hàn không nung nóng sơ bộ, khi hàn để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm (tạo một góc $\alpha \approx 20^\circ$ so với tấm thép), không dao động ngang mỏ hàn và không chế vũng hàn nhỏ. Sau khi hàn xong, để liên kết hàn nguội đến nhiệt độ môi trường rồi mới tháo ra khỏi đồ gá.

Sản phẩm thu được là liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T dày 5 mm như thể hiện trên Hình 3. Qua kiểm tra ngoại dạng cho thấy rằng bề ngoài liên kết hàn đẹp,

sự chuyển tiếp kim loại đều, bề mặt không bị vón cục, tấm nhôm không bị sứt và mối hàn không bị khuyết tật hình dạng.

Tiếp tục tiến hành kiểm tra các khuyết tật bên trong bằng các phương pháp hiển vi quang học, hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS/EDX) thu được các kết quả sau:

- Đã hoàn toàn tạo ra được liên kết kim loại (hàn) giữa hai tấm nhôm và thép không mạ hay phủ lớp trung gian như mục đích đặt ra. Trong đó, liên kết giữa kim loại mối hàn với tấm nhôm ở dạng hàn nóng chảy theo cơ chế hòa tan – kết tinh mà đặc trưng bởi đường viền chảy (Hình 6a). Liên kết giữa kim loại mối hàn với tấm thép ở dạng hàn vảy theo cơ chế khuếch tán – kết tủa, trong đó khu vực bề mặt tấm thép ở gần hồ quang hình thành một lớp liên kim IMC rất mỏng (khoảng 5 – 8 μm , các Hình 6b và Hình 8b), ở vùng mài cong nằm sâu trong rãnh hàn (ở xa hồ quang) vẫn tạo được liên kết kim loại (các Hình 6c và Hình 7b) nhưng lượng khuếch tán chưa vượt qua giới hạn hòa tan bão hòa của sắt (Fe) trong nhôm (Al), nên không hình thành lớp IMC – đây là một trong những ưu điểm nổi bật của sáng chế.

- Thành phần hóa học của lớp liên kim (IMC) có chứa ba nguyên tố là Al, Fe và Si, nghĩa là lớp IMC này là hợp chất hóa học hệ ba nguyên $\text{Al}_x\text{Fe}_y\text{Si}_z$ chứ không phải là hợp chất hệ hai nguyên Fe_xAl_y (vị trí khảo sát nằm trong lớp IMC và ở sát tấm thép có hàm lượng Al=48,7%; Fe=47,6%; Si=3,7%. Vị trí ở giữa lớp IMC có hàm lượng Al=57,2%; Fe=41,1%; Si=1,7%. Vị trí khảo sát nằm trong lớp IMC và ở sát kim loại mối hàn có hàm lượng Al=59,9%; Fe=33,4% và Si=6,7%).

Tiến hành kiểm tra độ cứng của lớp IMC trên thiết bị đo độ cứng tế vi, thấy rằng độ cứng trung bình của lớp IMC là 879 HV (ở mức trung bình so với các nghiên cứu đã biết). Cuối cùng, tiến hành kiểm tra độ bền chịu cắt của liên kết hàn nhôm – thép dạng chữ T bằng phương pháp kéo trên máy kéo nén vạn năng, thu được kết quả là độ bền cắt trung bình của năm mẫu thử kéo đo được là 156,7 MPa (lớn hơn so với các nghiên cứu trước đó).

