

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC ĐIỀU KIỆN HÀN NỔ ĐẾN ĐỘ BỀN LIÊN KẾT NHÔM VỚI THÉP

RESEARCH ON INFLUENCE OF EXPLOSIVE WELDING CONDITIONS ON BOND STRENGTH OF ALUMINUM – STEEL JOINT

Mai Quốc Trường¹, Nguyễn Ngọc Hưng^{1, *}, Nguyễn Việt Anh²

¹Tổng Công ty Ba Son, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

²Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm ảnh hưởng của các điều kiện hàn nổ đến độ bền liên kết giữa hai lớp nhôm với thép. Độ bền liên kết giữa hai lớp vật liệu nhôm – thép sau khi hàn nổ không chỉ phụ thuộc vào giá trị năng lượng va đập dưới tác động của năng lượng nổ, mà còn phụ thuộc vào tỷ số h/H giữa chiều dày tấm kim loại hàn (nhôm ở phía trên) và tấm kim loại nền (thép ở phía dưới). Sự hình thành liên kết bền vững giữa lớp nhôm và lớp thép chỉ khi đảm bảo được năng lượng va đập $W_2 < 1,2 \text{ MJ/m}^2$ và tỷ số $h/H < 0,20$.

Từ khóa: Hàn nổ; Composite kim loại dạng lớp; Liên kết hàn nổ; Tấm kim loại bay.

ABSTRACT

This article investigated the influence of explosive welding conditions on bonding strength between aluminum and steel. It has been determined that the bonding strength of explosive-welded aluminum-steel joint depends not only on the energy of the metal plastic deformation, but also on the running phase of the flyer metal plate (ratio h/H). The research results show that to obtain a high bonding strength between aluminum and steel, the energy of metal plastic deformation $W_2 < 1.2 \text{ MJ/m}^2$ and the ratio $h/H < 0.20$ are required.

Keywords: Explosive welding; Layered metal composite; Explosive-welded joint; Welding metal plate.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các loại vật liệu bimetal và composite kim loại đa lớp ngày càng được ứng dụng phổ biến để chế tạo các sản phẩm trong chế tạo máy, đóng tàu, năng lượng điện, khai thác và chế biến dầu khí, công nghiệp khai thác mỏ và luyện kim, công nghiệp hoá chất..., làm việc trong điều kiện ăn mòn hoá học cao, trong đó có cả sản phẩm quốc phòng. Công nghệ hàn nỏ cho phép chế tạo các loại tấm bimetal và composite kích thước lớn (tới 30-40m²), hiệu quả cao với chi phí thấp [1] ÷ [4].

Nhôm và thép là cặp kim loại khó hàn với nhau nhất, thậm chí bằng công nghệ hàn nỏ do giữa nhôm và sắt hình thành các liên kim loại giòn làm giảm độ bền liên kết hàn [6], [8], [9]. Ngoài ra, nhôm và thép có các tính chất cơ học và tính chất nhiệt rất khác nhau nên cần vận tốc va đập và tiếp xúc lớn khi hàn nỏ, nhưng khi các giá trị vận tốc này lớn, đặc biệt vận tốc tiếp xúc, sẽ dẫn đến khả năng hình thành số lượng lớn các liên kim loại giòn tại biên giới liên kết [4], [5].

Các kết quả nghiên cứu về trạng thái ứng suất trong kim loại ở điều kiện hàn nỏ thấy rằng khi kim loại nhôm là tấm kim loại bay thì

tại biên giới va đập giữa nhôm và thép luôn luôn tồn tại ứng suất kéo [1, 6]. Độ bền liên kết giữa nhôm và thép thu được sau hàn nỏ phụ thuộc vào giá trị ứng suất kéo này. Chính vì vậy cần phải lựa chọn được các điều kiện hàn nỏ (tham số động học hàn nỏ và năng lượng biến dạng dẻo kim loại) phù hợp để giảm ảnh hưởng của ứng suất kéo đến sự hình thành liên kết nhôm với thép.

