

PHÂN TÍCH NGUYÊN NHÂN XUẤT HIỆN VẾT NÚT KHI HÀN THÉP KHÔNG GỈ

Nguyễn Dương Nam^{1*}, Nguyễn Thị Hồng Nhung²

¹Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Trường Đại học Sao Đỏ

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Dương Nam, namnd.khcs@vimaru.edu.vn

THÔNG TIN CHUNG

Ngày nhận bài: 20/3/2025

Ngày nhận bài sửa: 07/4/2025

Ngày duyệt đăng: 23/6/2025

TỪ KHOA

Ăn mòn;

Mối hàn;

Tổ chức.

TÓM TẮT

Trong công trình này, trình bày kết quả nghiên cứu về đánh giá nguyên nhân xuất hiện các vị trí ăn mòn của các bồn chứa nước được chế tạo từ thép không gỉ. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra vị trí xuất hiện các điểm ăn mòn tại các vị trí xung quanh mối hàn của thép không gỉ. Bằng các phân tích về mặt tổ chức nghiên cứu đã chỉ ra sự biến đổi về mặt tổ chức ở xung quanh mối hàn; sự không liên tục của mối hàn là những nguyên nhân chính hình thành nên các điểm ăn mòn này. Bài báo cũng chỉ ra được một số phương án xử lý nhiệt để cải thiện cơ tính mối hàn. Quá trình xử lý nhiệt thử nghiệm được xác định ở các nhiệt độ 400°C; 600°C và 900°C.

1. GIỚI THIỆU

Hiện tại, các chi tiết chế tạo từ vật liệu 304 đang được sử dụng rộng rãi trong cả lĩnh vực công nghiệp và giao thông. Những chi tiết này thường làm việc trong môi trường chịu tác động ăn mòn ở các khu vực khác nhau. Trong các ứng dụng công nghiệp và giao thông, thép 304 thường được chế tạo thành các chi tiết dạng tấm phẳng hoặc các chi tiết đã qua uốn cong, sau đó được ghép nối với nhau. Phương pháp hàn là kỹ thuật chính được sử dụng để kết nối các loại chi tiết này. (Azwinur et al., 2022; Chang et al., 2019; Demarque et al., 2018; Khan et al., 2021; Mai & Spowage, 2004).

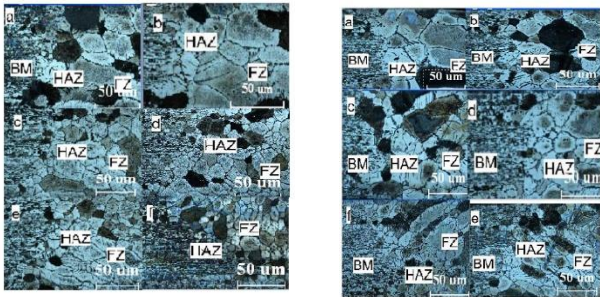
H.B.Smartt và J.Hu (Hu & Tsai, 2007) đã trình bày những hiện tượng xảy ra khi hàn bằng

phương pháp hàn GMAW: các quá trình được mô tả từ sự chảy của điện cực; sự hình thành các giọt kim loại lỏng và quá trình bề kim loại lỏng được hình thành trong mối hàn. Từ những phân tích này, nhóm tác giả đã xác định được sự ảnh hưởng của hiện tượng này tới mối hàn và chất lượng mối hàn.

Cùng với những nghiên cứu về mô phỏng và tối ưu hóa các thông số hàn đồng thời nghiên cứu về chuyển biến pha; tổ chức vùng mối hàn cũng như các vùng lân cận của mối hàn hai vật liệu khác loại luôn chiếm một số lượng lớn và có vai trò đặc biệt quan trọng trong việc đánh giá chất lượng mối hàn nghiên cứu.

M.O.H Amuda và S. Mridha (Amuda & Mridha, 2009) cũng như các nhà nghiên cứu khác

đã chia mỗi hàn thành ba khu vực: khu vực nóng chảy hoàn toàn của mỗi hàn; khu vực ảnh hưởng nhiệt và khu vực kim loại cơ bản. Đặc trưng cấu trúc của các khu vực này phụ thuộc rất nhiều vào tham số hàn. Trên hình 1 chỉ ra sự biến đổi tổ chức vùng hàn của thép không gỉ 430 khi thay đổi cường độ dòng hàn từ 50 đến 160A và tốc độ hàn được thay đổi từ 1 đến 3.5 mm/s.



