

# ĐẶC ĐIỂM VẾT ĐỨT GÂY KHI KIỂM TRA BỀN KÉO LIÊN KẾT HÀN GIÁP MỐI GIỮA THÉP SS400 VÀ HỢP KIM NHÔM A5052 BẰNG QUÁ TRÌNH HÀN GMAW

FRACTURE CHARACTERISTICS DURING TENSILE TESTING DISSIMILAR BUTT-JOINT BETWEEN SS400 STEEL TO A5052 ALLOYS BY GMAW PROCESS

Nguyễn Quốc Mạnh

## TÓM TẮT

Phương pháp hàn hồ quang bằng điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ được sử dụng để hàn giáp mối hai vật liệu khác nhau là thép SS400 và hợp kim nhôm A5052 với dây hàn bù ER-4043. Độ bền kéo của liên kết hàn được kiểm tra bằng thiết bị kéo nén vạn năng, đặc điểm cấu trúc tế vi của vết đứt gãy sau khi kiểm tra độ bền kéo được khảo sát bằng phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM). Các kết quả kiểm tra độ bền kéo cho thấy vết đứt gãy xảy ra tại mối hàn khi độ bền kéo đạt giá trị cực đại ở 225,9MPa. Kết quả kiểm tra cấu trúc tế vi bề mặt vết đứt gãy cho thấy, ngoài tinh thể Al và Fe còn có sự xuất hiện của hai pha trung gian  $Al_3Fe$  và  $Al_3Fe_2$ .

**Từ khoá:** Quá trình hàn MIG, thép SS400, hợp kim nhôm A5052, dây hàn ER-4043, độ bền kéo.

## ABSTRACT

Gas metal arc welding (GMAW) was used to joint dissimilar between SS400 steel and A5052 alloy with ER-4043 welding wire. The specimen's tensile strength was tested by a universal testing machine, the characteristics of fracture after tensile strength testing were investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM). The tensile strength test shows that the fracture in the welding seam when the tensile strength reaches the maximum value at 225.9MPa. The results of the test show that not only Al and Fe crystal but also the  $Al_3Fe$  and  $Al_3Fe_2$  appeared.

**Keywords:** MIG process, SS400 steel, A5052 alloy, ER-4043 welding wire, tensile strength.

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Email: manhrobocon@gmail.com

Ngày nhận bài: 05/5/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2021

## 1. GIỚI THIỆU

Từ lâu, thép các bon được sử dụng khá phổ biến trong các ngành công nghiệp chế tạo các kết cấu vì giá thành của chúng rẻ, dễ tìm kiếm và không phải sử dụng các biện pháp gia công đặc biệt. Các hợp kim nhôm không chỉ có khối lượng nhẹ mà còn có rất nhiều ưu điểm như có độ dẻo, độ bền cao và có khả năng chống ăn mòn tốt [1, 2]. Những ngành sử dụng các kết cấu làm từ thép và hợp kim

nhôm nhiều có thể kể đến như: chế tạo kết cấu tàu thủy, chế tạo kết cấu xe hơi, chế tạo một số kết cấu của ngành hàng không - vũ trụ, khoa học kỹ thuật quốc phòng, công nghiệp thực phẩm hay ngành công nghiệp hoá dầu... Với mục tiêu giảm thiểu trọng lượng của các kết cấu khi vận hành tiến tới hạn chế mức độ tiêu thụ nhiên liệu của chúng, các nhà nghiên cứu luôn nghiên cứu để tìm ra các biện pháp kết hợp giữa thép với nhôm và mong muốn kết hợp được các lợi thế của hai vật liệu này [3, 4]. Tuy nhiên, do sự khác biệt rất lớn về tính chất lý - hoá - nhiệt cũng như đặc tính hàn của hai vật liệu này gây rất nhiều khó khăn cho quá trình hàn. Khó khăn lớn nhất khi hàn hai vật liệu này với nhau là sự hình thành lớp liên kim cứng và giòn tại khu vực mối hàn, lớp liên kim này là yếu tố gây bất lợi cho liên kết hàn giữa nhôm và thép khi chịu tải trọng, đặc biệt là tải trọng động. Theo các nghiên cứu [5-8], độ bền kéo của liên kết hàn giữa nhôm và thép luôn thấp hơn kim loại cơ bản, đây cũng là một trong những lý do khiến các nhà nghiên cứu tập trung nhiều hơn vào việc cải thiện chất lượng của liên kết hàn giữa hai vật liệu bằng các phương pháp hàn với các biện pháp công nghệ khác nhau. Mục đích của nghiên cứu này là kiểm tra độ bền kéo của liên kết và đánh giá cấu trúc bề mặt vết đứt gãy khi kiểm tra độ bền kéo liên kết hàn giữa thép SS400 với hợp kim nhôm A5052.

