

NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM LỚP CẤU TRÚC MÀNG MỎNG VÀ LIÊN KẾT KIM LOẠI VÙNG BIÊN GIỚI LIÊN KẾT HAI LỚP THÉP - HỢP KIM NHÔM HÀN NỔ Ở VIỆT NAM

RESERACHING THE CHARACTERISTICS OF THIN FILM STRUCTURAL LAYER AND METAL BONDING IN BORDER AREAS TO BOND TWO LAYERS OF STEEL - ALUMINUM ALLOY USING EXPLOSION - WELDING IN VIETNAM

Hà Minh Hùng^{1,2,*}, Đào Duy Trung², Vũ Trung Tuyển²,
Đỗ Minh Chiến³, Hoàng Minh Thuận³, Lê Văn Lợi³

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu đặc điểm của lớp cấu trúc màng mỏng và liên kết kim loại cục bộ vùng biên giới liên kết giữa hai lớp thép - hợp kim nhôm một số mẫu thí nghiệm hàn nổ ở Việt Nam làm cơ sở khoa học luận giải cho sự phụ thuộc tính chất cơ - lý của vật liệu composit thép CT.3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 vào bộ thông số nổ r, h, C .

Từ khóa: Hàn nổ; vật liệu composit kim loại 3 lớp (trimetal).

ABSTRACT

The article introduces research results about characteristics of thin film layer structure and local metal bonding in border area to bond two layers of steel - allunim alloy with some samples of explosion welding experiments in Vietnam as a scientific base for interpretation of dependency about mechanical - physical properties of composite steel materials CT.3 - aluminum AA1050 - aluminum alloy AA5083 into the three explosion parameters r, h, C .

Keywords: Explosion - welding; 3-layer metal composites (trimetal).

¹Viện Phát triển Kỹ thuật, Công nghệ tiên tiến (IDAT)

²Viện Nghiên cứu Cơ khí (NARIME)

³Trường Cao đẳng Công nghiệp và Xây dựng (CIC)

*Email: haminhhunggs@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/10/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2019

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đặc điểm của tổ chức vật liệu hình thành trong quá trình hàn bằng năng lượng nổ (gọi tắt là hàn nổ) thường có liên quan đến lớp cấu trúc màng mỏng tạp chất hoặc liên kim loại cục bộ tại biên giới liên kết các lớp kim loại hàn và lân cận nó. Trong [1] đã giới thiệu về một số kết quả nghiên cứu khảo sát và chụp ảnh tổ chức tế vi tại vùng biên giới vật liệu composit 2 lớp (bimetal) thép 08K_n - hợp kim nhôm (Al-Sn-Cu) nhận được bằng công nghệ hàn nổ, sử dụng làm phôi chế tạo bạc trượt động cơ xe ô tô có tải trọng trung bình [2].

Trong [1, 2] đã giới thiệu một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm ứng dụng năng lượng nổ để chế tạo vật liệu composit 3 lớp (trimetal) thép CT.3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 [3] và một số đặc tính tổ chức tế vi khảo sát trên biên giới liên kết các lớp ở trạng thái sau hàn nổ bằng kính hiển vi quang học [4].

Tuy nhiên, kết quả thực nghiệm đã đề cập ở các công trình trên đã chứng minh được tiềm năng ứng dụng năng lượng nổ trong việc tạo phôi vật liệu composit dạng hai và 3 lớp, đảm bảo tính năng tổ hợp được những đặc điểm ưu việt của các lớp kim loại cấu thành có cơ lý tính khác xa nhau mà bằng các công nghệ gia công áp lực khác khó hoặc không thể thực hiện được có hiệu quả cao. Lấy ví dụ như tấm vật liệu composit thép - nhôm - hợp kim nhôm độ bền cao với kích thước tương đối lớn chế tạo bằng công nghệ hàn nổ trong điều kiện Việt Nam hiện nay, ứng dụng trong hàn kết cấu tàu thủy [5]. Mặc dù trong phạm vi các nghiên cứu này đã có kết quả rất khả quan, nhưng để có sức thuyết phục cao hơn đối với người sử dụng cần có thêm một vài nghiên cứu chuyên sâu về đặc điểm của lớp cấu trúc màng mỏng và tổ chức liên kim loại hình thành trên biên giới liên kết các lớp kim loại hàn nổ.

2. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

Mô hình hàn nổ tạo phôi vật liệu composit 3 lớp thép CT.3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 (sau đây gọi tắt là vật liệu composit thép - hợp kim nhôm độ bền cao) theo sơ đồ nổ song song cho trên hình 1. Vật liệu thí nghiệm được chọn như sau:

- Lớp nhôm trung gian AA1050, hàn nổ trực tiếp với lớp thép CT.3, có chiều dày $\delta_1 = 5\text{mm}$, chiều rộng $B_1 = 200\text{mm}$ và chiều dài $L_1 = 620\text{mm}$;
- Lớp hợp kim nhôm AA5083, hàn nổ lần 2 lên lớp nhôm AA1050, có kích thước hình học giống như lớp nhôm AA1050;
- Lớp thép CT.3 có chiều dày $\delta_2 = 35\text{mm}$, chiều rộng $B_2 = 220\text{mm}$, chiều dài $L_2 = 600\text{mm}$;
- Lớp bìa các tông để định dạng thuốc nổ có kích thước chiều rộng bằng chiều rộng tấm nhôm (B_1), còn chiều dài (L_2)

lấy tăng lên so với chiều dài lớp nhôm (L_1) để tạo hình phần thuốc nổ phụ kích hoạt toàn bộ thuốc nổ rải theo toàn bộ bề mặt paket nổ: $L_3 = L_1 + 200\text{mm} = 820\text{mm}$;

Sử dụng thuốc nổ amônit AD1, nitrat amôny (NH_4NO_3) làm chất phụ gia và kíp nổ điện do Việt Nam tự sản xuất. Để nổ được làm bằng cốt bê tông trong vỏ thép các bon hàn và đặt trên nền đất cứng có lớp cát trung gian dày 500mm.