Hình 1: Tổ chức vùng hàn với chế độ hàn khác nhau. FZ : Vùng nóng chảy, HAZ : Vùng ảnh hưởng nhiệt, BM : Kim loại cơ bản (Amuda & Mridha, 2009)

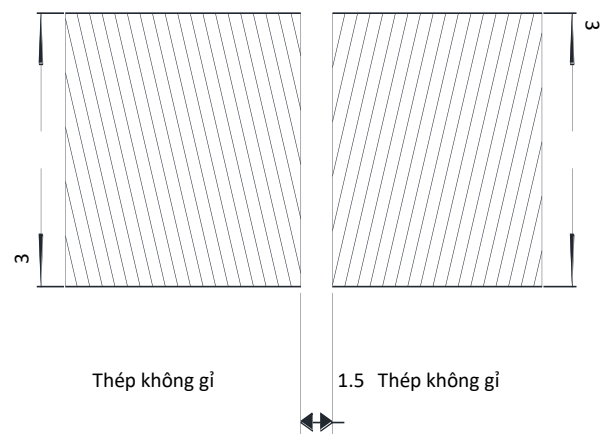
Các tài liệu (Nhưng, 2020) đã trình bày sự kết tinh và hình thành pha δ ở vùng nóng chảy hoàn toàn của mỗi hàn. Sự hình thành của pha δ này được trình bày dựa trên mô hình về sự kết tinh được dự đoán trên đồ thị Schaffle hoặc từ những phân tích về tổ chức của mối hàn nghiên cứu. Từ các kết quả này, tác giả đã đánh giá được ảnh hưởng của sự hình thành pha δ đến tổ chức tế vi cũng như các đặc tính khác về cơ tính mối hàn nghiên cứu.

Tại Việt Nam, dù công nghệ hàn nối hai vật liệu khác nhau được sử dụng phổ biến trong nhiều lĩnh vực, nhưng phần lớn các công nghệ này vẫn đến từ nguồn cung cấp nước ngoài. Thực trạng cho thấy các nghiên cứu liên quan đến lĩnh vực này tại nước ta còn khá ít ỏi (Nhưng, 2020) (Toại, 2014). Những nghiên cứu hiện nay trong nước tập trung vào một số vấn đề như sau: Nghiên cứu tối ưu hóa công nghệ hàn; Nghiên cứu về sự phân bố nhiệt độ cũng như ứng suất trong mối hàn.

Dựa trên các tài liệu tham khảo về tình hình nghiên cứu, hiện chưa ghi nhận nghiên cứu nào liên quan đến mối hàn giữa hai tấm thép không gỉ cùng loại, cũng như cơ chế ăn mòn và các phương pháp cải thiện chất lượng mối hàn cho loại vật liệu này. Trong công trình này, trình bày những kết quả nghiên cứu về nguyên nhân xuất hiện vết nứt và sự thay đổi tổ chức cũng như đưa ra một số giải pháp nâng cao chất lượng mối hàn bằng xử lý nhiệt.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thép không gỉ được gia công thành các tấm có kích thước 275x85x3mm (như trên hình 2). Các mẫu trước khi hàn được tiến hành làm sạch mẫu để loại bỏ các tạp chất cũng như các chất bẩn (dầu) bám trên bề mặt bằng cồn 90°. Với chiều dày 3mm, mẫu không cần phải vát mép. Thành phần vật liệu hàn được phân tích bằng phương pháp quang phổ phát xạ đã được thể hiện trong bảng 1.



Hình 2: Chuẩn bị mép hàn

Đối với hàn thép không gỉ sử dụng điện cực E309L-16 với thành phần được cho trong Bảng 1. Điện cực hàn phải được sấy ở nhiệt độ từ 100 đến 150 °C để đảm bảo loại bỏ hơi nước trong que hàn tránh tạo thành rỗ khí trong mối hàn.