## 2. VẬT LIỆU VÀ TRÌNH TỰ THỰC HIỆN THÍ NGHIỆM

### 2.1. Vật liệu hàn

Bảng 1. Thành phần hoá học của thép SS400 (wt%)

C	Si	Mn	Al	Mg	Cu	P	Fe
0,16	0,16	0,67	-	-	-	0,014	Còn lại

Bảng 2. Thành phần hoá học của hợp kim nhôm A5052 (wt%)

Zn	Si	Mn	Cu	Mg	Cr	Fe	Al
0,01	0,10	0,03	0,02	2,46	0,15	0,24	Còn lại

Bảng 3. Thành phần hoá học của dây hàn ER-4043 (wt%)

Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Zn	Al
4,5-6,0	0,3	0,05	0,05	0,8	0,20	0,1	Còn lại

Bảng 4. Độ bền kéo của các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

Vật liệu	Thép SS400	Nhôm A5052	Dây hàn ER-4043
Độ bền kéo (MPa)	375	250	165

Toàn bộ vật liệu cơ bản được sử dụng trong nghiên cứu này là các tấm thép SS400 và hợp kim nhôm A5052 với chiều dày 5mm như nhau, dây hàn phụ được sử dụng trong nghiên cứu là ER-4043 với đường kính 0.8mm. Thành phần hoá học và độ bền kéo của các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này được giới thiệu trong các bảng 1 ÷ 4 [9-11].

**2.2. Trình tự thực hiện thí nghiệm**

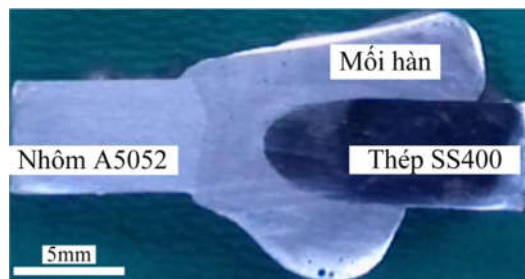
Hai vật liệu cơ bản sử dụng trong thí nghiệm được cắt theo kích thước quy định (dài x rộng) là 200mm x 70mm bằng máy cắt thủy lực, sau khi cắt xong, bề mặt của hai tấm được làm sạch bằng bàn chải sắt và đá mài giấy nhám. Do tấm thép có nhiệt độ nóng chảy cao hơn nhiều so với hợp kim nhôm A5052 và dây hàn ER-4043 nên nó được vát cạnh cùng cả hai phía giúp cho quá trình hình thành liên kết hàn được thuận lợi. Quá trình hàn sử dụng một nguồn hàn MIG/MAG xung, súng hàn được gắn trên đầu rùa chạy tự động để ổn định tốc độ hàn giữa các mẫu. Các thông số cơ bản của chế độ hàn được sử dụng như sau: cường độ dòng điện hàn 95A, vận tốc hàn 5mm/giây, điện áp hàn 17V, lưu lượng khí argon bảo vệ là 11 lít/phút (sử dụng cho cả hai phía), khoảng cách làm việc của đầu hàn là 9mm. Sau khi hàn thành công phía thứ nhất, các mẫu đảm bảo hình thức ngoại quan được làm nguội tự nhiên ngoài môi trường xuống khoảng 30°C sau đó mới tiến hành hàn phía đối diện. Sau khi hàn hoàn thành cả hai phía, các mẫu kiểm tra độ bền kéo liên kết hàn được cắt dây theo tiêu chuẩn ASTM E8. Sau khi kiểm tra độ bền kéo, bề mặt mẫu đại diện được lựa chọn để đánh giá và phân tích cấu trúc tế vi tại vị trí đứt gãy.