Các thí nghiệm hàn nổ được thực hiện theo quy hoạch thực nghiệm trực giao kiểu 3 thông số đầu vào khảo sát ở 3 mức ($N = 3^3 = 27$) theo phương pháp đăng tải trong công trình [6]. Ở đây chọn bộ thông số hàn nổ chính gồm:

1) $r = m_{\text{tn}}/m_1 = \rho_0 \cdot H / \rho_1 \delta_1$, xác định áp lực và năng lượng nổ tạo và đập khi hàn nổ (m_{tn} - khối lượng thuốc nổ, m_1 - khối lượng tấm kim loại hàn (tấm trên), ρ_0 và ρ_1 - mật độ thuốc nổ và tấm kim loại hàn tương ứng, H và δ_1 - chiều dày thuốc nổ và tấm kim loại hàn tương ứng);

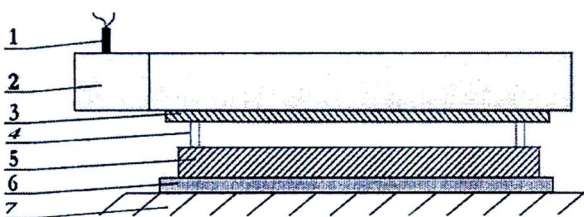
2) $h = h_0 / \delta_1$, xác định khoảng cách và đập cần điều chỉnh, trong đó: h_0 - khe hở ban đầu giữa tấm kim loại hàn và tấm kim loại nền (tấm dưới);

3) $C = m_{\text{AD1}}/m_{\text{tn}}$ - Hàm lượng thuốc nổ amônit AD1 trong hỗn hợp với nitrat amôny (NH_4NO_3), quy định tốc độ nổ thực tế của thuốc nổ hỗn hợp tương ứng với 27 nút quy hoạch thực nghiệm. Các thông số này được chọn ở 3 mức nhỏ nhất tương ứng với mã số "0"; mức trung bình tương ứng với mã số "1"; mức cao nhất tương ứng với mã số "2" và ta có điều kiện thí nghiệm được cho trong bảng 1 [6].

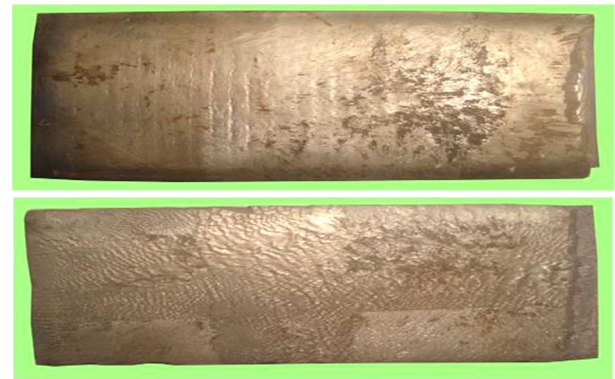
Bảng 1. Ký hiệu các thông số công nghệ hàn nổ chính và điều kiện quy hoạch thực nghiệm điều chỉnh công nghệ kiểu 3 mức $N = 3^3$

Thứ tự	Thông số công nghệ được khảo sát	Ký hiệu	Mức điều chỉnh			Khoảng điều chỉnh
			0	1	2	
1	Thông số không đơn vị thứ 1 (1)	X_1	1,5	1,6	1,7	0,10
2	Thông số không đơn vị thứ 2 (h)	X_2	0,7	0,85	1,0	0,15
3	Thông số không đơn vị thứ 3 (C)	X_3	0,8	0,9	1,0	0,10

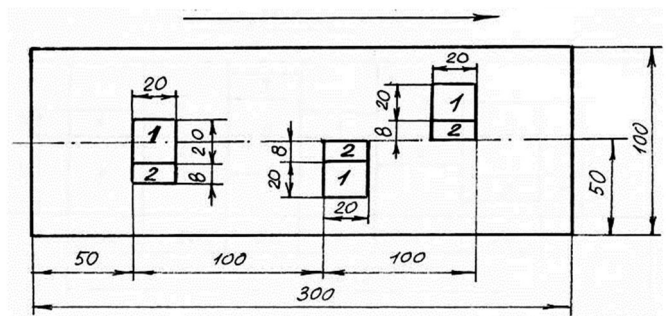
Từ các mẫu vật liệu composit nhận được sau hàn nổ (hình 2 a) đã cắt lấy mẫu thử phá hủy xác định độ bền bám dính giữa 2 lớp thép CT.3 và lớp nhôm AA1083 (1) và mẫu nghiên cứu khảo sát tổ chức tế vi biên giới (2) tại các vị trí khác nhau (hình 2b).



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hàn nổ vật liệu composit thép - hợp kim nhôm độ bền cao: 1) Kíp nổ điện; 2) Phần thuốc nổ AD1 để kích nổ khối thuốc nổ chính rải trên bề mặt tấm kim loại hàn (tấm trên); 3) Tấm kim loại hàn nhôm AA1050 (AA5083); 4) Chốt kê; 5) Tấm thép CT.3 cố định; 6) Tấm lót đàn hồi; 7) Đỉnh nổ



a)
Hướng nổ



b)

Hình 2. Mẫu vật liệu trimetal thép CT.3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 sau hàn nổ (a); Sơ đồ vị trí lấy mẫu xác định độ bền bám dính hai lớp thép - hợp kim nhôm (1) và mẫu khảo sát đặc tính tổ chức tế vi trên biên giới các lớp (2) ở phần giữa tấm composit (b)