Hiệu quả đạt được bởi sáng chế

Mặc dù gặp rất nhiều khó khăn khi hàn, các kết cấu hàn từ vật liệu kim loại khác nhau về chủng loại có ứng dụng ngày càng nhiều trong công nghiệp do chúng có nhiều ưu điểm về kinh tế và kỹ thuật. Trường hợp điển hình là xu hướng giảm khối lượng của kết cấu trong chế tạo ô tô và tàu thủy cao tốc nhằm mục đích tăng tốc độ và hiệu quả vận hành, giảm mức tiêu hao nhiên liệu sử dụng, giảm ô nhiễm môi trường, v.v., dẫn đến việc sử dụng kết hợp nhiều loại vật liệu khác nhau trong một kết cấu. Các kết cấu kim loại khi đó có chứa các liên kết hàn giữa các thép khác chủng loại với nhau; các liên kết hàn giữa thép với nhôm hoặc hợp kim nhôm, với magie hoặc hợp kim magie, v.v..

Hiện nay, để chế tạo các liên kết nhôm – thép ở dạng chữ T, phải nhập các dải vật liệu trung gian hai lớp: nhôm - thép (Bimetal) hoặc ba lớp: hợp kim nhôm - nhôm - thép (Trimetal) – được chế tạo bằng quá trình hàn nổ, sau đó tiến hành hàn nhôm với nhôm và hàn thép với thép như cách làm thông thường (Hình 5). Cách làm này làm phức tạp cho kết cấu, tốn nhiều chi phí và thời gian chế tạo do số mối hàn tăng gấp đôi, phải gia công rất nhiều và giá thành cao.

Quy trình thực hiện theo sáng chế cho phép tạo ra được liên kết hàn trực tiếp giữa hai tấm nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian ở dạng chữ T và hàn được cả hai phía nên sẽ hạn chế được các nhược điểm của cách làm kể trên. Liên kết hàn nhận được không bị nứt, lớp liên kim IMC có chiều dày rất mỏng, đặc biệt là nhận được một số vùng liên kết không có lớp IMC. Độ bền cắt (trượt) của liên kết hàn đạt được khá cao và độ cứng tế vi của lớp IMC ở mức trung bình.

Với các đặc tính kỹ thuật của liên kết hàn dạng chữ T giữa nhôm AA1100 với thép CCT38 thu được theo sáng chế này, sẽ đáp ứng được yêu cầu liên quan đến phạm vi ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như: chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt trong ngành nhiệt – lạnh; đóng tàu cao tốc vỏ nhôm khung thép; kỹ thuật điện; năng lượng; kỹ thuật hàng không; hay trong các lĩnh vực chế tạo kết cấu kim loại mà ở đó vừa yêu cầu độ bền chịu tải cao (thép) vừa cần phải nhẹ hoặc chịu ăn mòn hay dẫn điện/nhiệt tốt (nhôm), v.v..

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình hàn liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép không mạ hay phủ lớp trung gian, thực hiện hàn cả hai phía bằng quá trình hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ điện cực không nóng chảy (TIG), quy trình này bao gồm các bước:

a) xác định dải năng lượng đường phù hợp đối với liên kết dạng chữ T giữa nhôm với thép bằng mô phỏng số, qua đó chọn ra chế độ hàn tối ưu: năng lượng đường tối ưu $q_{tr} = 680 \text{ J/mm}$ tương ứng với dòng điện hàn $I_h = 200\text{A}$, điện áp hàn $U_h = 17\text{V}$ và vận tốc hàn $V_h = 3,5 \text{ mm/s}$;

b) chọn thiết bị hàn TIG đáp ứng được chế độ hàn tối ưu và đồ gá hàn phù hợp với liên kết dạng chữ T;

c) chế tạo tấm phôi nhôm và tấm phôi thép theo kích thước và hình dạng yêu cầu, trong đó một đầu của tấm phôi thép là mép hàn được chia thành hai bên để thực hiện hai mối hàn ở hai phía của nó được tạo sao cho một bên mép hàn được mài lượn cong về một phía, bên mép hàn còn lại không vát, các vị trí góc của mép hàn được mài vê tròn và toàn bộ bề mặt mép hàn được loại bỏ triệt để các nhấp nhô tế vi;