**3. MỘT SỐ KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

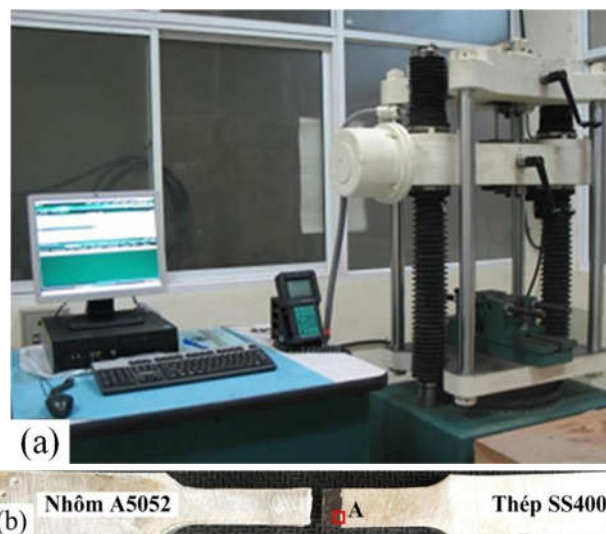
Hình 1 mô tả cấu trúc thô đại liên kết hàn giáp mối giữa thép SS400 và hợp kim nhôm A5052 bằng quá trình hàn ma sát khuấy. Quan sát cấu trúc thô đại ta có thể nhận thấy liên kết hàn được hình thành chủ yếu từ dây hàn phụ, phần còn lại là từ tấm hợp kim nhôm A5052, phía tấm thép SS400 không có sự nóng chảy và kim loại từ tấm thép không tham gia vào quá trình hình thành mối hàn như hợp kim nhôm A5052. Điều này theo báo cáo [7, 9] có thể được giải thích là do trong quá trình hàn giữa nhôm và thép, tâm hồ quang chủ yếu hướng về phía tấm nhôm nhiều hơn nhằm hạn chế nhiệt của quá trình hàn tập trung vào tấm thép nhằm hạn chế sự hình thành lớp liên kim cứng và giòn sẽ hình thành giữa bề mặt tấm thép và kim loại mối hàn. Trong quá trình hàn, tại khu vực liên kết các tinh thể nhôm từ kim loại mối hàn) và các tinh thể thép (từ bề mặt tấm thép SS400) sẽ khuếch tán vào nhau ở một mức độ nhất định để hình thành liên kết hàn. Nói cách khác, tại bề mặt tấm thép chỉ được nung nóng đến trạng thái chảy dẻo.

Hình 2a mô tả quá trình thiết lập các điều kiện cần thiết để kiểm tra độ bền kéo. Quan sát hình 2a ta có thể nhận thấy một thiết bị kéo nén vạn năng có kết nối với máy tính và sử dụng phần mềm vẽ biểu đồ lực được sử dụng để kiểm

tra độ bền kéo liên kết hàn giáp mối giữa thép SS400 và hợp kim nhôm A5052.