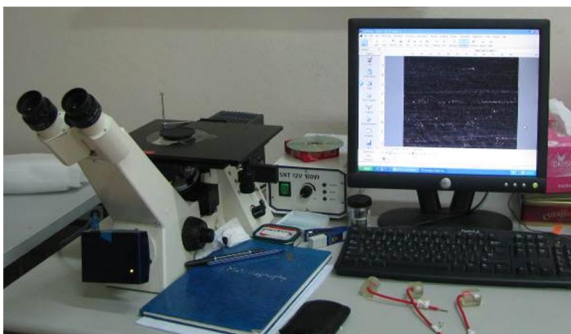
Chất lượng vật liệu composit 3 lớp thép - hợp kim nhôm độ bền cao sau hàn nổ được xác định bởi các tiêu chí cơ bản như:

1) Độ bền cơ học của liên kết kim loại hàn nổ giữa các lớp thép - nhôm, nhôm - hợp kim nhôm độ bền cao có thể đánh giá qua độ bền kéo đứt khi thử phá hủy mẫu với lực kéo tác dụng vuông góc với bề mặt liên kết 2 lớp kim loại hàn nổ, hoặc độ bền kéo trượt khi thử phá hủy mẫu với lực kéo tác dụng song song với bề mặt liên kết 2 lớp kim loại hàn nổ. Ảnh hưởng của bộ thông số hàn nổ (r, h, C) đến độ bền bám dính hai lớp thép - hợp kim nhôm độ bền cao đã được đề cập đến một số kết quả thực nghiệm điển hình trong bài báo [3] và một số công bố khác về mô hình hóa toán học và đồ thị 3D mô tả sự ảnh hưởng đồng thời của các thông số hàn nổ đến chất lượng vật liệu hợp kim nhiều lớp tại các diễn đàn hội nghị khoa học trong và ngoài nước khác. Vì vậy, với mục tiêu bài báo này là giới thiệu kết quả nghiên cứu lớp cấu trúc màng mỏng và liên kim loại tại vùng biên giới liên kết hai lớp thép - hợp kim nhôm hàn nổ, nên không đi sâu phân tích ở tiêu chí này;

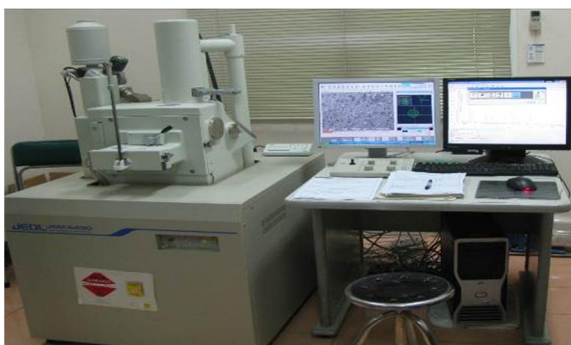
2) Đặc tính tổ chức tế vi vật liệu tại các tiểu vùng cấu trúc trên biên giới liên kết và lân cận biên giới hai lớp thép CT.3 - nhôm AA1050 và nhôm AA1050 - hợp kim nhôm độ bền cao AA5083, khảo sát bằng phương pháp hiển vi quang học và phân tích SEM-EDX. Trong bài báo [3] đã đề cập một vài ảnh hưởng tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết hai lớp

nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 và thép - nhôm AA1050. Chi tiết hơn về kết quả nghiên cứu chụp ảnh tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa các lớp kim loại hàn nổ tại các nút quy hoạch thực nghiệm điển hình có thể tìm hiểu trong công trình [5]. Ở đây đề cập giới hạn chuyên sâu hơn về một số kết quả nghiên cứu đặc điểm một số tiểu vùng cấu trúc liên kim loại trên biên giới hai lớp thép CT.3 - nhôm AA1050 bằng phương pháp SEM-EDX trên thiết bị hiện có tại Viện Khoa học vật liệu thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (hình 3). Mẫu thí nghiệm chọn ở các vị trí có ký hiệu (2) trên hình 2b.

Để làm sáng tỏ hơn khi đánh giá chất lượng tổng hợp vật liệu composit thép CT.3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083, ứng dụng cho hàn kết cấu thép với hợp kim nhôm độ bền cao, đã thực hiện thí nghiệm nghiên cứu xác định thành phần hóa học của các tiểu vùng cấu trúc trên biên giới liên kết kim loại giữa 3 lớp vật liệu ở trạng thái sau hàn nổ. Trước hết, tiến hành khảo sát và chụp ảnh tổ chức tế vi bằng kính hiển vi quang học với độ phóng đại x200 hoặc cao hơn (hình 3a) để xác định sự xuất hiện của các khuyết tật như lớp màng mỏng hợp chất hoặc tiểu vùng cấu trúc liên kim loại hàn nổ (có thể là hệ liên kim hệ Fe - Al). Tiếp đó, mẫu thí nghiệm được chuyển sang máy phân tích SEM-EDX JEOL JSM-6490 để chụp ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) để xác định các tiểu vùng cấu trúc đặc biệt trên biên giới liên kết 3 lớp kim loại hàn nổ. Bằng cách phân tích rơnghen - quang phổ (EDX) xác định được hàm lượng của các nguyên tố tại các tiểu vùng cấu trúc đặc trưng của vật liệu được lựa chọn khảo sát.



a)



b)

Hình 3. Kính hiển vi quang học Axiovert 40 MAT (a) và máy phân tích SEM-EDX JEOLJSM-6490 (b) sử dụng cho thí nghiệm (Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam)

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Để dễ nhận thấy một cách trực quan ảnh hưởng của các chế độ nổ với 3 mức 3 yếu tố công nghệ đầu vào được khảo sát (r, h, C) đến độ bền bám dính ($\sigma_{b,d}$) giữa hai lớp thép CT.3 và hợp kim nhôm (AA1050+AA5083) trên 27 mẫu vật liệu composit 3 lớp thép CT.3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 ở trạng thái sau hàn nổ cho trên hình 4 [3]. Kết quả khảo sát đặc tính tổ chức tế vi vùng biên giới liên kết giữa các lớp kim loại hàn nổ bằng phương pháp hiển vi quang học cho trên hình 5 [4]. Có thể nêu khái quát như sau:

+ **Nhóm mẫu 1:** gồm các mẫu số 1 ÷ 5, hàn nổ với các thông số: $r = 1,6 \div 1,7$; $h = 0,7 \div 1,0$; $C = 0,8 \div 0,9$; tốc độ nổ $D_1 = v_{k1} = 2.904,7 \div 3.419,3\text{m/s}$; tốc độ va đập $v_{p1} = 905,4 \div 1.160,725\text{m/s}$; áp suất va đập $p_{k1} \approx 2,336 \div 3,474\text{GPa}$; năng lượng va đập $W_{p1} \approx 116,827 \div 173,72\text{MJ/m}^2$. Độ bền bám dính 2 lớp $\sigma_{b,d}$ nhận được có giá trị bằng $\sigma_{b,d} = 65,979 \div 86,288\text{MPa}$;

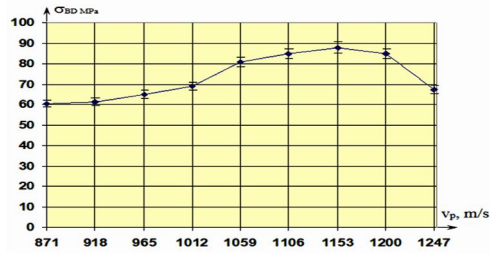
+ **Nhóm mẫu 2:** gồm các mẫu số 6 ÷ 8, hàn nổ với $h = 0,7 \div 1,0$, còn hai thông số khác chọn cố định ở mức $r = 1,5$ và $C = 1,0$. Tốc độ nổ $D_2 = v_{k2} = 3.869,1\text{m/s}$; tốc độ va đập $v_{p2} = 1.160,725\text{m/s}$; áp suất va đập $p_{k2} \approx 3,839\text{GPa}$; năng lượng va đập $W_{p1} \approx 191,987\text{MJ/m}^2$. Độ bền bám dính 2 lớp $\sigma_{b,d}$ đạt giá trị cao khá cao ($\sigma_{b,d} = 60,449 \div 87,878\text{MPa}$);

+ **Nhóm mẫu 3:** gồm các mẫu số 9 ÷ 11, hàn nổ với thông số: $r = 1,6$; $C = 1,0$ và $h = 0,7 \div 1,0$. Tốc độ nổ $D_3 = v_{k3} = 3.869,1\text{m/s}$; tốc độ va đập $v_{p3} = 1.206,075\text{m/s}$; áp suất va đập $p_{k3} \approx 4,145\text{GPa}$; năng lượng va đập $W_{p1} \approx 207,283\text{MJ/m}^2$. Độ bền bám dính 2 lớp ($\sigma_{b,d}$) có giá trị cao ($\sigma_{b,d} = 61,479 \div 84,817\text{MPa}$);

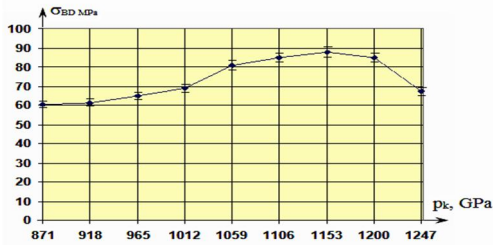
+ **Nhóm mẫu 4:** gồm các mẫu số 12 ÷ 14, hàn nổ với các thông số: $r = 1,7$; $C = 1,0$ và $h = 7 \div 1,0$, khi đó tốc độ nổ $D_4 = v_{k2} = 3.869,1\text{m/s}$; tốc độ va đập $v_{p4} = 1.249,372\text{m/s}$; áp suất va đập $p_{k4} \approx 4,448\text{GPa}$ và năng lượng va đập $W_{p4} \approx 222,432\text{MJ/m}^2$ (Độ bền bám dính 2 lớp đạt được giá trị cao ($\sigma_{b,d} = 64,999 \div 84,817\text{MPa}$)).

Độ bền bám dính 2 lớp $\sigma_{b,d}$ của 3 nhóm mẫu thí nghiệm nói trên đều có xu hướng tăng tỷ lệ thuận cùng chiều tăng của các thông số nổ r, h và C . Tuy nhiên, ở một số thí nghiệm còn lại (mẫu số 7 ÷ 9; 16 ÷ 18; 26 ÷ 27) có hiện tượng ngược lại là $\sigma_{b,d}$ giảm nhẹ cùng chiều tăng của r (hình 4). Nguyên nhân giải thích cho điều này có thể là do ảnh hưởng của đặc tính cấu trúc vật liệu mối hàn đến $\sigma_{b,d}$. Minh chứng rõ nhất cho luận điểm này là do đặc tính tổ chức tế vi vật liệu mối hàn được khảo sát trên biên giới liên kết các lớp ở trạng thái sau hàn nổ quy định (hình 5) [4].

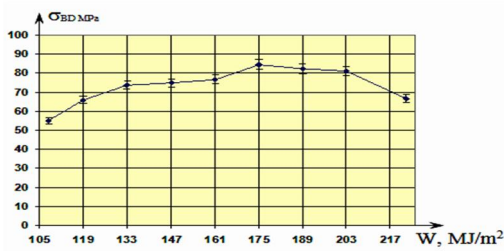
Để làm rõ hơn nhận xét trên, đã tiến hành phân tích EDX nhận được trên một số mẫu vật liệu composit thép CT.3 - hợp kim nhôm (AA1050+AA5083) điển hình có các tiểu vùng cấu trúc tạp chất hoặc liên kim loại trong mối hàn, cũng như các lớp vật liệu thép CT.3, nhôm AA1050 và hợp kim nhôm độ bền cao AA5083. Kết quả thí nghiệm cho trên các hình 6 ÷ 9.



a)



b)



c)