d) gá kẹp phôi hàn bảo đảm khe hở hàn giữa tấm phôi nhôm và đầu tấm phôi thép nằm trong khoảng từ 1,5 đến 2 mm và ở tư thế hàn ngang với tấm phôi nhôm nằm thẳng đứng còn tấm phôi thép nằm ngang với bề mặt mài cong được hướng lên trên để thực hiện hàn phía mài cong trước;

e) điều chỉnh thiết bị hàn theo chế độ hàn tối ưu và chọn vật liệu hàn có khả năng hạn chế việc tạo ra lớp liên kim bất lợi hoặc có khả năng tạo hệ liên kim mềm;

f) hàn phía mài cong với chế độ hàn tối ưu, phôi hàn không được nung nóng sơ bộ trước, khi hàn cần phải để mỏ hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm, không làm dao động ngang mỏ hàn;

g) tháo phôi và tiến hành làm sạch triệt để bụi bẩn, oxit, mỡ bám trên bề mặt của mối ghép ở phía không vát;

h) gá kẹp phôi ở tư thế hàn ngang với tấm phôi nhôm nằm thẳng đứng còn tấm phôi thép nằm ngang với bề mặt không vát được hướng lên trên để thực hiện hàn phía không vát;

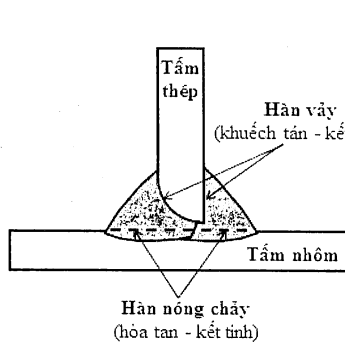
i) hàn phía không vát với chế độ hàn tối ưu, phôi hàn không được nung nóng sơ bộ trước, khi hàn cần phải để mở hàn hướng chủ yếu về phía tấm nhôm, không làm dao động ngang mở hàn; và

j) tháo phôi, làm sạch và thực hiện các kiểm tra khuyết tật và cơ tính của liên kết hàn.

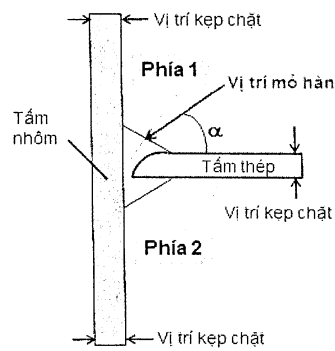
2. Quy trình theo điểm 1, trong đó tấm phôi nhôm được làm từ vật liệu AA1100, còn tấm phôi thép được làm từ vật liệu CCT38.

3. Quy trình theo điểm 1 hoặc 2, trong đó thiết bị hàn là thiết bị hàn TIG có điện cực vonfram được mài dọc trục thành hình nón cụt.

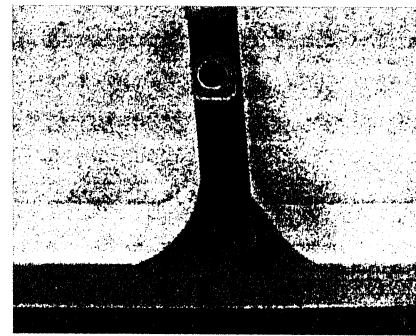
4. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó mở hàn được bố trí để tạo một góc xấp xỉ 20° so với tấm phôi thép.