Bảng 1: Thành phần hóa học của kim loại cơ bản và kim loại điện cực

Nguyên tố	C [%]	Mn [%]	Si [%]	S [%]	P [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	V [%]
Thép không gỉ austenit 304	0,08	1,53	0,50	0,004	0,004	18,29	7,57	0,14	0,12
Điện cực E309L - 16	0,04	1,33	0,70	0,005	0,003	23,69	12,58	-	-

Đối với hàn thép không gỉ sẽ sử dụng máy hàn Inverter và bằng phương pháp hàn hồ quang tay với thông số hàn được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2: Chế độ hàn

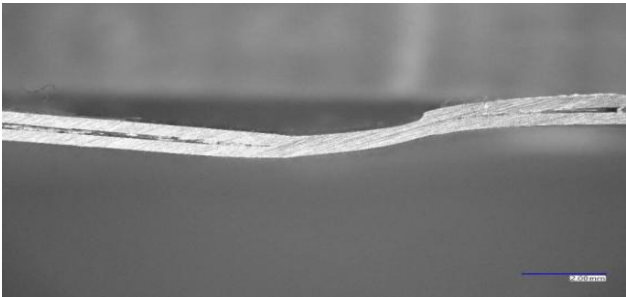
Tham số hàn	I (A)	U (V)	V (mm/ph)	Nhiệt độ môi trường (°C)
Giá trị	80	25	100	30

Mẫu sau khi hàn được tiến hành phân tích tổ chức tế vi vùng hàn bằng kính hiển vi quang học VHX6800 để đánh giá sự biến đổi tổ chức vùng hàn.

Mẫu sau hàn được tiến hành xử lý nhiệt ở các nhiệt độ 400; 600 và 800°C trong khoảng thời gian 10 giờ. Sau đó mẫu được phân tích tổ chức tế vi bằng kính hiển vi quang học VHX6800; FESEM Jeol 7600 và TEM (JEM 1400). Để xác định độ cứng tại khu vực mối hàn mẫu được tiến hành phân tích độ cứng tế vi; được xác định bằng cách đo từ tâm mối hàn về phía kim loại cơ bản sau khi xử lý nhiệt với bước nhảy 100µm.

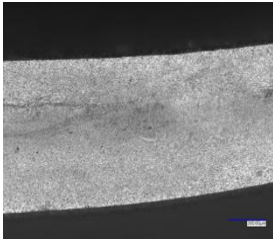
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tổ chức tế vi mẫu sau hàn

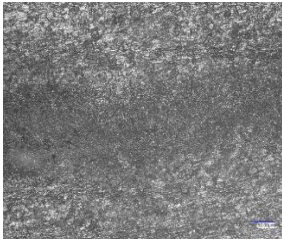


Hình 3: Tổ chức thô đại vùng hàn (VHX6800)

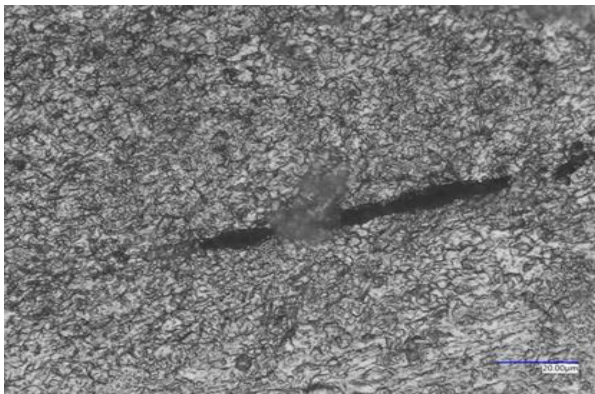
Đánh giá tổ chức macro vùng hàn (hình 3) cho thấy tại khu vực mối hàn xuất hiện vùng tiếp giáp giữa các tấm kim loại không được đảm bảo độ bám dính. Hiện tượng ăn mòn của mối hàn bắt nguồn từ sự thiếu liên kết giữa hai tấm kim loại này. Trong quá trình vận hành, khu vực mối hàn trở thành điểm tập trung của các chất bẩn từ môi trường làm việc, dẫn đến sự hình thành chênh lệch điện thế và gây ra quá trình ăn mòn trên bề mặt thép không gỉ.