Hình 4. Độ bền kéo đứt hai lớp thép CT.3 - hợp kim nhôm (AA1050+AA5083) sau hàn nổ [3]: a) $\sigma_{b,d} = f(v_p)$; b) $\sigma_{b,d} = f(p_k)$; c) $\sigma_{b,d} = f(W_p)$



a) Al - (Al-Mg), x200 (Mẫu số 20)



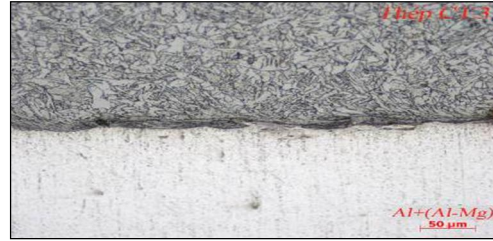
b) Al - (Al-Mg), x200 (Mẫu số 12)



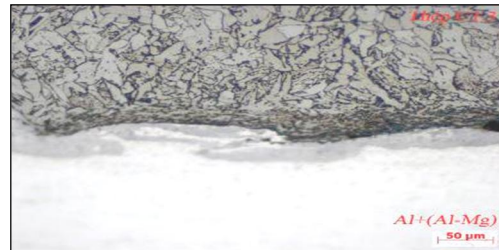
c) Al - (Al-Mg), x200 (Mẫu số 24)



d) Fe - Al, x100 (Mẫu số 06) $\sigma_{b,d} = 61,4793\text{MPa}$

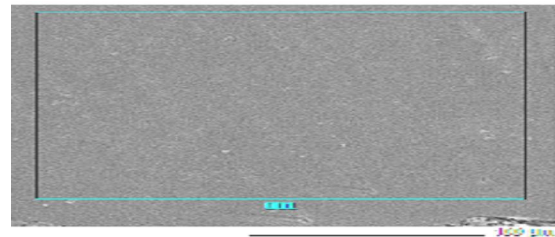


e) Fe - Al, x200 (Mẫu số 12) $\sigma_{b,d} = 77,9895\text{MPa}$

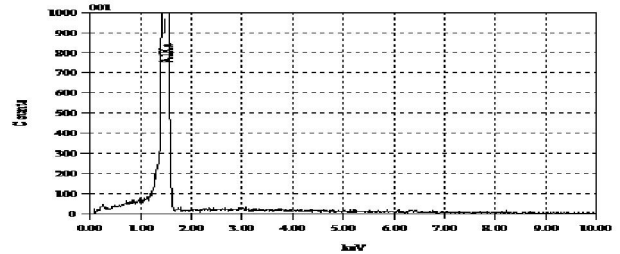


f) Fe - Al, x200 (Mẫu số 24) $\sigma_{b,d} = 84,8173\text{MPa}$

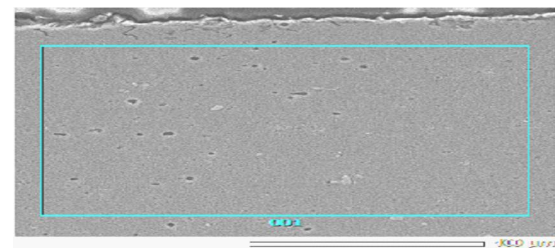
Hình 5. Tổ chức tế vi biên giới 2 lớp nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 (a, b, c); thép CT.3 - nhôm AA1050 (d, e, f) sau hàn nổ [4]



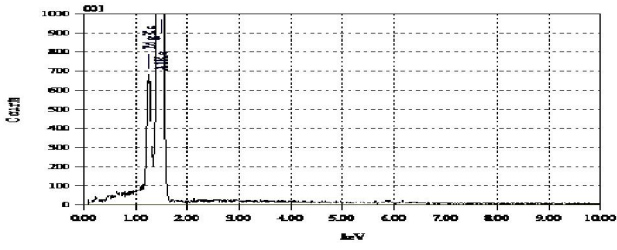
a)



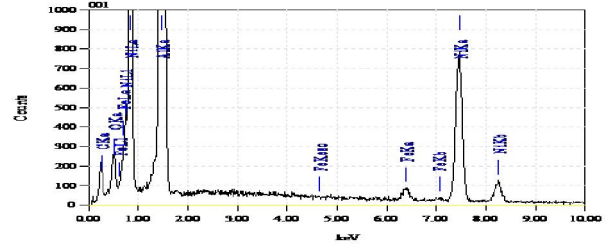
b)



c)

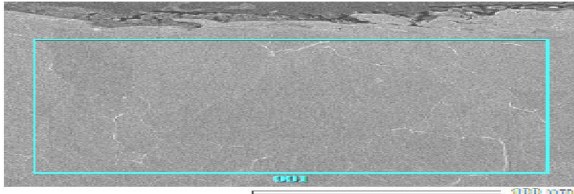


d)

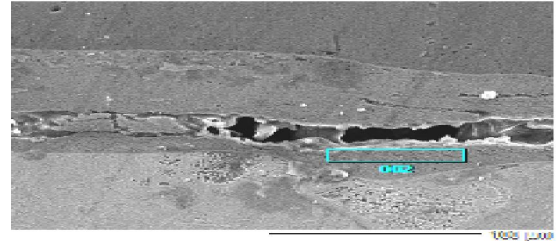


b)

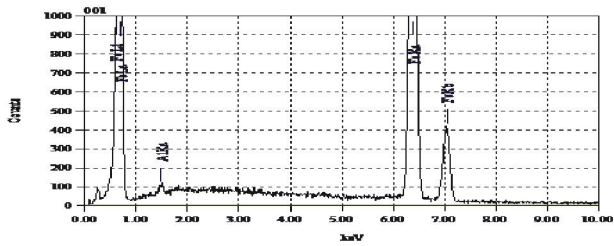
Hình 6. Kết quả phân tích EDX lớp nhôm AA1050 trên mẫu vật liệu composit M1 sau hàn nối: a, b) Tại vị trí 001 có 100% Al; c, d) Tại vị trí 003 có 100%Al