Hình 1. Cấu trúc thô đại liên kết hàn giáp mối thép SS400 và hợp kim nhôm A5052



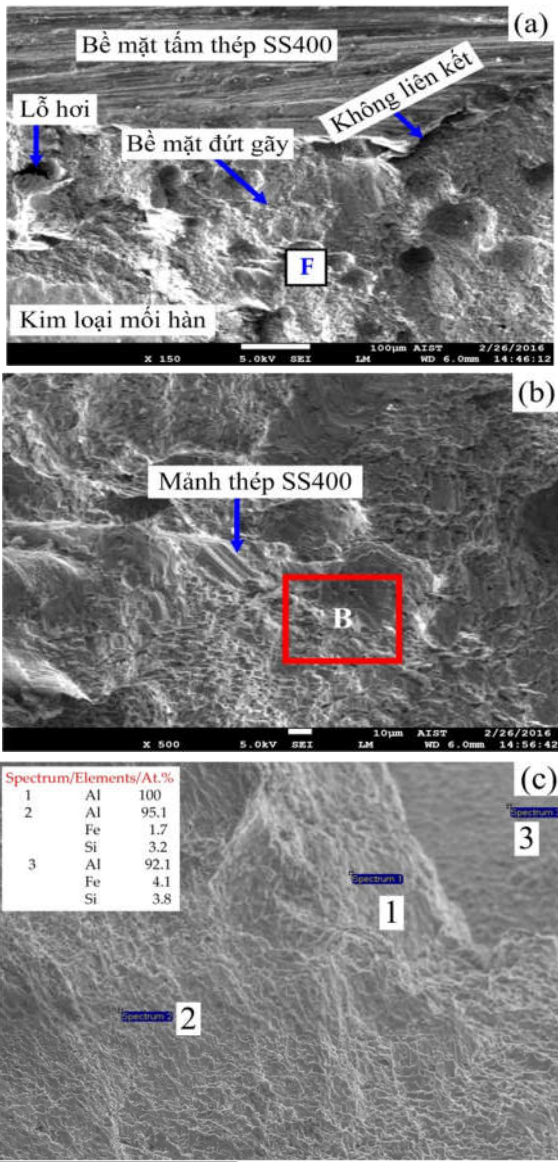
Hình 2. Thiết lập điều kiện thử độ bền kéo (a); Mẫu hàn sau khi thử kéo (b)

Bảy mẫu trong tổng số 15 mẫu hàn thí nghiệm được thực hiện với cùng một chế độ hàn đã được lựa chọn để kiểm tra độ bền kéo với cùng một cách thức và điều kiện thực hiện kiểm tra kéo. Các kết quả kiểm tra độ bền kéo của 7 mẫu hàn được thể hiện trong bảng 5. Quan sát các kết quả trong bảng 5 ta nhận thấy sự chênh lệch độ bền kéo của các mẫu hàn không quá lớn với độ bền kéo lớn nhất đạt được là 225,9MPa tại mẫu hàn số 5 và mẫu hàn có độ bền kéo nhỏ nhất là mẫu hàn số 7 với giá trị đạt được là 193,5MPa. Theo nghiên cứu [11] độ bền trung bình của các mẫu hàn trong nghiên cứu này tương đương 85% độ bền kéo của hợp kim nhôm A5052 và lớn hơn kim loại dây hàn ER-4043 khoảng 26%. Điều này cho thấy, độ bền của liên kết hàn giáp mối giữa thép SS400 và hợp kim nhôm A5052 là khá cao và có khả năng cải thiện được độ bền kéo khi hàn hai vật liệu này nếu lựa chọn được thông số hàn tối ưu và quá trình hàn hợp lý để giảm thiểu được lớp liên kim trong quá trình hàn.

