

NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH TỔ CHỨC TẾ VI VẬT LIỆU MỐI HÀN GIÁP MỐI THÉP CÁC BON TẮM DÀY CÓ KHE HỖ HẸP VÀ GÓC VÁT MÉP NHỎ

STUDY ON MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF BUTT WELDED MATERIAL FOR THICK PLATE CARBON STEEL WITH NARROW OPENINGS AND SMALL CHAMFER ANGLES

Hà Minh Hùng^{1,*}, Ngô Trọng Bình¹,
Đào Duy Trung¹, Nguyễn Văn Đức²

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm hàn giáp mối thép tấm C.45 có chiều dày lớn với khe hở hẹp và góc vát mép nhỏ trên thiết bị quy mô sản xuất công nghiệp PLEXTEC[®] 500x của hãng LINCOLN hiện có tại Việt Nam. Chất lượng mối hàn được đánh giá bằng phương pháp kim tương học thông qua tiêu chí đặc tính tổ chức tế vi khảo sát tại một số tiểu vùng cấu trúc đặc trưng trên mặt cắt ngang mối hàn như: trung tâm mối hàn, biên giới giữa mối hàn, vùng ảnh hưởng nhiệt và vùng kim loại cơ bản. Đặc tính kim tương học của vật liệu mối hàn được khảo sát cho phép có kết luận về khả năng làm việc theo yêu cầu của kết cấu hàn.

Từ khóa: Hàn MAG khe hở hẹp, quy hoạch thực nghiệm, tổ chức tế vi.

ABSTRACT

This paper introduces some experimental research results on butt welding of C45 steel plate with large thickness with narrow gap and small chamfer angle on PLEXTEC[®] 500x industrial production equipment of LINCOLN in Viet Nam. The quality of the weld is assessed by metallographic method through the criteria of microorganism characteristics, which was investigated in some characteristic structural sub-regions on the weld cross-section such as: weld center, weld border, heat-affected and base metal zone. The metallographic properties of the investigated weld material allow to give conclusions about the ability to work according to the requirements of the welded structure.

Keywords: Narrow gap MAG welding, experimental planning; micro organization.

¹Viện Nghiên cứu Cơ khí

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: haminhhunggs@gmail.com

Ngày nhận bài: 25/12/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2022

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gần đây trên thế giới có nhiều công bố về các kết quả thực nghiệm nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ hàn giáp mối các tấm hoặc ống thép với khe hở hẹp có vát mép và không vát mép trong môi trường khí bảo vệ, đây là

một trong những định hướng công nghệ - kỹ thuật tiên tiến với các giải pháp công nghệ mới và thiết bị hàn điện cực dày nóng GMAW (TIG) [1]; hàn quay nối đường ống [2], đầu hàn có điều khiển và giám sát từ xa [3]; hệ thống máy hàn có đầu hàn khe hở hẹp điện cực vônfram quay dùng cho hàn rãnh trên đường ống và nghiên cứu đánh giá chất lượng mối hàn thông qua một số tiêu chí về đặc tính cơ lý, cấu trúc vật liệu của nhiều nhà nghiên cứu khác trên thế giới [4- 8].

Ở trong nước, gần đây trong các công trình [9, 10] đã giới thiệu một số kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm hàn giáp mối thép tấm các bon với khe hở hẹp trong điều kiện Việt Nam khi sử dụng thiết bị hàn hiện có tại Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia Công nghệ hàn và Xử lý bề mặt - Viện Nghiên cứu Cơ khí, Bộ Công Thương. Tuy nhiên, những kết quả đó mới chỉ là khởi đầu một định hướng nghiên cứu ứng dụng trong điều kiện thực tiễn ở Việt Nam của nhóm nghiên cứu. Các mẫu thí nghiệm thép có chiều dày tương đối nhỏ (đến 20mm) và góc vát mép lớn ($\alpha = 30^\circ$ /mỗi bên). Việc thực hiện một số thí nghiệm để có đánh giá về chất lượng mối hàn giáp mối thép các bon tấm dày (đến 100mm) với khe hở hẹp và góc vát mép nhỏ (dưới 15° /mỗi bên) có gì thay đổi so với các kết quả thí nghiệm với góc vát mép lớn trước đây là cần thiết.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bảng 1. Thành phần hóa học thép các bon CT3 dùng cho thí nghiệm