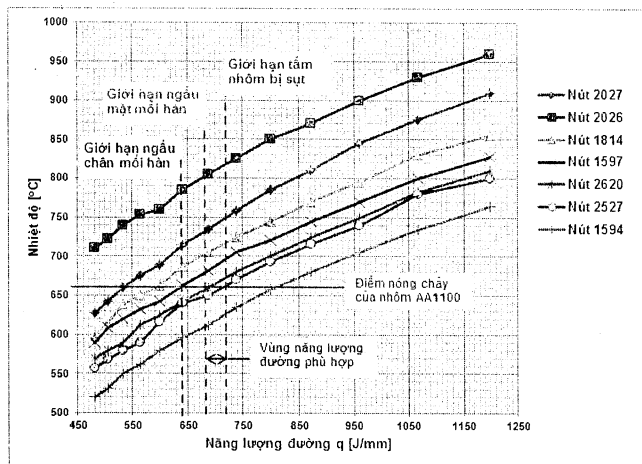
Hình 1



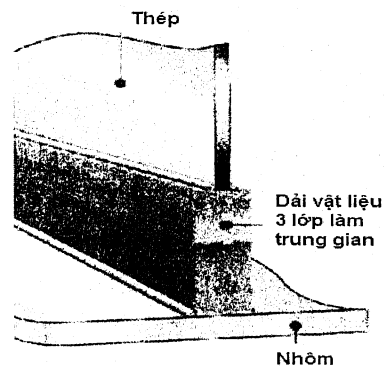
Hình 2



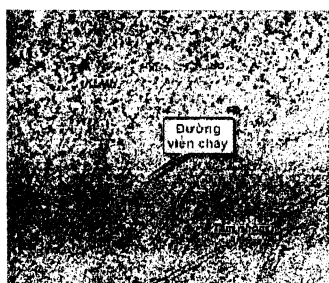
Hình 3



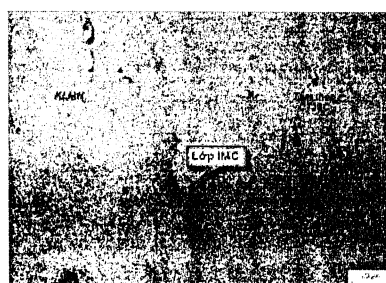
Hình 4



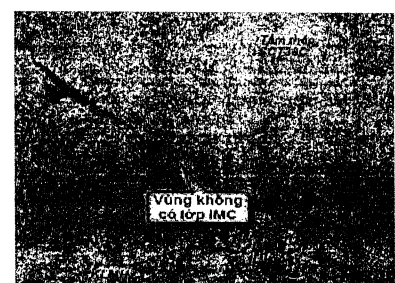
Hình 5



a) liên kết mối hàn - tấm nhôm



b) liên kết mối hàn - tấm thép có lớp IMC

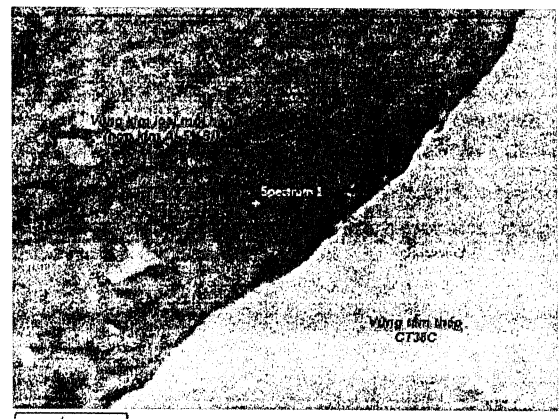


c) liên kết mối hàn - tấm thép không có lớp IMC

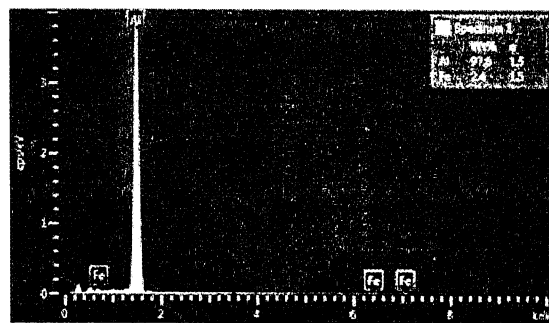
Hình 6



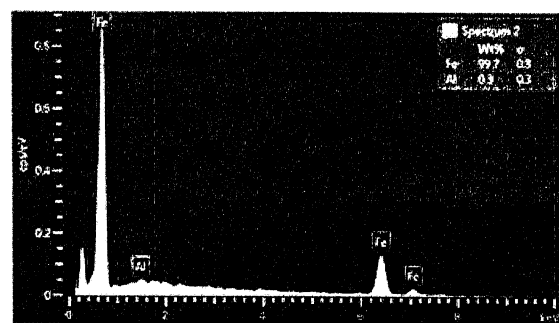
a) phổ phân bố các nguyên tố trong vùng liên kết