Bảng 5. Độ bền kéo của bảy mẫu hàn giữa thép SS400 với hợp kim nhôm A5052

Mẫu số	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5	Mẫu 6	Mẫu 7	Trung bình
Độ bền (MPa)	206,5	203	195,5	220	225,9	215	193,5	208,5

Hình 2b mô tả mẫu hàn sau khi kiểm tra độ bền kéo. Ta có thể nhận thấy, vị trí bị đứt gãy khi kiểm tra độ bền kéo là tại vị trí kim loại mối hàn giáp ranh với tấm thép SS400. Trên bề mặt tấm thép, tại một số vị trí còn lưu giữ một phần kim loại mối hàn. Kim loại mối hàn tại khu vực tiếp xúc và liên kết trực tiếp với bề mặt tấm thép phần lớn là hợp kim nhôm từ dây hàn ER-4043, số ít còn lại là từ hợp kim nhôm A5052. Trong quá trình hàn, hỗn hợp hợp kim nhôm này tạo thành bề mặt và liên kết với bề mặt tấm thép để hình thành mối hàn. Vị trí A trong hình 2 được lựa chọn để kiểm tra cấu trúc tế vi vị trí đứt gãy của liên kết sau khi kiểm tra độ bền kéo như mô tả trong hình 3a.



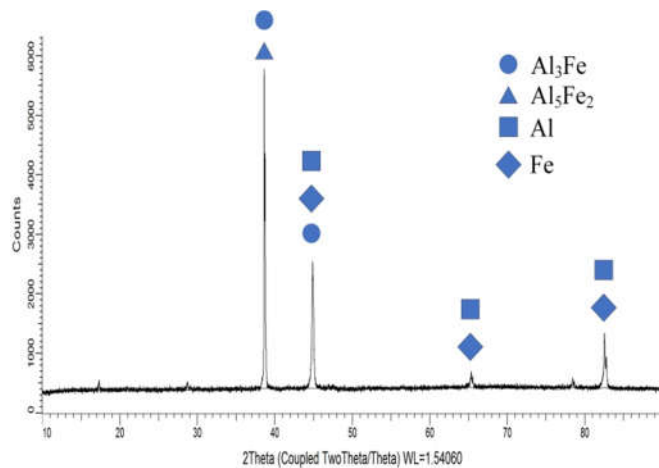
Hình 3. Cấu trúc tế vi khu vực đứt gãy khi kiểm tra độ bền kéo liên kết hàn giữa thép SS400 và hợp kim nhôm A5052 (a); Vị trí F tại hình 3a (b); Ba điểm được lựa chọn để xác định thành phần kim loại tại hình 3b (c)

Để có thể hiểu rõ hơn những tác động của lực kéo tại vị trí đứt gãy của liên kết hàn giáp mối giữa thép SS400 với hợp kim nhôm A5052 khi kiểm tra độ bền kéo, bề mặt của một mẫu đại diện được lựa chọn để quan sát cấu trúc tế vi

