

Research for the Development of Crack in Bimetal Al/Cu Sheet

Huu-Hai-Quan Nguyen^{*1}, Hung-Tra Tran², Thanh-Nhan Phan¹

¹Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

²Faculty of Civil Engineering, Nha Trang University, Vietnam

* Corresponding author. Email: nhhquan@gmail.com

ARTICLE INFO

Received: 8/3/2022
Revised: 17/3/2022
Accepted: 25/4/2022
Published: 28/4/2022

KEYWORDS

Cracks in Al/Cu (Cu/Al) bimetal sheets;
Bimetal Al/Cu (Cu/Al) sheet bonding;
Grain structure in Al/Cu (Cu/Al) bimetal sheets;
Friction stir welding;
Aluminium alloy.

ABSTRACT

At present, bonding two dissimilar metal materials is a major challenge for today's industries. Applying friction-stirring welding technology is also a feasibility study, but in order to evaluate the bond strength compared to the base material, it is necessary to survey, experiment, evaluate to find out the advantages and disadvantages of this method. In this paper, we only focus on studying the crack development based on force application. In which, this study uses force to make cracks form and develop differently. Specifically, the research focuses on the following contents: surveying the microstructure of the Al/Cu junction, investigating the crack growth. Through this study, we can see how the crack develops, the material of the junction, in addition to the results of the strength of the weld, so that it can be applied effectively, most in practice. When this research experiment performs the crack at different positions according to the standard, applying force to the weld immediately shows that the crack is likely to develop along with the interface between the two materials with the highest ratio and not branched. Thus, this study found that the weld with the higher breaking energy, the higher the bonding strength of the two materials.

Nghiên Cứu Sự Phát Triển Của Vết Nứt Trong Tấm Bimetal Nhôm A1050 Và Đồng C1100n

Nguyễn Hữu Hải Quan^{*1}, Trần Hưng Trà², Phan Thanh Nhân¹

¹Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

²Khoa Xây dựng, Trường ĐH Nha Trang, Việt Nam

* Tác giả liên hệ. Email: nhhquan@gmail.com

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 8/3/2022
Ngày hoàn thiện: 17/3/2022
Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2022
Ngày đăng: 28/4/2022

TỪ KHÓA

Vết nứt trong tấm bimetal Al/Cu (Cu/Al);
Liên kết tấm Bimetal Al/Cu (Cu/Al);
Cấu trúc hạt trong tấm bimetal Al/Cu (Cu/Al);
Hàn ma sát khuấy;
Hợp kim nhôm.

TÓM TẮT

Hiện nay, liên kết hai vật liệu kim loại khác nhau là một thách thức lớn đối với các ngành công nghiệp hiện nay. Áp dụng công nghệ hàn ma sát khuấy cũng là một nghiên cứu khả thi, nhưng để đánh giá được độ bền mối liên kết so với vật liệu nền thì cần phải khảo sát, thí nghiệm, đánh giá để tìm ra được ưu nhược điểm của nó. Trong bài báo này chỉ tập trung đi sâu về nghiên cứu sự phát triển của vết nứt dựa trên tác dụng lực. Trong đó nghiên cứu này sử dụng tác dụng lực làm vết nứt hình thành và phát triển khác nhau. Cụ thể nghiên cứu tập trung vào các nội dung như sau: khảo sát cấu trúc tế vi vùng tiếp giáp Al/Cu, khảo sát sự phát triển của vết nứt. Thông qua việc khảo sát nghiên cứu này cho thấy được sự phát triển vết nứt ra sao, vật liệu vùng tiếp giáp, ngoài ra sẽ có kết quả về độ bền của mối hàn như thế nào để có thể ứng dụng nó một cách hiệu quả nhất vào thực tiễn. Khi thí nghiệm nghiên cứu này tạo trước vết nứt ở các vị trí khác nhau theo tiêu chuẩn, tác dụng lực vào ngay mối hàn cho thấy khả năng vết nứt phát triển theo bề mặt tiếp giáp giữa 2 vật liệu có tỉ lệ cao nhất và không phân nhánh. Như vậy nghiên cứu này thấy rằng mối hàn nào có năng lượng phá hủy càng lớn thì độ liên kết vật liệu cao.