Trong bài báo này đưa ra một số kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng các tham số động học và năng lượng đến độ bền liên kết giữa nhôm và thép sau hàn nỏ.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để nghiên cứu ảnh hưởng các tham số động học và năng lượng biến dạng dẻo kim loại đến độ bền liên kết giữa nhôm và thép, đã tiến hành một số thực nghiệm hàn nỏ với các tham số được đưa ra trong bảng 1. Sử dụng sơ đồ hàn nỏ dạng song song (hình 1). Tấm kim loại nền là tấm thép 09Г2С kích thước 20x150x350mm, tấm kim loại nhôm AA1050 là tấm kim loại bay có kích thước 8x210x480mm. Sử dụng hỗn hợp thuốc nỏ amôni nitrat NH₄NO₃ + TNT với hàm lượng 6% TNT về khối lượng.

Bảng 1. Điều kiện thí nghiệm hàn nỏ nhôm với thép.

STT	Khe hàn hở h, mm	Chiều cao khối thuốc nỏ H, mm	Vận tốc tiếp xúc V _c , m/s	Tỷ lệ h/H	Vận tốc va đập V _p , m/s	Năng lượng biến dạng dẻo W ₂ , MJ/m ²
№1.1	3	20	1970	0,15	418	0.928
№1.2	5			0,25	446	1.058
№1.3	7			0,35	459	1,121
№2.1	3	30	2186	0,10	534	1.210
№2.2	5			0,167	584	1.741
№2.3	7			0,23	610	1.903

Các tham số động học (vận tốc va đập, vận tốc tiếp xúc) và tham số năng lượng ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất liên kết hàn nổ [1]. Giá trị vận tốc va đập V_p được xác định theo mô hình bay một chiều và tính theo công thức sau [1, 4]:

$$V_p = D \left[1 - \theta_h - \frac{(1 - \theta_h)^2}{2\theta_h \eta_1} \right] \quad (1.1)$$

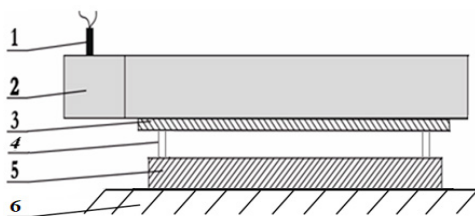
$$\theta_h = \frac{1 - \sqrt{\frac{h}{H} \left[2\eta_1 + (1 + 2\eta_1) \frac{h}{H} \right]}}{1 - (1 + 2\eta_1) \frac{h}{H}} \quad (1.2)$$

$$\eta_1 = \frac{16\rho_e H}{27\rho_1 \delta_1} \quad (1.3)$$

Trong đó: D , ρ_e – Tốc độ nổ ($D = V_c$ đối với sơ đồ nổ dạng song song); h – Khoảng cách hàn nổ; H – Chiều cao và khối lượng riêng của thuốc nổ; ρ_1 , ρ_2 , δ_1 , δ_2 – Khối lượng riêng và chiều dày tấm kim loại bay và kim loại nền. C_o – Vận tốc âm trong kim loại.

Giá trị năng lượng biến dạng dẻo kim loại khi hàn nổ được tính theo công thức sau [1]:

$$W_2 = \frac{\rho_1 \cdot \delta_1 \cdot \rho_2 \cdot \delta_2}{2(\rho_1 \cdot \delta_1 + \rho_2 \cdot \delta_2)} \cdot V_p^2 \cdot \left[1 - \frac{V_c^2}{C_o^2} \right] \quad (1.4)$$



Hình 1. Sơ đồ hàn nổ song song hai lớp: 1 – Kíp nổ; 2 – Khối thuốc nổ; 3 – Tấm kim loại bay; 4 – Miếng kim loại cố định khe hàn giữa hai tấm kim loại; 5 – Tấm kim loại cố định; 6 – Đế nổ

Liên kết giữa hai lớp hàn nổ nhôm – thép được thử nghiệm xác định độ bền kéo đứt và độ bền cắt trượt giữa hai lớp bởi các công thức sau [1]:

$$R = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad (1.5)$$

Trong đó: P – Lực tác dụng, N; d – Đường kính trong của mẫu thử, mm; D – Đường kính ngoài của mẫu thử, mm.