a) Tổ chức tế vi vùng hàn x200



b) Tổ chức tế vi mối hàn x500



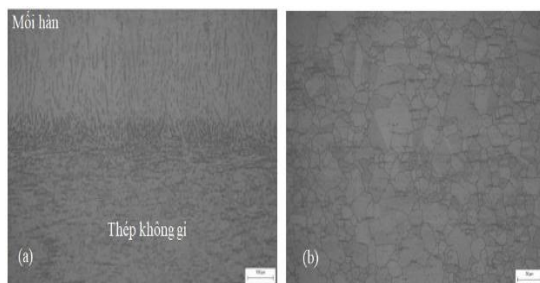
c) Tổ chức mối hàn x2000

Hình 4: Tổ chức vùng hàn (VHX6800)

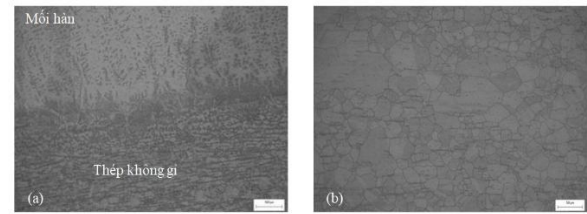
Phân tích tổ chức tế vi của vùng hàn cho thấy: Ở hình 4a, tổ chức tế vi của vùng hàn xuất hiện các vết màu đen, những vết này có thể là biểu hiện của các khuyết tật hình thành trong quá trình hàn. Phân tích hình 4c cho thấy trong tổ chức xuất hiện các vết nứt màu đen cho thấy: Tổ chức tế vi cho thấy một vết nứt màu đen kéo dài xuyên qua cấu trúc, điều này phù hợp với mô tả trước đó về các vết nứt màu đen trong tổ chức vi cấu trúc. Vết nứt này có thể là kết quả của ứng suất dư (Residual Stress) trong quá trình hàn hoặc do sự không đồng nhất trong cấu trúc vật liệu. Đây là một yếu tố quan trọng dẫn đến sự chênh lệch điện thế, tạo điều kiện cho quá trình ăn mòn điện hóa xảy ra, như đã phân tích ở trên. Khu vực xung quanh vết nứt có cấu trúc hạt khá mịn và đồng đều, nhưng vẫn có thể nhận thấy một số vùng sáng hơn (có thể là các pha khác hoặc tạp chất). Sự không đồng nhất này có thể làm tăng nguy cơ ăn mòn cục bộ, đặc biệt là ăn mòn rỗ vốn thường xảy ra ở thép không gỉ khi có sự hiện diện của các khuyết tật như vết nứt hoặc tạp chất. Vết nứt này không chỉ làm giảm độ bền cơ học của mối hàn mà còn tạo điều kiện cho các chất bẩn hoặc ion từ môi trường (như Cl^- trong môi trường nước biển) xâm nhập, làm tăng tốc độ ăn mòn.

Phân tích hình 4b chỉ ra rằng tổ chức ở vùng hàn có hạt nhỏ và mịn hơn đáng kể so với kích thước hạt ở các vùng lân cận. Sự chênh lệch về kích thước hạt giữa các khu vực này sẽ gây ra sự phá hủy mối hàn tại vị trí giao giữa vùng mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ).

3.2. Tổ chức tế vi mối hàn sau xử lý nhiệt



Hình 5: Tổ chức tế vi vùng HAZ thép không gỉ tại 400 °C trong 10 giờ. (a) Giáp biên giới, (b) Vùng HAZ (VHX6800)



Hình 6: Tổ chức tế vi vùng HAZ thép không gỉ tại 600 °C trong 10 giờ. (a) Giáp biên giới, (b) Vùng HAZ (VHX6800)

Tổ chức vi cấu trúc của vùng HAZ trong thép không gỉ:

Vùng HAZ (Heat Affected Zone) là khu vực xung quanh mối hàn bị ảnh hưởng bởi nhiệt trong quá trình hàn, nhưng không bị nóng chảy. Phân tích hình 5 và 6 cho thấy tổ chức vi cấu trúc của vùng này chủ yếu bao gồm các pha Austenit với đặc điểm là các hạt đa cạnh và phân bố đồng đều trên toàn bộ diện tích. Austenit là pha chính trong thép không gỉ mang lại khả năng chống ăn mòn và độ dẻo tốt. Sự đồng đều trong phân bố hạt austenit cho thấy quá trình hàn không gây ra sự phân bố không đồng nhất nghiêm trọng, điều này là một dấu hiệu tích cực về mặt kiểm soát nhiệt trong quá trình hàn.