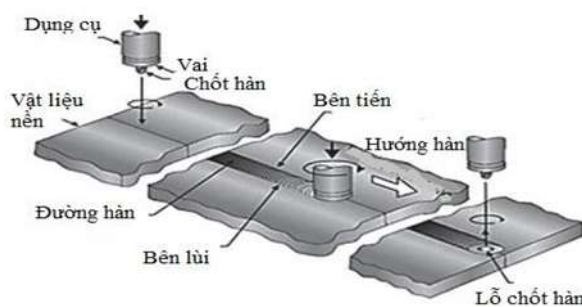
Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.69.2022.1152>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Đặt vấn đề

Tấm bimetal Al/Cu là một loại vật liệu composite, nó được sử dụng khá phổ biến trong các ngành công nghiệp, điển hình là sản xuất các loại linh kiện cho ngành điện như: bộ phận ngắt mạch nhỏ, chuyển tiếp contactor, cốt nối, chuyển mạch, và tản nhiệt ô tô, vv... Việc chế tạo tấm Bimetal Al/Cu cũng đang là vấn đề khá phức tạp cho các nhà sản xuất, với những phương pháp truyền thống như cán, đúc... chưa phải là phương pháp tối ưu nhất để đảm bảo vấn đề tiết kiệm nguồn nguyên vật liệu, vệ sinh môi trường... Bên cạnh đó cơ tính của mối liên kết cũng đang là vấn đề mà ngành khoa học vật liệu quan tâm. Phương pháp hàn ma sát khuấy ra đời không chỉ giải quyết vấn đề kinh tế, với những tính năng nổi trội như: Không cần vật liệu phụ, không gây ứng suất, biến dạng hàn quá lớn, không phát sinh các lỗi thường gặp ở những phương pháp hàn khác,...chính vì vậy nhiều năm gần đây có rất nhiều nghiên cứu về phương pháp hàn ma sát khuấy (FSW) này (**Hình 1**) [1].

Về cơ bản các nghiên cứu từ trước đến nay chỉ giải quyết được bài toán liên kết các vật liệu nền đồng nhất như “ Sự phát triển của vết nứt trong mối hàn ma sát hai siêu hợp kim M240 và INC78 trong điều kiện mỏi - dãn (Fatigue - Creep Test) ” của TS. Trần Hưng Trà, “Luận văn thạc sĩ của Thân Trọng Khánh Đạt, nghiên cứu sự ảnh hưởng góc nghiêng của đầu dụng cụ đến chất lượng mối hàn trên tấm nhôm phẳng, 2015”, “ Ứng dụng công nghệ hàn ma sát khuấy cho các kết cấu dạng tấm bằng hợp kim nhôm biên dạng ” của TS. Lưu Phương Minh. Việc liên kết hai kim loại có bản chất khác nhau nhờ công nghệ hàn ma sát khuấy chưa được nghiên cứu nhiều trong nước. Các vấn đề cấu trúc mối hàn, sự phát triển của vết nứt trong tấm bimetal Al/Cu ít thấy được công bố trên các bài báo trong nước, cũng như nước ngoài. Đây là các vấn đề rất mới mà các nhà khoa học đang quan tâm.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hàn FSW [1]

2. Vật liệu và thiết bị thí nghiệm

2.1. Hợp kim nhôm A1050

Nhôm A1050 là hợp kim nhôm phổ biến, có khả năng chống ăn mòn mạnh mẽ, độ dẻo cao, độ phân chiếu tốt. Cấu tạo vô cùng chắc chắn của Al và màu sắc trắng bạc rất bắt mắt, dễ nhận diện. Nhôm A1050 được ứng dụng trong các sản phẩm đòi hỏi độ dẻo tối đa và sức mạnh vừa phải với những kích thước khác nhau tùy thuộc vào nhu cầu sử dụng trong các lĩnh vực như dân dụng và công nghiệp, cơ khí.

Vật liệu được sử dụng trong đề tài nghiên cứu là tấm hợp kim nhôm phẳng A1050 có kích thước 300×100×5 mm.



Hình 2. Nhôm A1050

Bảng 1. Thành phần (%) của hợp kim nhôm A 1050 [2]

Thành phần	D% từ 0÷0.05%
Mg	0.05
Si	0.05
Fe	0.25
Mn	0.4
Zn	0.05

2.2. Đồng C1100

Đồng C1100 có tính dẫn điện và nhiệt rất tốt chỉ đứng sau Ag, với độ sạch 99,9% Cu ở trạng thái ủ, ở 200C điện trở suất $\rho = 1,7241\Omega.cm$, kéo giãn, chống rỉ sét và chống ăn mòn do thời tiết [2].

Vật liệu được sử dụng trong đề tài nghiên cứu là tấm đồng đỏ C1100 có kích thước 300×100×5 mm.



Hình 3. Đồng C1100

Bảng 2. Thành phần (%) của đồng đỏ C1100 [2]