Độ bền cắt đứt lớp được xác định theo công thức sau [1]:

$$\tau = \frac{P_{cat}}{a \cdot b} \quad (1.6)$$

Trong đó: P_{cat} – Lực tác dụng; a – Chiều rộng của mẫu; b – Chiều dài vùng liên kết hàn.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các kết quả thử nghiệm bền kéo đứt (R) và kéo trượt (τ) giữa hai lớp liên kết hàn nổ giữa nhôm và thép cho trong bảng 2. Từ kết quả này thấy rằng khi tăng giá trị W_2 từ 0,928 MJ/m² đến 1.741 MJ/m² nhưng tỷ số h/H thấp ($h/H < 0,20$), độ bền kéo đứt và kéo trượt giữa hai lớp nhôm và thép có giá trị cao, đạt 100 ÷ 138MPa và 62 ÷ 69MPa tương ứng.

Khi hàn nổ với giá trị của năng lượng va đập W_2 thấp ($W_2 = 1,121$ MJ/m² và tỷ số h/H cao ($h/H = 0,35$), nhận được mẫu thí nghiệm số №1.3. Trong trường hợp khi $W_2 = 1.903$ MJ/m² cao (mẫu thí nghiệm số №1.3) và tỷ số h/H thấp ($h/H = 0,23$). Kết quả thực nghiệm cho thấy, độ bền kéo đứt và kéo trượt giữa hai lớp nhôm và thép chỉ đạt 83 ÷ 88 MPa và 50 ÷ 51 MPa. Như vậy, độ bền kéo đứt và kéo trượt giữa hai lớp nhôm và thép không những phụ thuộc vào giá trị năng lượng va đập khi hàn nổ W_2 mà còn phụ thuộc vào tỷ số h/H . Để nhận được liên kết

bền giữa nhôm và thép có chất lượng tốt thì cần phải đảm bảo điều kiện hàn nỏ với $W_2 < 1,2$ MJ/m² và tỷ số $h/H < 0,2 \div 0,25$. Khi đó có thể

giảm ảnh hưởng của sóng phản xạ đi đến đường liên kết hàn từ bề mặt tự do các tấm kim loại rất đáng kể.

Bảng 2. Độ bền liên kết nhôm với thép.

STT	Tỷ lệ h/H	Vận tốc va đập V_p , m/s	Năng lượng va đập W_2 , MJ/m ²	Độ bền kéo đứt lớp, R, MPa	Độ bền kéo trượt, τ , MPa
№1.1	0,15	418	0.928	138	69
№1.2	0,25	446	1.058	130	65
№1.3	0,35	459	1,121	83	50
№2.1	0,10	534	1.210	104	62
№2.2	0,167	584	1.741	100	61
№2.3	0,23	610	1.903	88	51

Kết quả chụp kim tương học đường liên kết hàn giữa nhôm và thép được đưa ra trong các hình 2 và hình 3. Nhận thấy rằng đường liên kết giữa nhôm và thép không có hình dạng sóng đặc trưng cho quá trình hàn nỏ [6], [9].

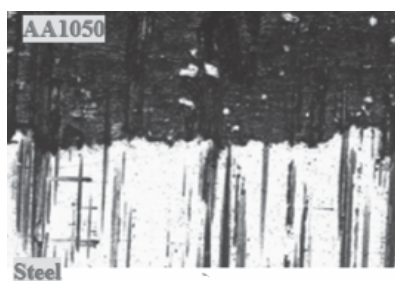
Trên cơ sở kết quả nghiên cứu này đã lựa chọn điều kiện hàn nỏ ($W_2 = 1,175$ MJ/m², $h/H = 0,12$) để chế tạo tấm vật liệu bimetal hai lớp nhôm-thép kích thước lớn đến 2200mm (hình 4).