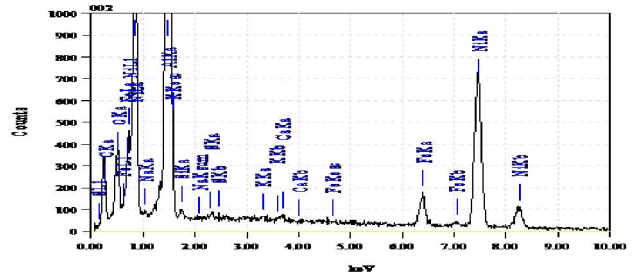
a)



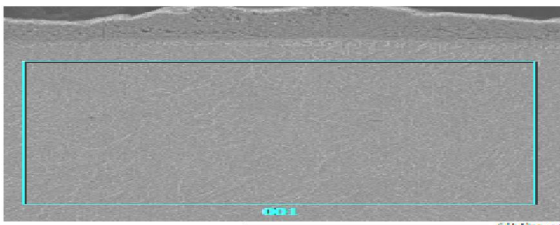
c)



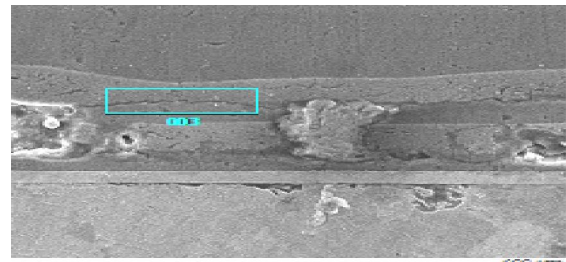
b)



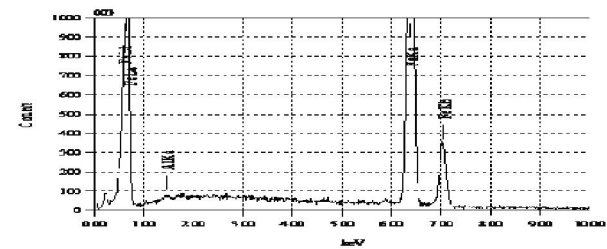
d)



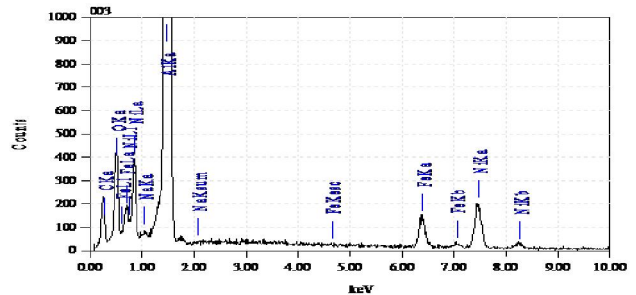
c)



e)

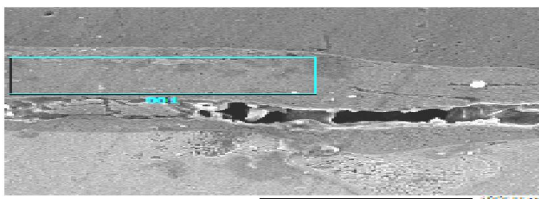


d)



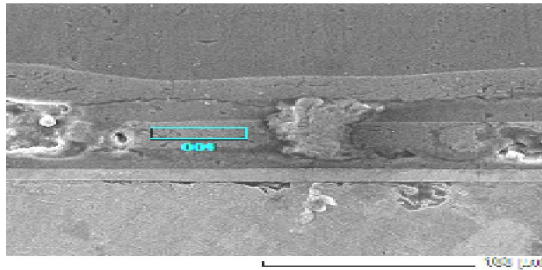
f)

Hình 7. Kết quả phân tích EDX lớp thép CT.3 trên mẫu vật liệu composit M1 sau hàn nối: a, b) Tại vị trí 002 có 99,69%Fe + 0,31%Al; c, d) Tại vị trí 003 có 99,53%Fe + 0,47%Al

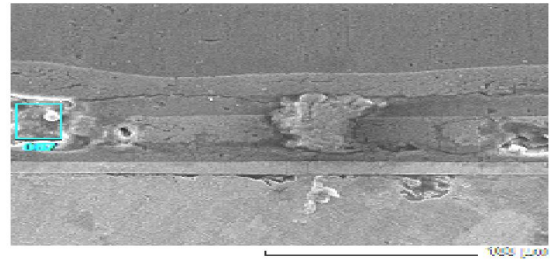


a)

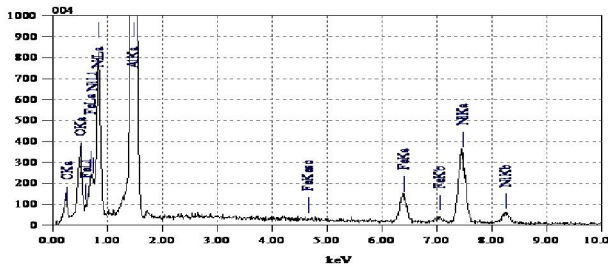
Hình 8. Ảnh tổ chức tế vi tại biên giới 2 lớp thép CT.3 và nhôm AA1050 trên mẫu vật liệu composit thép - nhôm - hợp kim nhôm độ bền cao (a,c,e) và kết quả phân tích EDX tại các tiểu vùng cấu trúc đặc trưng được khảo sát (b,d,f): 1) Tiểu vùng 001: 8,02%C; 4,22%O; 58,67%Al; 1,36%Fe; 27,74%Ni; 2) Tiểu vùng 002: 10,9%C; 6,46%O; 0,14%Na; 52,35%Al; 0,16%Si; 0,16%S; 0,12%K; 0,14%Ca; 3,01%Fe; 26,55%Ni; 3) Tiểu vùng 003: 9,21%C; 10,97%O; 0,21%Na; 66,18%Al; 4,08%Fe; 9,35%Ni