Thành phần	%
Cu	99.9
Mg	0
Si	0
Fe	0
Mn	0
Zn	0
Ti	0
Khác	0.05÷0.1
Al	0

2.3. Thiết bị thí nghiệm

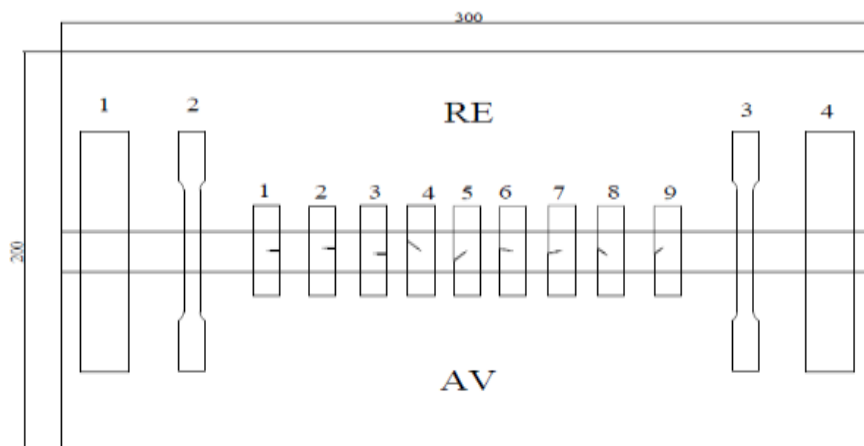
Bài báo đã sử dụng toàn bộ trang thiết bị máy móc hiện có ở xưởng thí nghiệm tại trường đại học Nha Trang. Thông qua việc đọc tài liệu và nhiều lần thực nghiệm, quá trình hàn ma sát khuấy liên kết giữa nhôm A1050 và đồng C1100 ta có được mối hàn. Chế độ hàn: Tốc độ quay của dụng cụ được chọn $\omega = 400$ và 700 vòng/phút và tốc độ tịnh tiến của chốt hàn sẽ được khảo sát $v = 100 \div 600$ mm/phút [3] [4] [5].



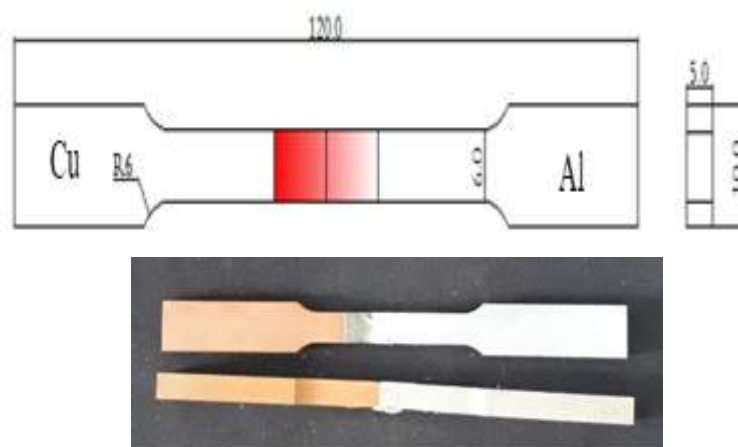
Hình 4. Tấm bimetal Cu/Al được chế tạo xong

2.4. Phương pháp xác định cơ tính

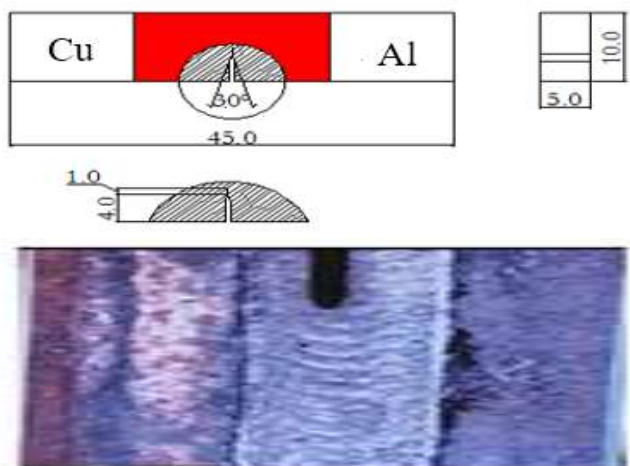
Thiết kế xong ta tiến hành cắt mẫu trên tấm bimetal Al/Cu bằng máy cắt dây CNC theo bản vẽ đã thiết kế trước đó, dung sai cho phép 0.05 mm [6] [7].



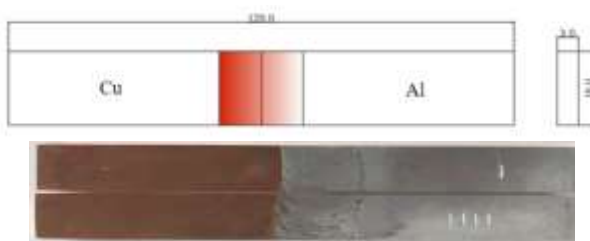
Hình 5. Phân bố vị trí cắt các mẫu thí nghiệm



Hình 6. Mẫu kéo theo tiêu chuẩn (ASTM E8)[6]



Hình 7. Mẫu uốn theo tiêu chuẩn (ASTM E1290) [7]



Hình 8. Mẫu soi cấu trúc theo tiêu chuẩn (ASTM E290)

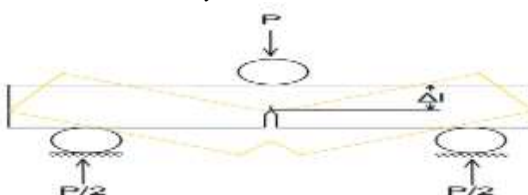
Sau khi cắt dây ta được mẫu thí nghiệm và thực hiện kéo, nén trên máy Instron – 3366.