Nguyên tố	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Khác
Hàm lượng, wt. %	0,18	0,1 ÷ 0,2	0,06	≤ 0,03	≤ 0,04	-	-	-	Còn lại

Bảng 2. Cơ tính của thép CT3 dùng cho thí nghiệm

Giới hạn bền, σ_b , (MPa)	Giới hạn chảy, σ_c , (MPa)	Độ giãn dài tương đối, δ , (%)	Độ cứng, HB
373 ÷ 481	206 ÷ 245	24 ÷ 27	206 ÷ 245

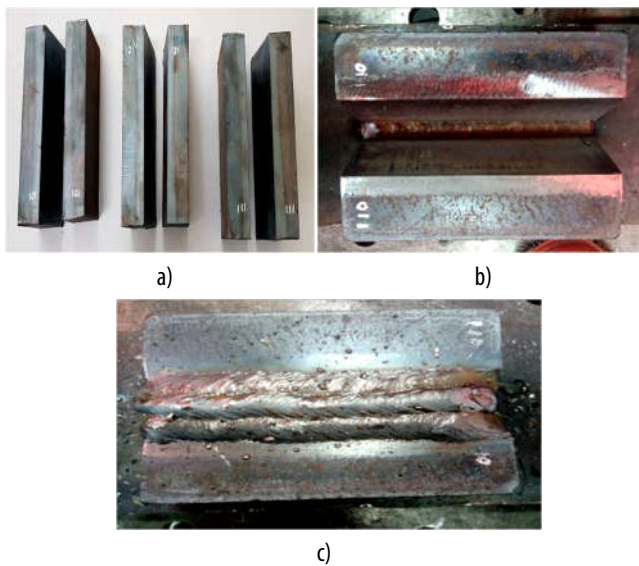
Vật liệu thí nghiệm lựa chọn như sau: Các tấm thép các bon mác CT3 có kích thước hình học: chiều dày x chiều rộng x chiều dài = 50 x 100 x 300mm. Chọn góc vát giữa mặt cắt

thẳng đứng với tấm thép và mặt vách bên tạo hình mối hàn ở mức nhỏ nhất có thể để lắc đầu hàn ngay từ lớp dưới cùng ở phần đáy mẫu thí nghiệm là $\alpha = 15^\circ$ mỗi bên (hình 1). Dùng dây hàn loại 1,2mm mác GM 70s-6 của chính hãng cung cấp thiết bị hàn và khí bảo vệ là 100% CO₂. Thành phần hóa học và đặc tính cơ lý vật liệu hàn dùng để thí nghiệm cho trong các bảng 1 và 2.

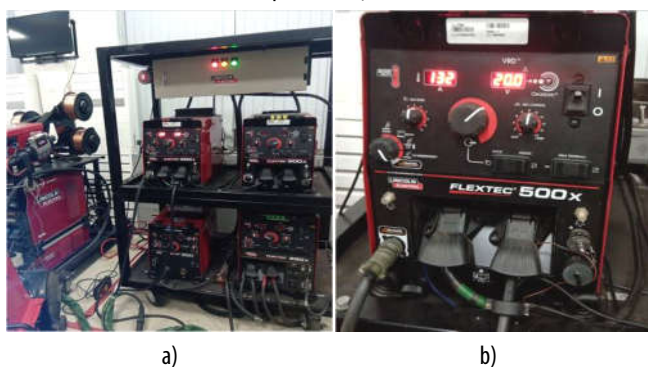
Thiết bị thí nghiệm hiện có ở một công ty đại diện cho hãng LINCOLN của Mỹ tại Việt Nam như hình 2. Nguyên lý hàn với nhiều lượt hàn, đầu hàn quay vòng đồng thời tịnh tiến theo chiều dọc khe hở giáp mối giữa hai tấm thép CT3 cần hàn giáp mối (hình 3).