Tại khu vực gần biên giới nóng chảy (nơi tiếp giáp giữa vùng kim loại hàn và vùng HAZ), các hạt Austenit vẫn tồn tại nhưng xuất hiện song song với các dải pha Ferit (ferrite). Pha Ferit, thường là δ -ferit trong thép không gỉ, hình thành do sự biến đổi pha ở nhiệt độ cao trong quá trình hàn. Sự hiện diện của δ -ferit là phổ biến trong thép không gỉ Austenit, vì nó giúp giảm nguy cơ nứt nóng (Hot Cracking) trong mối hàn. Tuy nhiên, nếu hàm lượng Ferit quá cao, nó có thể làm giảm khả năng chống ăn mòn của thép không gỉ.

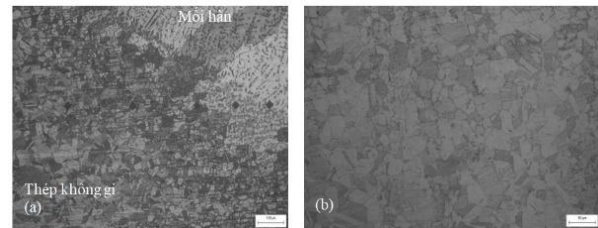
Trong vùng kim loại cơ bản (Base Metal), kích thước hạt Austenit dao động từ 40 đến 60 μm , đây là kích thước điển hình của thép không gỉ trước khi hàn. Tại khu vực gần biên giới nóng

chảy, kích thước hạt Austenit nhỏ hơn, chỉ khoảng 15 đến 20 μm . Sự giảm kích thước hạt này có thể là do tốc độ nguội nhanh (Rapid Cooling) ở khu vực gần mối hàn, hạn chế sự phát triển của hạt trong quá trình kết tinh. Tuy nhiên, trong vùng HAZ, một số hạt Austenit có kích thước lớn hơn do hiện tượng nuốt hạt. Hiện tượng này xảy ra khi thép không gỉ được duy trì ở nhiệt độ cao trong thời gian dài, dẫn đến các hạt lớn "nuốt" các hạt nhỏ hơn để giảm năng lượng biên giới hạt. Điều này có thể làm giảm độ bền cơ học và tăng nguy cơ ăn mòn tại các biên giới hạt lớn.

Pha δ -ferit tồn tại ở biên giới các hạt Austenit trong vùng HAZ, đóng vai trò quan trọng trong việc cân bằng cấu trúc vi mô. Tuy nhiên, hàm lượng δ -ferit thay đổi theo nhiệt độ: Ở nhiệt độ 900°C, hàm lượng δ -ferit cao hơn do đây là nhiệt độ mà pha Ferit ổn định. Ở nhiệt độ thấp hơn (400°C và 600°C), hàm lượng δ -ferit giảm do sự phân hủy một phần của Cacbit (carbides) và chính pha δ -ferit. Quá trình này xảy ra vì ở nhiệt độ thấp hơn, δ -ferit có thể chuyển hóa thành các pha khác (như pha Sigma hoặc cacbit) hoặc bị phân hủy do sự khuếch tán của các nguyên tố hợp kim (như Cr, Ni) trong thép không gỉ. Sự giảm hàm lượng δ -ferit ở nhiệt độ thấp có thể làm tăng nguy cơ nhạy cảm hóa (Sensitization), tức là hiện tượng cacbit crom (Cr-carbides) kết tủa ở biên giới hạt, làm giảm hàm lượng crom tự do và khiến thép không gỉ dễ bị ăn mòn giữa các hạt (Intergranular Corrosion). Vai trò của δ -ferit: Sự hiện diện của δ -ferit là cần thiết để giảm nguy cơ nứt nóng, nhưng nếu hàm lượng Ferit giảm quá nhiều ở nhiệt độ thấp (400°C hoặc 600°C), điều này có thể làm tăng nguy cơ hình thành các pha không mong muốn (như pha sigma), gây giòn và giảm khả năng chống ăn mòn.