Bảng 3. Thông số kỹ thuật máy kéo nén Instron – 3366

Hãng sản xuất	Instron – Mỹ
Thang đo lực	100:1
Độ chính xác	0,5%
Lực kéo tối đa	10 kN
Tốc độ kéo tối đa	500 mm/phút
Phần mềm điều khiển	Bluehill Lite (version 2.22)



Hình 9. Máy kéo nén Instron - 3366



Hình 10. Nguyên lý uốn 3 điểm[7]

2.5. Phương pháp xác định cấu trúc tế vi

Máy mài MA-PP-200M được sử dụng đánh bóng bề mặt mỗi hàn để kiểm tra ngoại quan chất lượng bề mặt của mỗi hàn sau đó, mẫu được làm sạch tạo ra bề mặt nhẵn bóng bằng các loại giấy nhám 600, 1000, 2000, 5000, và 7000.

Bảng 4. Bảng thông số máy mài MA-PP-200M

Hãng sản xuất	Moatech – Hàn Quốc
Năm sản xuất	2004
Đường kính đĩa	200, 250 mm
Tốc độ quay của trục	100÷1500 vòng/phút
Tốc độ quay của đĩa	30÷600 vòng/phút (có thể điều chỉnh)
Số đĩa	2

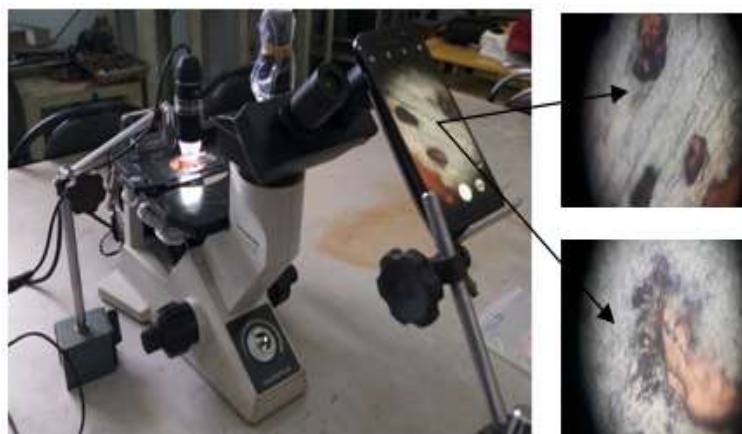
Để quan sát rõ hơn cấu trúc hạt vùng tiếp giáp, mẫu được tẩm thực bề mặt có 2 cách pha dung dịch tẩm thực bề mặt: Cách 1 ta chỉ sử dụng 50 ml dung dịch HCl pha với 100ml H₂O để tẩm thực bề mặt sau đó rửa lại với nước, cách 2 tẩm thực bề mặt bằng hỗn hợp dung dịch gồm HCl, HNO₃ và H₂O theo công thức: 2ml HF 48% + 3 ml HCl + 5 ml HNO₃ + 190 ml H₂O.

Để thấy rõ hơn các khuyết tật mỗi hàn, có thể quan sát trực tiếp qua camera có độ phóng đại 1000x và được kết nối với máy tính thông qua cổng USB.



Hình 11. Quan sát khuyết tật trên Camera (x1000)

Để quan sát cấu trúc tế vi của mỗi hàn sau khi tẩm thực, kính hiển vi Olympus-CK40M được sử dụng và được kết nối với điện thoại thông minh.



Hình 12. Tiến hành quan sát mỗi hàn trên kính hiển vi Olympus-CK40M

Bảng 5. Thông số kỹ thuật kính hiển vi CK40M

Hãng sản xuất	Olympus – Nhật
Độ phóng đại	100÷2400 lần
Hành trình bàn di chuyển	160×250 mm
Độ phóng đại của thị kính	10x, 20x, 30x
Độ phóng đại của vật kính	10x, 20x, 50x, 80x

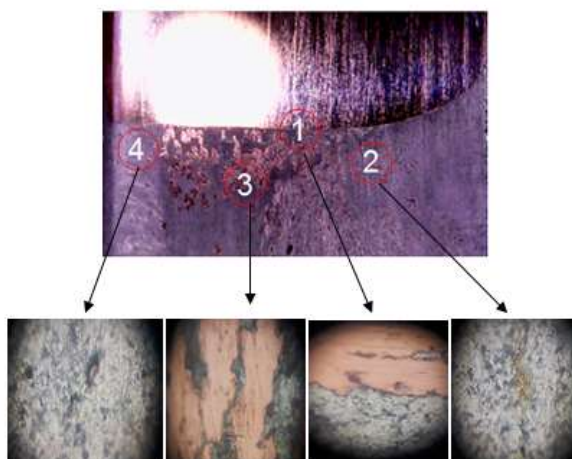
Thông qua màn hình điện thoại và máy tính, chúng ta có thể quan sát rõ ràng cấu trúc hạt của các vùng, kết quả cụ thể của 4 vùng khảo sát: vùng nền, vùng ảnh hưởng nhiệt, vùng ảnh hưởng cơ nhiệt và vùng khuấy.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Quan sát cấu trúc tế vi của mối hàn