liên kết hàn bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) như thể hiện trong hình 3. Hình 3a mô tả cấu trúc tế vi tại vị trí đứt gãy A trong mẫu sau khi kiểm tra độ bền kéo tại hình 2b. Quan sát hình ảnh ta có thể nhận thấy bề mặt mối hàn bị đứt gãy sau khi chịu tác động của lực kéo với một phần kim loại mối hàn bám lại trên bề mặt tấm thép tạo thành những vết lõm trên bề mặt kim loại mối hàn. Tại vị trí đứt gãy của mẫu hàn, ta cũng nhận thấy có một điểm kim loại mối hàn không liên kết với tấm thép SS400 và một khuyết tật lỗ hơi xuất hiện tại khu vực kim loại mối hàn (gắn sát với vị trí liên kết giữa kim loại mối hàn và bề mặt tấm thép SS400). Cả hai khiếm khuyết này của quá trình hàn có thể làm giảm đáng kể độ bền của liên kết hàn và trong quá trình sử dụng, về lâu dài sẽ là vị trí có thể gây ra phá hủy cho liên kết hàn. Vị trí F được đánh dấu trong hình 3a được lựa chọn để phóng đại lên mức 500 lần để đánh giá rõ hơn cấu trúc tế vi vết đứt gãy tại khu vực này. Quan sát hình 3b ta có thể nhận thấy vết đứt gãy ở đây không bằng phẳng và các hạt có xu hướng bị kéo dài ra dưới áp lực của lực kéo trong quá trình kiểm tra độ bền kéo. Bên cạnh đó, sự xuất hiện của một mảnh thép nhỏ tại bề mặt mối hàn có thể khẳng định cho sự liên kết khá vững chắc giữa kim loại mối hàn và bề mặt tấm thép SS400 trong quá trình hàn. Điều này giải thích rằng, các tinh thể thép cũng tham gia và khuếch tán vào các tinh thể nhôm trong quá trình hàn khá mạnh mẽ. Vị trí B (vị trí được đánh dấu trong ô màu đỏ) tại hình 3b được lựa chọn là khu vực được sử dụng để phân tích thành phần các nguyên tố chính xuất hiện tại ba điểm (1 điểm 1, điểm 2 và điểm 3) trên bề mặt của vết đứt gãy sau khi kiểm tra độ bền kéo như được mô tả trong hình 3c. Quan sát hình ảnh và kết quả phân tích của thiết bị hiển vi điện tử quét (SEM) tại ba điểm trong hình 3c ta nhận thấy: sự xuất hiện của các nguyên tố Al là chính (tại điểm 1 là 100%, tại điểm 2 là 95,1% và tại điểm 3 là 92,1%), bên cạnh đó có sự xuất hiện của nguyên tố Si (không xuất hiện tại điểm 1, tại điểm 2 là 3,2% và tại điểm 3 là 3,8%) và một phần là nguyên tố Fe (không xuất hiện tại điểm 1, tại điểm 2 là 1,7% và tại điểm 3 là 4,1%). Lượng nguyên tố Si tại hai điểm 2 và 3 cho ta thấy sự khuếch tán linh động của các nguyên tử này trong quá trình hình thành liên kết hàn giữa hai vật liệu. Điều này một lần nữa khẳng định sự ảnh hưởng của nguyên tố Si trong quá trình hình thành mối hàn giữa các vật liệu khác nhau và nguyên tố Si có thể giúp hạn chế sự hình thành hoặc giảm thiểu chiều dày của lớp liên kim khi hàn giữa nhôm và thép như trong các báo cáo [12-14] đã công bố trước đó.

Để tìm hiểu rõ ràng hơn về sự hình thành pha trung gian của lớp liên kim trong quá trình hàn giữa kim loại mối hàn và bề mặt tấm thép SS400, một thiết bị phân tích bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (X-ray diffraction) được sử dụng. Kết quả kiểm tra nhiễu xạ tia X tại bề mặt đứt gãy cho thấy, tại khu vực giáp ranh giữa kim loại mối hàn và tấm thép SS400 là sự xuất hiện của các tinh thể Al và tinh thể Fe. Bên cạnh đó cũng xác định được pha trung gian cứng và giòn được hình thành trong lớp liên kim là hai pha  $Al_3Fe$  và  $Al_5Fe_2$  như được mô tả trong hình 4.





Hình 4. Kết quả kiểm tra nhiễu xạ tia X tại bề mặt đứt gãy của liên kết hàn

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, quá trình hàn bán tự động trong môi trường khí bảo vệ được sử dụng để hàn thành công thép SS400 và hợp kim nhôm A5052 với dây hàn bù ER-4043. Độ bền kéo của liên kết hàn và cấu trúc tế vi của vị trí đứt gãy được khảo sát, một vài kết luận có thể được rút ra như sau:

- Độ bền kéo trung bình của liên kết hàn giữa hợp kim nhôm A5052 và thép SS400 nhận được thấp hơn khoảng 25% so với hợp kim nhôm A5052 và cao hơn khoảng 26% so với độ bền kéo của dây hàn ER-4043.