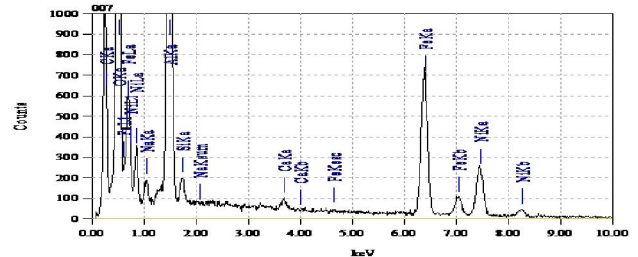
a)



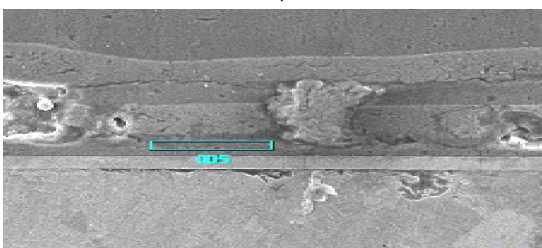
g)



b)



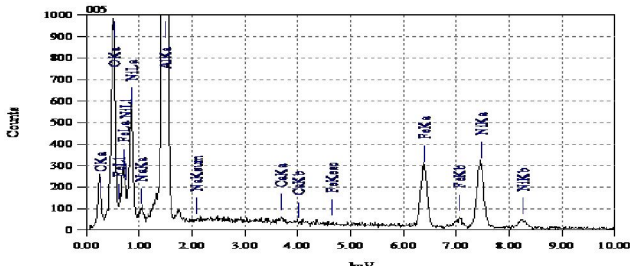
h)



c)

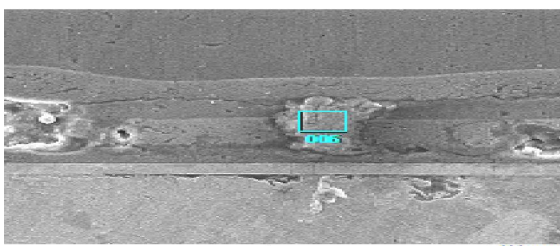
Hình 9. Ảnh hiển vi điện tử chụp lớp màng mỏng trên biên giới 2 lớp thép CT.3 và nhôm AA1050 (a-g); Kết quả phân tích EDX tại vùng khảo sát (b-h): Vùng cục bộ số 004 có 5,12%C; 8,69%O; 62,07%Al; 4,61%Fe; 19,51%Ni; Vùng cục bộ số 005 có 7,17%C; 20,12%O; 0,66%Na; 48,43%Al; 0,27%Ca; 8,95%Fe; 14,41%Ni; Vùng cục bộ 006 có 10,73%C; 40,0%O; 1,02%Na; 0,59%Al; 0,24%Si; 0,27%Cl; 0,12%K; 0,15%Ca; 0,21%Cr; 44,49%Fe; 2,19%Ni; Vùng cục bộ số 007 có 15,73%C; 37,06%O; 1,08%Na; 23,54%Al; 0,58%Si; 0,33% Ca; 14,21%Fe; 7,46%Ni

Phân tích kết quả trên các hình 6 ÷ 9, cho thấy:



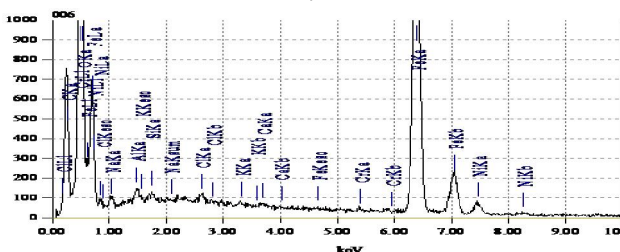
d)

1) Các tiểu vùng cấu trúc vật liệu trên mẫu thí nghiệm có ký hiệu M1 được khảo sát ở ba vị trí số 001; 002 và 003 gần biên giới liên kết hai lớp nhôm AA1050 - AA5083 có hàm lượng nhôm tính theo khối lượng đều đạt 100%Al (hình 6, a-d). Các tiểu vùng cấu trúc vật liệu lớp thép được khảo sát gần biên giới liên kết hai lớp thép CT.3 - nhôm AA1050 có hàm lượng sắt và nhôm tính theo khối lượng đạt 99,4%Fe + 0,6%Al (vị trí 001); 99,69%Fe + 0,31%Al (vị trí 002: hình 7a, b) và 99,53%Fe + 0,47%Al (vị trí 003: hình 7c, d) tương ứng. Đặc điểm của lớp hợp kim nhôm độ bền cao khảo sát tại ba tiểu vùng cấu trúc khác nhau trên mẫu thí nghiệm M1 có hàm lượng nhôm và magiê trong hợp kim AA5083 tương ứng đạt 95,02%Mg + 4,98%Al (vị trí 001); 95,01%Mg + 4,95%Al (vị trí 002) và 95,23%Mg + 4,77%Al (vị trí 003);



e)

2) Mẫu vật liệu composit sau hàn nổ ký hiệu M2 cũng được khảo sát tại ba vị trí số 001; 002 và 003 gần biên giới liên kết hai lớp nhôm AA1050 - AA5083 đều có hàm lượng nhôm tính theo khối lượng đạt 100%Al tương tự như mẫu M1 ở trên. Các tiểu vùng cấu trúc vật liệu lớp thép được khảo sát gần biên giới liên kết hai lớp thép CT.3 - nhôm AA1050 có hàm lượng sắt và nhôm tính theo khối lượng đạt 99,3%Fe + 0,7%Al (vị trí 001); 99,53%Fe + 0,47%Al (vị trí 002) và 99,78%Fe + 0,22%Al (vị trí 003) tương ứng. Lớp hợp kim nhôm độ bền cao AA5083 khảo sát tại ba tiểu vùng cấu trúc khác nhau trên mẫu thí nghiệm M2 có hàm lượng nhôm và magiê tương ứng đạt 97,05%Mg + 2,95%Al (vị trí 001); 97,02%Mg + 2,98%Al (vị trí 002) và 97,0%Mg + 3,0%Al (vị trí 003);



f)

3) Mẫu vật liệu composit thép CT.3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 (ký hiệu M3) nhận được theo quy hoạch thực nghiệm ở một chế độ điển hình với đặc tính có nhiều tiểu vùng cấu trúc trên và lân cận biên giới liên kết giữa ba lớp kim loại hàn nỏ (các hình 8a-f và hình a-h). Bề mặt của lớp thép trước khi hàn nỏ được phủ một lớp niken trung gian có chiều dày $\approx 100\mu\text{m}$.