Quan sát bề mặt cắt ngang

Để có thể hiểu rõ hơn về cấu trúc hạt nên ta chọn soi ở 4 vị trí khác nhau trên mối hàn để xem hạt phân bố có đều hay không và hạt thay đổi như thế nào. Mẫu được quan sát dưới camera x1000 và kính hiển vi chuyên dụng để quan sát vùng hàn [8].



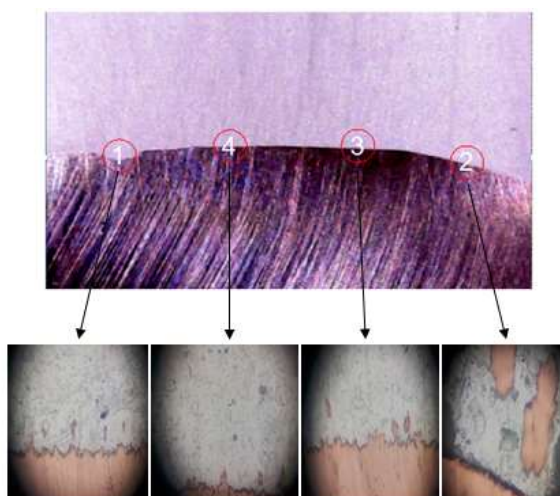
Hình 13. Quan sát vùng hàn bằng camera và kính hiển vi đối với mẫu 1

Mẫu 1: Qua quan sát dưới camera của kính hiển vi ta thấy tổng quan các hạt đồng khuếch tán sang nhôm nhiều nhưng vẫn không đồng đều. Quan sát dưới kính hiển vi tại vị trí thí 2 và 4 kích thước hạt của mẫu có kích thước hạt trong khoảng 42÷50 μm . (**Hình 13**)

Vị trí thứ 4 xuất hiện lỗ rỗng bên trong mối hàn (Tunnel defects) có các hạt đồng kích thước lớn hơn so với vị trí 2, vị trí thứ 2 xuất hiện vết cháy là vùng ảnh hưởng cơ nhiệt (TMAZ), vùng nằm phía dưới vai dụng cụ và bị biến dạng dẻo bởi nhiệt ma sát, tại vùng này bắt đầu có sự thay đổi rõ hơn về cấu trúc hạt so với vùng ảnh hưởng cơ nhiệt, kích thước hạt trong khoảng 26÷37 μm [8]. (**Hình 13**)

Vị trí 3 là vùng khuấy ta thấy đồng và nhôm khuếch tán vào nhau tương đối nhiều nơi mà vật liệu bị biến dạng dẻo mạnh nhất nên kích thước hạt cũng thay đổi rõ ràng nhất, nhưng kích thước hạt lớn hơn so với vị trí 2 kích thước hạt trong khoảng 70÷80 μm . (**Hình 13**)

Mẫu 4: Khi ta quan sát tổng quan ta thấy tại vị trí 1, 3 và 4 các hạt nhôm và đồng khuếch tán ít, các hạt đồng và nhôm ta thấy tương đối mịn kích thước hạt khoảng 20÷25 μm . Vị trí thứ 2 ta thấy hiện tượng đồng bị vón cục xen lẫn qua nhôm đây là vùng ảnh hưởng cơ nhiệt (TMAZ) kích thước hạt vẫn còn khá to kích thước khoảng 70÷80 μm [8]. (**Hình 14**)



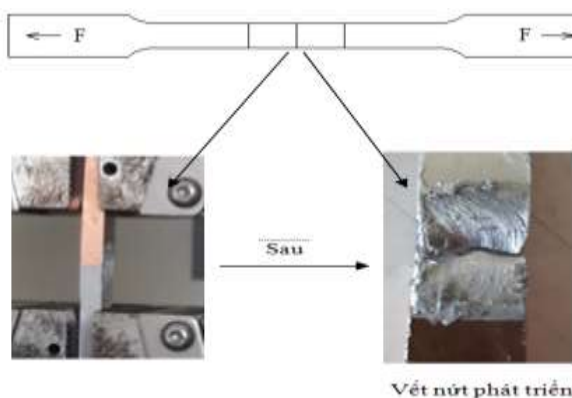
Hình 14. Quan sát vùng hàn bằng camera và kính hiển vi đối với mẫu 4

Kết luận chung:

Sự thay đổi cấu trúc hạt trong mối hàn là do sự phát triển và kết tinh của hạt trải qua quá trình chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, ma sát và khuếch tán của dụng cụ hàn. Sự thay đổi cấu trúc này có ý nghĩa quan trọng, ảnh hưởng đến sự phát triển vết nứt và mối liên kết của 2 vật liệu nhôm và đồng. Hạt càng mịn độ liên kết của mối hàn càng lớn, hạt càng lớn thì vết nứt dễ phát triển hơn. Để biết chính xác kích thước hạt như vậy ảnh hưởng như thế nào đến liên kết mối hàn của đồng và nhôm cần phải tiến hành thí nghiệm phát triển vết nứt, đây là hướng phát triển tiếp theo của bài báo.