b) cấu trúc siêu tế vi vùng liên kết không có IMC

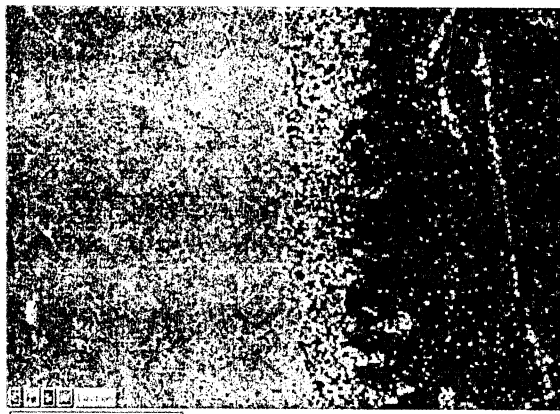


c) thành phần hợp kim tại vị trí 1

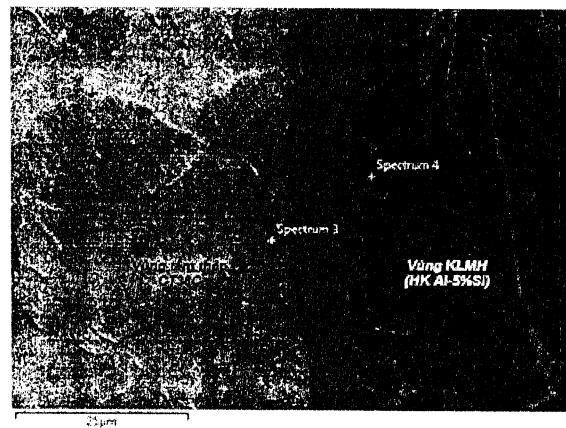


d) thành phần hợp kim tại vị trí 2

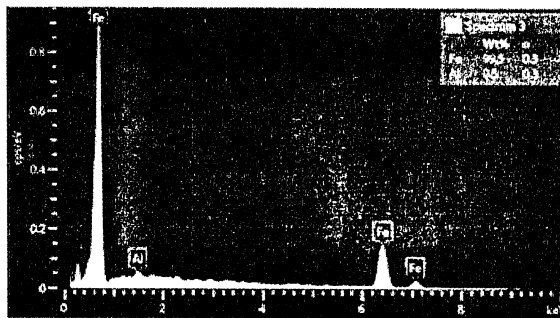
Hình 7



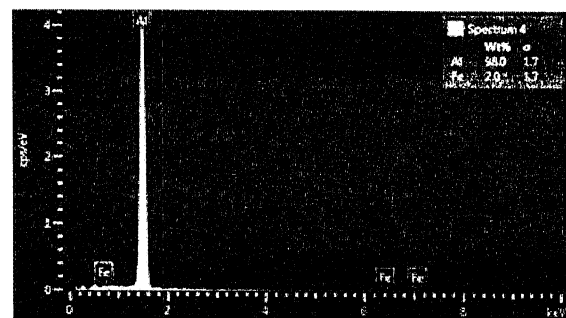
a) phổ phân bố các nguyên tố trong vùng liên kết



b) cấu trúc siêu tế vi vùng liên kết có lớp IMC



c) thành phần hợp kim tại vị trí 3



d) thành phần hợp kim tại vị trí 4

Hình 8