4. KẾT LUẬN

Đối chiếu với kết quả đánh giá ảnh hưởng của bộ thông số r , h , C đến độ bền bám dính hai lớp thép CT.3 - hợp kim nhôm (AA1050+AA5083) [3] và tổ chức tế vi mỗi hàn khảo sát trên kính hiển vi quang học [4] với kết quả nghiên cứu trong công trình này cho thấy:

1) Đặc điểm tổ chức tế vi kim loại tại vùng biên giới hàn nỏ giữa các lớp nhôm AA1050 - thép CT.3, AA1050 - AA5083 là một tiêu chí đánh giá chất lượng vật liệu qua việc xác định hình thái và hiện trạng cấu trúc các lớp vật liệu sau hàn nỏ ở dạng "liên kết kim loại sạch" chiếm phần lớn, đảm bảo độ bền bám dính ($\sigma_{b,d}$) giữa các lớp cao nhất. Sự có mặt của một số đoạn khuyết tật cục bộ với tỷ lệ lớn sẽ gây ảnh hưởng xấu tới chất lượng vật liệu composit, nhưng do đặc thù của công nghệ hàn nỏ mà trong sản xuất công nghiệp người ta cho phép sử dụng các tấm vật liệu composit lớp và vật liệu bimetal có số lượng các khuyết tật cục bộ đó ở một mức độ tới hạn nào đó tùy thuộc vào mục đích sử dụng và điều kiện tải trọng làm việc của chúng;

2) Kết quả nghiên cứu khảo sát tổ chức tế vi tại vùng biên giới liên kết hai lớp AA1050 - thép CT.3, nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 trên các mẫu thí nghiệm điển hình nhận được trong công trình này đã chứng tỏ đảm bảo yêu cầu về tính chất mối hàn đảm bảo độ bền bám dính giữa chúng khá cao. Mặc dù trên biên giới liên kết giữa lớp thép CT.3 với lớp nhôm AA1050 có một số đoạn màng mỏng hợp chất hoặc liên kim loại hệ Fe - Al cục bộ với kích thước hình học nhỏ hơn rất nhiều so với diện tích trên toàn bộ bề mặt mẫu khảo sát, nên không làm suy giảm độ bền bám dính giữa các lớp kim loại hàn nỏ;

3) Nếu lớp thép CT3 trước khi hàn nỏ với các lớp nhôm AA1050 và hợp kim nhôm AA5083 được phủ một lớp niken trung gian nhằm hạn chế sự hình thành các liên kim loại hệ Fe - Al cục bộ thường có tính giòn ở trạng thái sau hàn nỏ thì sẽ đảm bảo nâng cao độ bền liên kết giữa chúng. Về vấn đề này nhóm nghiên cứu sẽ đề cập trong một bài báo khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lương Văn Tiến, Nguyễn Văn Tuấn, Hà Minh Hùng, 2013. *Nghiên cứu đặc tính cấu trúc vùng biên giới thép - nhôm và nhôm - hợp kim nhôm của vật liệu trimetal hàn nỏ*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số T9/2013, trang 96-106.
- [2]. Hà Minh Hùng, 2012. *Nghiên cứu chế tạo vật liệu hai lớp chịu mòn thép 08Kn - hợp kim nhôm hệ Al-Sn-Cu dùng làm bạc trượt động cơ ô tô công suất vừa và nhỏ*. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ Công Thương, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.
- [3]. Hà Minh Hùng, Vũ Trung Tuyền, Lương Văn Tiến, Đỗ Minh Chiến, Hoàng Minh Thuận, Lê Văn Lợi, 2019. *Ứng dụng hàn nỏ chế tạo vật liệu trimetal thép CT3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 dùng cho hàn kết cấu tàu thủy ở Việt Nam*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số T9/2019, tr. 52-59.
- [4]. Hà Minh Hùng, Vũ Trung Tuyền, Lương Văn Tiến, Đỗ Minh Chiến, Hoàng Minh Thuận, Lê Văn Lợi, 2019. *Đặc tính tổ chức tế vi biên giới liên kết các lớp vật liệu trimetal thép CT3 - nhôm AA1050 - hợp kim nhôm AA5083 hàn nỏ ở Việt Nam*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số T10/2019, tr.;
- [5]. Lương Văn Tiến, 2012. *Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu trimetal thép - nhôm - hợp kim nhôm dùng trong công nghiệp đóng tàu*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Nghiên cứu Cơ khí, Hà Nội.
- [6]. Ha Minh Hung, Orlov M.I., 1993. *Development of a mathematical model of the explosion welding process of antifriction sheets steel + bronze, steel + aluminum alloys*. Iron and Steel, No. 5, University Bulletin, Moscow.

AUTHORS INFORMATION

**Ha Minh Hung^{1,2}, Dao Duy Trung², Vu Trung Tuyen²,
Do Minh Chien³, Hoang Minh Thuan³, Le Van Loi³**

¹Institute of Development, Advanced Technology (IDAT)

²National Research Institute of Mechanical Engineering (NARIME)

³Constructional and Industrial College (CIC)