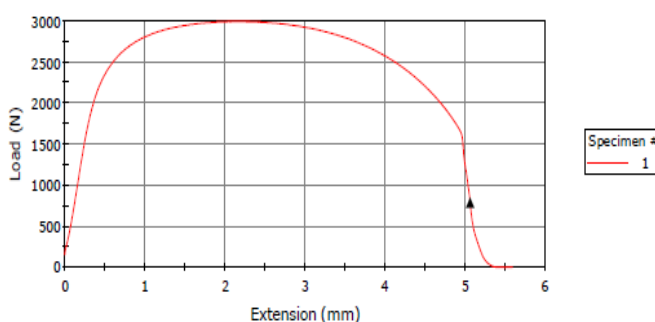
3.2. Khảo sát sự phát triển vết nứt theo các phương khác nhau

3.2.1. Tác dụng lực theo phương vuông góc với mối hàn



Hình 15. Mẫu trước và sau khi kéo [6] [9]

Specimen 1 to 1



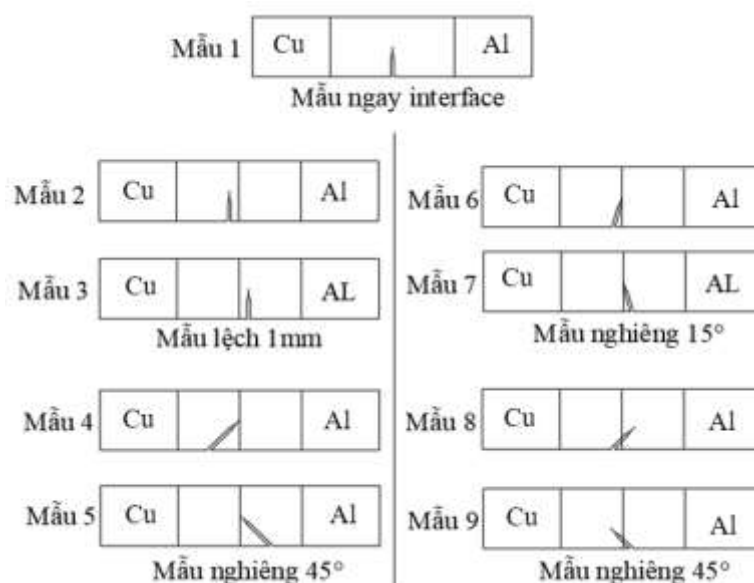
Hình 16. Biểu đồ ứng suất biến dạng

Nhận xét: Quan sát bằng camera x1000 ta thấy vết nứt sau 15 phút phát triển rõ hơn đồng định vết nứt của nhôm nhọn cho thấy vùng biến dạng dẻo nhỏ nên dễ bị hóa cứng, đỉnh vết nứt vẫn còn phát triển tiếp và nhanh hơn so với vết nứt có đỉnh tù.

Ở đây ta thấy độ giãn dài của nhôm là 9 mm so với đồng là như nhau nhưng lực chịu kéo của nhôm là 1250 N thấp hơn đồng là 2600 N. Khi bắt đầu biên độ lên cao đến 1050 N nhôm giãn dài ổn định cho đến điểm cao nhất 1250 N rồi mới đi xuống, tại đây mỗi hàn bắt đầu phát triển ổn định dần về sau, vết nứt không xảy ra đột ngột.

3.2.2. Tác dụng lực cùng phương với mối hàn

Để hiểu rõ hơn về vết nứt phát triển ra sao trong mối hàn của tấm bimetal Al/Cu ta tiến hành tạo các vết nứt ở các vị trí khác nhau để tạo điều kiện vết nứt phát triển ta tác dụng lực theo tiêu chuẩn ASTM E1290 [7] nhằm thúc đẩy quá trình phát triển nứt trên 9 mẫu rõ hơn giúp ta đưa ra được kết quả đánh giá nhanh hơn..