Sau khi hàn nỏ tiến hành cắt mẫu để thử nghiệm cơ tính. Vị trí lấy mẫu dọc theo chiều dài của tấm bimetal nhôm-thép, theo hướng di chuyển của mặt đầu nỏ để đánh giá sự thay đổi

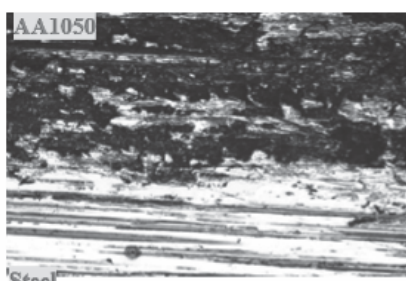
tính chất cơ học của liên kết hàn theo chiều dài tấm bimetal. Kết quả kiểm tra cho thấy, độ bền kéo đứt lớp và cắt đứt lớp giữa nhôm và thép tương ứng đạt $107 \div 142$ MPa và $62 \div 66$ MPa (bảng 3). Khi đó, độ bền liên kết tại vị trí đầu tấm vật liệu bimetal đạt giá trị lớn nhất và giảm dần theo chiều dài tấm composite. Kết quả phân tích kim tương học liên kết hàn giữa nhôm và thép thấy rằng cấu trúc đường liên kết hàn giữa nhôm và thép không có sự thay đổi theo chiều dài tấm kim loại, đặc biệt không thấy kim loại nóng chảy và các pha liên kim loại (hình 5). Điều này được khẳng định bằng kết quả xác định độ bền kéo đứt lớp và độ bền cắt đứt lớp (bảng 3).

Bảng 3. Độ bền liên kết hai lớp hàn nỏ nhôm – thép theo chiều dài tấm bimetal

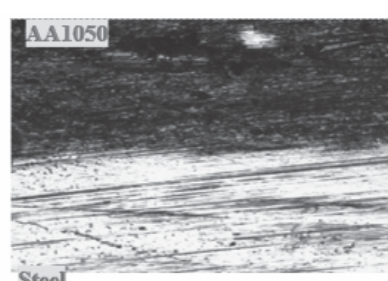
Tên mẫu	M1.1	M1.2	M1.3	M1.4	M1.5	M1.6	M1.7	M1.8	M1.9
Vị trí cắt mẫu	L= 200mm	L= 400mm	L= 600mm	L= 900mm	L= 1100mm	L= 1300mm	L= 1600mm	L= 1800mm	L= 2000mm
Độ bền kéo đứt lớp, MPa	132	142	136	118	107	112	110	117	114
Độ bền cắt đứt lớp, MPa	63	66	63	64	62	62	62	63	62



a)



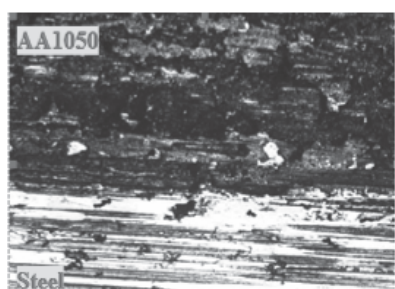
b)



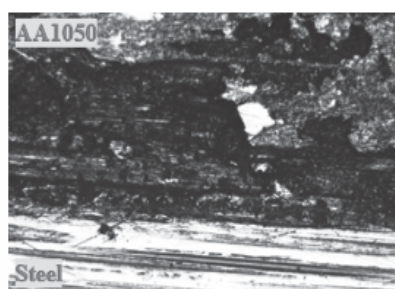
c)

Hình 2. Tổ chức tế vi ($\times 50$) đường liên kết hàn nổ nhôm-thép khi với $H = 20$ mm:

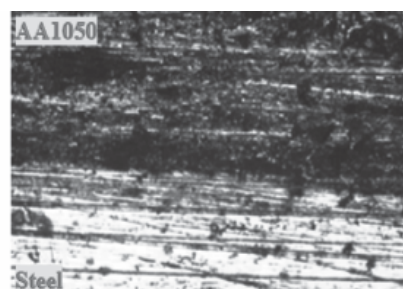
a – Khi $h = 3$ mm; b – Khi $h = 5$ mm; c – Khi $h = 7$ mm.



a)



b)



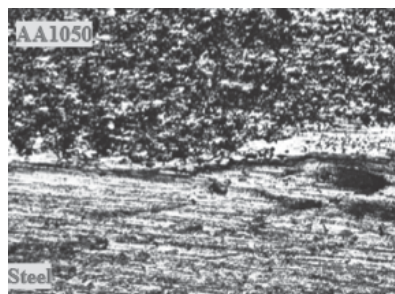
c)