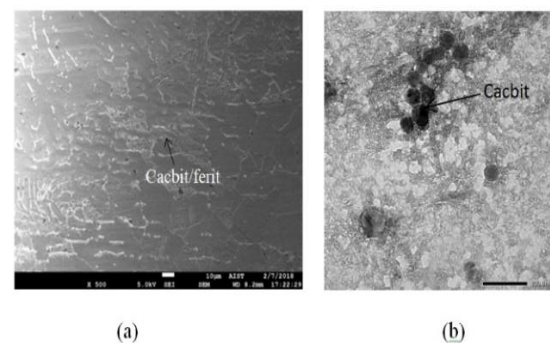
Sự khác biệt về kích thước hạt giữa các vùng (kim loại cơ bản, vùng HAZ, và gần biên giới nóng chảy) có thể dẫn đến sự không đồng nhất về tính chất cơ học và khả năng chống ăn mòn. Ví

dụ, các hạt lớn hơn trong vùng HAZ có thể làm tăng nguy cơ ăn mòn giữa các hạt, trong khi các hạt nhỏ hơn gần biên giới nóng chảy có thể cải thiện độ bền nhưng lại dễ bị ảnh hưởng bởi ứng suất nhiệt.



Hình 7: Tổ chức tế vi vùng HAZ thép không gỉ tại 900 °C trong 10 giờ. (a) Giáp biên giới, (b) Vùng HAZ (VHX6800)

Dù không có sự chuyển đổi pha trong vùng HAZ của thép không gỉ, các Cacbit và pha δ -ferit vẫn hình thành tại biên giới hạt (xem hình 7). Cụ thể, Cacbit M7C3 xuất hiện ở biên giới hạt, trong khi cacbit M23C6 được hình thành trong vùng HAZ của kim loại cơ bản. Hai loại Cacbit này được ghi nhận xuất hiện sau quá trình hàn, nhưng với số lượng khá ít. Tuy nhiên, khi mối hàn hoạt động ở nhiệt độ cao, đặc biệt ở mức 600°C, quá trình hình thành Cacbit diễn ra mạnh mẽ hơn. Sự hiện diện của cacbit là nguyên nhân chính làm giảm hàm lượng cacbon tại biên giới hạt, gây ra hiện tượng ăn mòn ứng suất và thậm chí có thể dẫn đến các vết nứt tại khu vực biên giới hạt.



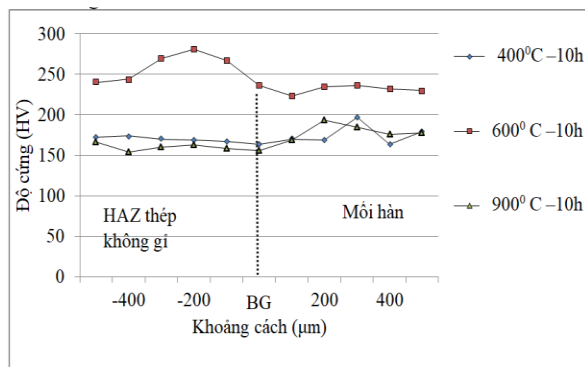
Hình 8: Cacbit và pha δ -ferit ở biên giới hạt trong vùng HAZ thép không gỉ. (a) Ảnh SEM (FESEM Jeol 7600), (b) Ảnh TEM (JEM1400)

3.3. Phân tích giá trị độ cứng tế vi

Dựa trên các kết quả thu được về giá trị độ cứng được thể hiện trên hình 9, có thể rút ra một số nhận xét như sau:

Thứ nhất, độ cứng của mối hàn khi hoạt động ở nhiệt độ 600°C cao hơn rõ rệt so với độ cứng của mẫu ở nhiệt độ 400°C và 900°C. Như đã phân tích trước đó, nguyên nhân chính của sự gia tăng đáng kể này là do quá trình hình thành Cacbit diễn ra mạnh mẽ ở 600°C. Ngoài ra, sự xuất hiện của các pha Sigma – vốn là các pha cứng và giòn – cũng góp phần làm tăng độ cứng. Thứ hai, độ cứng của mẫu ở nhiệt độ 900°C ghi nhận giá trị thấp nhất. Đây là mức nhiệt độ mà các Cacbit hình thành trong quá trình hàn bị phân hủy.