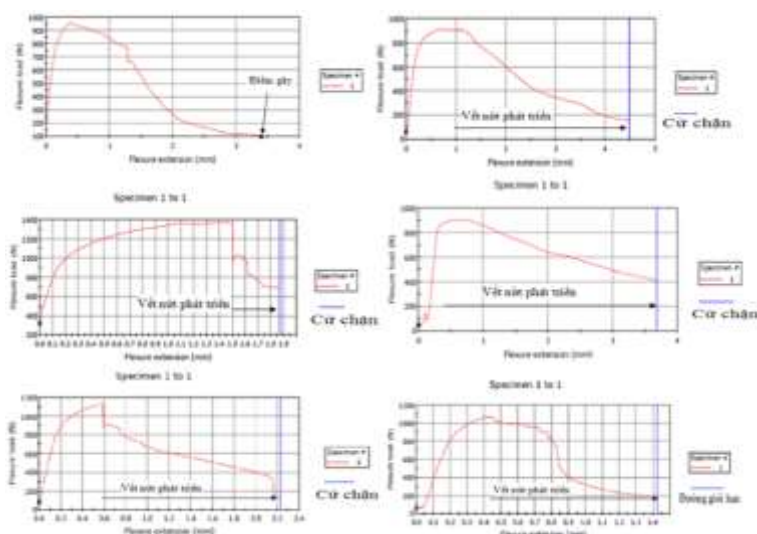
Hình 17. Các mẫu thí nghiệm uốn



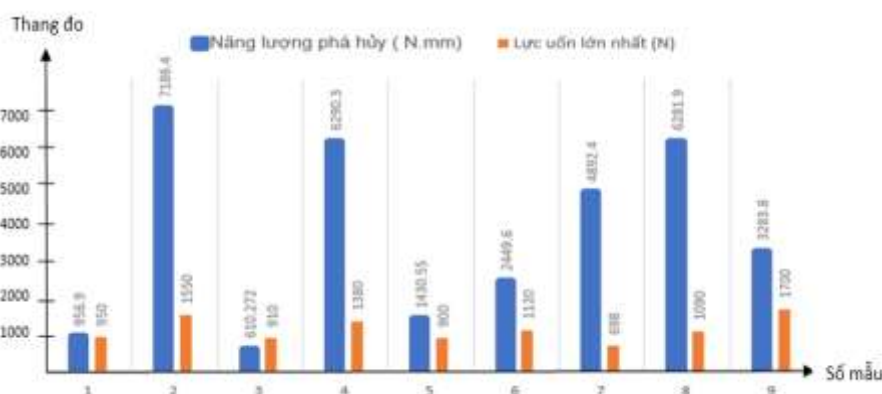
Hình 18. Một vài mẫu sau khi uốn

Sau khi thí nghiệm trên 9 mẫu (**Hình 17**) ta thu được kết quả sau:

Vùng diện tích (được giới hạn bởi đường biên độ lực tác dụng, đường giới hạn và đường thể hiện độ giãn dài) càng lớn thì năng lượng phá hủy càng lớn và lực uốn càng lớn thì mối hàn có liên kết càng ổn định.



Hình 19. Một số biểu đồ ứng suất của thí nghiệm phát triển vết nứt

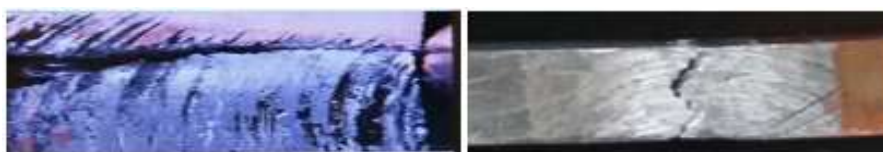


Hình 20. Biểu đồ so sánh tổng hợp kết quả của 9 mẫu

Ta thấy được ở đây năng lượng phá hủy của mẫu 2,4,8 là lớn hơn so với các mẫu còn lại. Như vậy đa phần vết nứt được tạo bên phía đồng sẽ có năng lượng phá hủy cao.

Mẫu 1,3,5 năng lượng phá hủy thấp nhất so với các mẫu còn lại vết nứt thường phát triển ngay interface hoặc lệch sang Al. Độ bền liên kết của mối hàn phụ thuộc vào vết nứt phát triển ở phía nào.

3.2.3. Phân tích bề mặt vết nứt



Hình 21. Bề mặt vết nứt

Khi quan sát ta thấy vết nứt phát triển nhanh tại bề mặt tiếp giáp của 2 vật liệu nhôm và đồng khi tác dụng lực tập trung ngay mối hàn. Nhưng khi ta tác dụng lực vuông góc so với mối hàn thì vết nứt diễn ra rất chậm cho thấy ứng suất được phân bố đều. Bề mặt vết nứt có các hình dạng zigzag, nhánh thẳng hoặc không rõ nhánh [10] [11].

Vết nứt xuất hiện tại interface của nhôm và đồng cho thấy mối liên kết chưa tốt do trong quá trình hàn làm ứng suất dư tại vùng khuấy lớn, các yếu tố như nhiệt độ làm thay đổi cơ tính, chế độ hàn không đúng. Vết nứt xuất hiện nhiều nhất tại vùng khuấy.