- Tại bề mặt của vết đứt gãy, sự xuất hiện của các tinh thể Si, Fe và tinh thể Al cho thấy sự khuếch tán khá mạnh của các tinh thể trong quá trình hàn, trong đó tinh thể Si tham gia tích cực vào quá trình hình thành mối hàn và góp phần hạn chế chiều dày lớp liên kim, gián tiếp giúp cải thiện độ bền của mối hàn.

- Bề mặt vết đứt gãy không đồng đều và có xu hướng bị kéo dài ra, một lớp liên kim hình thành tại bề mặt liên kết hàn được xác định là  $Al_3Fe$  và pha  $Al_5Fe_2$ . Những mẫu hàn có sự xuất hiện của lớp liên kim này sẽ có độ bền không cao, đặc biệt là khi liên kết phải chịu tải trọng động.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Van Nhat et al., 2017. *An Investigation of Dissimilar Welding Aluminum Alloys to Stainless Steel by the Tungsten Inert Gas (TIG) Welding Process*. Materials Science Forum. Vol. 904. Trans Tech Publications Ltd.
- [2]. Kimapong, Kittipong, Takehiko Watanabe, 2005. *Lap joint of A5083 aluminum alloy and SS400 steel by friction stir welding*. Materials transactions 46.4: 835-841.
- [3]. Nguyen, Quoc Manh et al., 2017. *Investigation of A5052 Aluminum Alloy to SS400 Steel by MIG Welding Process*. International Conference on Advances in Computational Mechanics. Springer, Singapore.
- [4]. Nguyen Van Nhat et al., 2017. *An investigated of butt joint between aluminum alloy A5052 and stainless steel SS400 by using MIG welding method*. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI). IEEE.

- [5]. Watanabe, Takehiko, Hirofumi Takayama, Atsushi Yanagisawa, 2006. *Joining of aluminum alloy to steel by friction stir welding*. Journal of Materials Processing Technology 178.1-3: 342-349.

- [6]. Kimapong K., T. Watanabe, 2004. *Friction stir welding of aluminum alloy to steel*. Welding journal 83.10 (2004): 277.

- [7]. Park Hyoung Jin et al, 2009. *Joining of steel to aluminum alloy by AC pulse MIG welding*. Materials transactions 50.9: 2314-2317.

- [8]. Ochi H., et al, 1998. *Friction welding of aluminum alloy and steel*. International Journal of Offshore and Polar Engineering 8.02.

- [9]. Nguyen Quoc Manh, Shyh-Chour Huang, 2015. *An investigation of the microstructure of an intermetallic layer in welding aluminum alloys to steel by MIG process*. Materials 8.12: 8246-8254.

- [10]. De Salazar, JM Gomez, M. I. Barrena, 2003. *Dissimilar fusion welding of AA7020/MMC reinforced with  $Al_2O_3$  particles. Microstructure and mechanical properties*. Materials Science and Engineering: A 352.1-2: 162-168.

- [11]. Watanabe, Takehiko, Hideo Sakuyama, Atsushi Yanagisawa, 2009. *Ultrasonic welding between mild steel sheet and Al-Mg alloy sheet*. Journal of Materials Processing Technology 209.15-16: 5475-5480.

- [12]. Xia Hongbo, et al, 2018. *Effect of Si content on the interfacial reactions in laser welded-brazed Al/steel dissimilar butted joint*. Journal of Materials Processing Technology 258: 9-21.

- [13]. Song J. L., et al, 2009. *Effects of Si additions on intermetallic compound layer of aluminum-steel TIG welding-brazing joint*. Journal of Alloys and Compounds 488.1: 217-222.

- [14]. Xia Hongbo, et al, 2018. *Effect of Si content on the interfacial reactions in laser welded-brazed Al/steel dissimilar butted joint*. Journal of Materials Processing Technology 258: 9-21.

#### AUTHOR INFORMATION

**Nguyen Quoc Manh**

Hung Yen University of Technology and Education