Hình 3. Tổ chức tế vi ($\times 50$) đường liên kết hàn nổ nhôm-thép khi với $H = 30$ mm: a – Khi $h = 3$ mm;

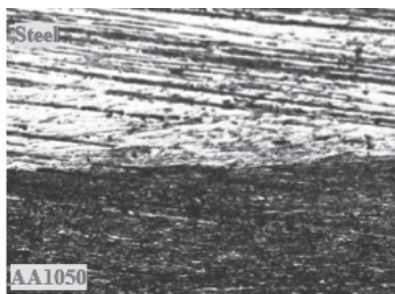
b – Khi $h = 5$ mm; c – Khi $h = 7$ mm.



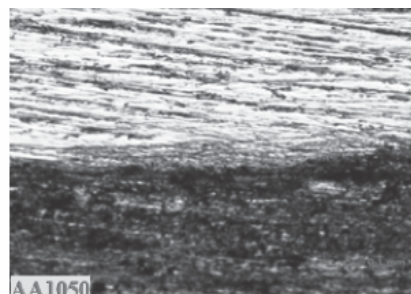
Hình 4. Hàn nổ chế tạo tấm vật liệu bimetal dạng lớp nhôm-thép kích thước lớn



a)



b)



c)

Hình 5. Tổ chức tế vi ($\times 50$) biên giới liên kết hàn nổ giữa nhôm và thép tính từ mép đầu tấm bimetal theo hướng di chuyển mặt đầu nổ: a – $L = 200$ mm; b – $L = 1200$ mm; c – $L = 1800$ mm.



4. KẾT LUẬN

- Đã xác định được ảnh hưởng điều kiện hàn nổ gồm: Năng lượng biến va đập W_2 và tỷ số chiều dày tấm kim loại hàn (tấm trên bằng nhôm – h) và tấm kim loại nền (tấm dưới bằng thép – H) có ảnh hưởng đồng thời và rất đáng kể đến độ bền liên kết giữa hai lớp sau khi hàn nổ;

- Để nhận được liên kết hàn nổ tấm vật liệu composite dạng lớp nhôm – thép kích thước lớn ứng dụng cho ngành công nghiệp đóng tàu có chất lượng tốt giữa hai lớp cần phải đảm bảo điều kiện năng lượng va đập ở mức $W_2 < 1,2 \text{ MJ/m}^2$ và tỷ số $h/H < 0,2 \div 0,25$.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ tài chính của Văn phòng các Chương trình Khoa học và Công nghệ quốc gia và Vụ Hợp tác quốc tế, Bộ Khoa học và Công nghệ trong khuôn khổ Nhiệm vụ hợp tác quốc tế theo Nghị định thư, mã số NĐT.20.RU/16.❖

Ngày nhận bài: **23/11/2023**

Ngày phản biện: **11/12/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Lysak, V.I., Kuzmin, S.V., 2005. *Explosive welding*. Mashinostroeniye –1, Moscow.
- [2]. Crossland B., *Explosive welding of metals and its application*, Clarendonpress, Oxford, 1982. 215 p.
- [3]. Lysak, V.I., Kuzmin, S.V., 2003. *Explosive Welding of Metal Layered Composite Materials*. E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev.
- [4]. Deribas, A.A., 1980. *Physics of Strengthening and of Explosive Welding*. Nauka, Novosibirsk.
- [5]. Dobrushin, L.D., 1979. On lower boundary in explosive welding. The Paton Welding Journal ,64–65.
- [6]. B. S. Zlobin. *Explosion welding of steel with aluminum*, Combustion, Explosion and Shock Waves, Vol. 38, No 3, (2002) 374-377.
- [7]. Robinson, J. L., 1975. *Mechanics of wave formation in impact welding*. Philosophical Magazine 31 (28): 587-597.
- [8]. V. Balasubramanian, M. Rathinasabapathi, K. Raghukandan. *Modelling of process parameters in explosive cladding of mildsteel and aluminium*. J Mater Process Technol 1997; 63(1–3):83–88.
- [9]. Acarer, B. Demir. *An investigation of mechanical and metallurgical properties of explosive welded aluminium-dual phase steel*, Mater lett, Vol. 62, No 25 (2008) 4158-4160.