Thứ ba, ở nhiệt độ 400°C và 900°C, độ cứng của vùng HAZ nhỉnh hơn một chút so với độ cứng của vùng kim loại mối hàn. Tuy nhiên, ở nhiệt độ 600°C, độ cứng của vùng kim loại mối hàn lại vượt trội hơn so với vùng HAZ.



Hình 9: Đường cong độ cứng cắt ngang biên giới nóng chảy vùng thép không gỉ.

4. KẾT LUẬN

Dựa trên kết quả phân tích về tổ chức và tổ chức tế vi của vùng hàn, các đặc điểm cấu trúc tế vi đã được xác định rõ ràng; đồng thời, quá trình ăn mòn đã được giải thích chi tiết và các nguyên nhân gây ra hiện tượng ăn mòn ở mối hàn thép không gỉ 304 cũng đã được làm sáng tỏ.

Bước đầu, bản chất của việc áp dụng biện pháp xử lý nhiệt để nâng cao chất lượng mối hàn đã được lý giải. Ngoài ra, nghiên cứu cũng đưa ra một số chế độ xử lý nhiệt phù hợp cho mối hàn trong các điều kiện cụ thể.

Các hướng nghiên cứu tiếp theo của hướng này liên quan đến giải thích cơ chế ăn mòn; đo điện hóa các pha nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Amuda, M. O. H., & Mridha, S. (2009). Microstructural features of AISI 430 ferritic stainless steel (FSS) weld produced under varying process parameters. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 4(2).
- Azwinur, Syukran, Akhyar, & Ferdiyansyah. (2022). The Effect of Electrode Type on The Tensile Strength Characteristics of Welded Joints Between SA.240 Tp.304 Stainless Steel and SA.36 Carbon Steel Alloys through SMAW Welding Process. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(4). <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.04.004>.
- Chang, J., Cao, R., & Yan, Y. (2019). The joining behavior of titanium and Q235 steel joined by cold metal transfer joining technology. *Materials*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/ma12152413>.
- Demarque, R., dos Santos, E. P., Silva, R. S., & de Castro, J. A. (2018). Evaluation of the effect of the thermal cycle on the characteristics of welded joints through the variation of the heat input of the austenitic AISI 316L steels by the GMAW process. *Science and Technology of Materials*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.stmat.2018.09.001>
- Hu, J., & Tsai, H. L. (2007). Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Part I: The arc. *International Journal of Heat and Mass*

- Transfer*, 50(5–6).
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.025>
- Khan, M., Dewan, M. W., & Sarkar, M. Z. (2021). Effects of welding technique, filler metal and post-weld heat treatment on stainless steel and mild steel dissimilar welding joint. *Journal of Manufacturing Processes*, 64.
<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.058>
- Mai, T. A., & Spowage, A. C. (2004). Characterisation of dissimilar joints in laser welding of steel-kovar, copper-steel and copper-aluminium. *Materials Science and Engineering: A*, 374(1–2).
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.02.025>
- Nhung, L. T. (2020). *Nghiên cứu sự biến đổi tổ chức và tính chất trong quá trình hàn thép không gỉ với thép cacbon*. Hanoi University of Science and Technology.
- Toại, V. Đ. (2014). *Nghiên cứu công nghệ hàn liên kết nhôm - thép bằng quá trình hàn tig*. Đại học Bách Khoa Hà Nội.

ANALYSIS OF THE CAUSES OF CRACKS IN STAINLESS STEEL WELDING

Nguyen Duong Nam^{1*}, Nguyen Thi Hong Nhung²

¹Vietnam Maritime University

²Sao Do University

*Corresponding author: *Nguyen Duong Nam*, namnd.khcs@vimaru.edu.vn

GENERAL INFORMATION

Received date: 20/3/2025

Revised date: 07/4/2025

Accepted date: 23/6/2025

KEYWORD

Corrosion;

Welding joint;

Structure.

ABSTRACT

In this work, the results of the study on the evaluation of the causes of corrosion spots on water tanks made from stainless steel are presented. The results of the study have shown that corrosion spots appear at locations around the welds of stainless steel. By analyzing the structure, the study has shown that the changes in structure around the welds; the discontinuity of the welds are the main causes of these corrosion spots. The paper also points out some heat treatment options to improve the mechanical properties of the welds. The experimental heat treatment process is determined at temperatures of 400°C; 600°C and 900°C.