4. Kết luận

Trong bài báo này quá trình thực hiện khảo sát được thực hiện kỹ càng và theo tiêu chuẩn để đảm bảo tính chính xác của nghiên cứu. Xét về sự phát triển của vết nứt: So với mẫu nền ta vẫn thấy sự liên kết của 2 vật liệu đồng và nhôm vẫn chưa ổn định, mối hàn trong bài báo này liên kết còn yếu.

Mối hàn phải có năng lượng phá hủy càng lớn và lực uốn càng lớn thì mối hàn càng ổn định. Vết nứt phát triển chậm và không xảy ra đứt gãy đột ngột gây nguy hiểm cho việc sử dụng vào thực tiễn. Sự phát triển vết nứt phụ thuộc vào vị trí của vết nứt nằm ở vị trí nào thì sẽ có tốc độ lan truyền khác nhau mà cụ thể ở đây là vết nứt luôn xuất hiện bên phía nhôm và ngay interface. Cho dù nghiên cứu này đặt vết nứt lệch phía nào thì vết nứt vẫn phát triển sang nhôm hoặc ngay interface. Cho thấy yếu tố cơ tính của vật liệu cũng quyết định rất lớn về việc vết nứt phát triển nhanh hay chậm mà cụ thể ở đây là nhôm hợp kim A1050 khá mềm. Vết nứt phát triển ngay interface sẽ nhanh hơn ở các vị trí khác và cho thấy vết nứt xuất hiện ở đây là nguy hiểm nhất trong liên kết của 2 vật liệu.

Mẫu có lực uốn lớn nhưng năng lượng phá hủy chưa chắc đã lớn vì còn phụ thuộc vào độ biến dạng dẻo của vật liệu dễ làm vết nứt phát triển đột ngột gây đứt gãy. Sau nghiên cứu này có thể chuẩn đoán được việc vết nứt phát triển xảy ra như thế nào trong mối hàn để giúp cho việc tiến hành các nghiên cứu sau này được dễ dàng hơn tránh được các sự cố có thể xảy ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nidhi Sharma, Zahid A. Khan, Arshad Noor Siddiquee. Friction stir welding of aluminum to copper-An overview. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. Volume 27, Issue 10, 2017, Pages 2113-2136
- [2] <https://sites.google.com/site/truongvanhinhvatlieucokhi/tai-lieu-tham-khao/he-trung-hoc-chuyen-nghiep/kim-loai-mau-va-hop-kim-mau/dhong-va-hop-kim-dong/cac-dac-tinh-cua-dong-do>
- [3] <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/shopmanagement/an-introduction-to-friction-stir-welding>
- [4] Trần Hưng Trà, nghiên cứu ảnh hưởng của thông số hàn đến cơ tính của mối hàn ma sát khuấy của hợp kim nhôm A6063-T5. Đề tài nghiên cứu của Trường Đại học Nha Trang TP.HCM, 2016.
- [5] Thân Trọng Khánh Đạt, nghiên cứu sự ảnh hưởng của góc nghiêng đầu dụng cụ đến chất lượng mối hàn ma sát khuấy trên tấm nhôm phẳng. Đề tài luận văn Thạc sĩ, Đại học Bách Khoa TP.HCM, 2015.
- [6] Standard ASTM E8/E8M-13a. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. An American National Standard, 2013.
- [7] Standard ASTM E 1290-02 Test Method for Crack-Tip Opening Displacement (CTOD) Fracture Toughness Measurement.
- [8] "Development of grain structure during friction stir welding" (Scripta Materialia, Volume 51, Issue 3, August 2004, Pages 243-248) R.W.Fonda, J.F.Bingert, K.J.Colligan.
- [9] R. MuthuVaidyanathan, MahaboobPatel, N. SivaRaman, D. Tedwors. Study on the influence of parameters in the process of working with aluminum alloy sheet A6063, 2015. (International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, Volume-8 Issue-12, October, 2019)
- [10] <https://sites.google.com/site/truongvanhinhvatlieucokhi/home/bien-dang-va-co-tinh-cua-vat-lieu/pha-huy/pha-huy-trong-dieu-kien-tai-trong-tinh>
- [11] Nguyễn Tuấn Ngọc "Ứng dụng cơ học phá hủy trong kết cấu công trình (Fracture Mechanics)". Đề tài nghiên cứu thuộc Tổng công ty giao thông vận tải, 2013.



Nguyen Huu Hai Quan. is a student at Ho Chi Minh city University of Technology and Education, VietNam. Phone: 0907 370 860. Email: nhhquan@gmail.com



Tran Hung Tra. Received Ph.D. in Nagaoka University of Technology (Japan) in 2010. Currently, Head of Friction Welding Lab in Nha Trang University. Associate professor of Nha Trang University. Member of VASE (Vietnam Association of Science Editing). Email: tra@ntu.edu.vn



Phan Thanh Nhan. Received Ph.D. in Liberec University of Technology (Czech) in 2014. Currently, Lecture of Mechanical Engineering Faculty in HCMC University of Technology and Education. Email: phanpt@hcmute.edu.vn