Điều kiện quy hoạch thực nghiệm lựa chọn theo các mức thay đổi có mã số tương ứng với 27 nút quy hoạch thực nghiệm kiểu N27 để xuất ở công trình [10] với 3 thông số đầu vào chính có điều chỉnh gồm: điện áp hàn $U_h = 24 \div 28V$ (tương ứng với cường độ dòng hàn $I_h = 130 \div 200A$); tốc độ di chuyển tịnh tiến đầu hàn $v_h = 4 \div 8m/h$ và tốc độ ngoáy đầu hàn $v_{ng} = 20 \div 30vg/ph$.

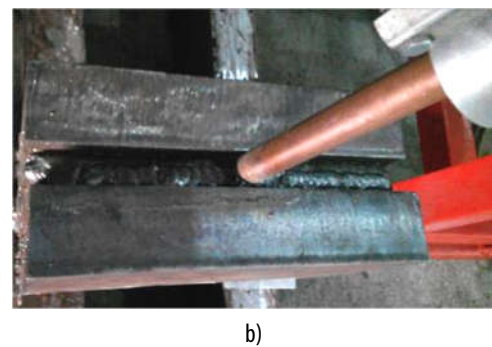
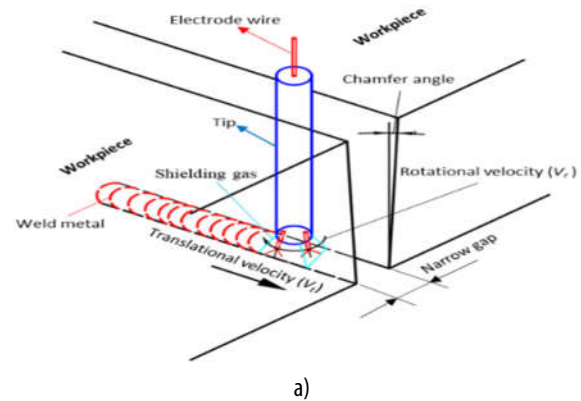
Trên hình 4a là ảnh kính hiển vi quang học Axiovert 25 và hình 4 b là máy đo độ cứng tế vi của hãng BUEHLER sử dụng cho thí nghiệm nghiên cứu khảo sát chụp ảnh tổ chức tế vi và đo độ cứng tế vi vật liệu mối hàn.



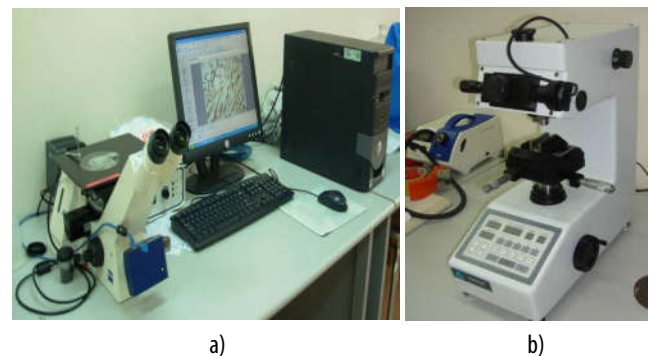
Hình 1. Ảnh mẫu thí nghiệm hàn giáp mối thép tấm dày với khe hở hẹp: a) Phôi có vát mép nhỏ ($\alpha = 15^\circ$); b) Mẫu hàn đỉnh lớp đáy với khe hở bằng đường kính đầu hàn; c) Mẫu hàn đủ số lớp lên bề mặt trên của mẫu



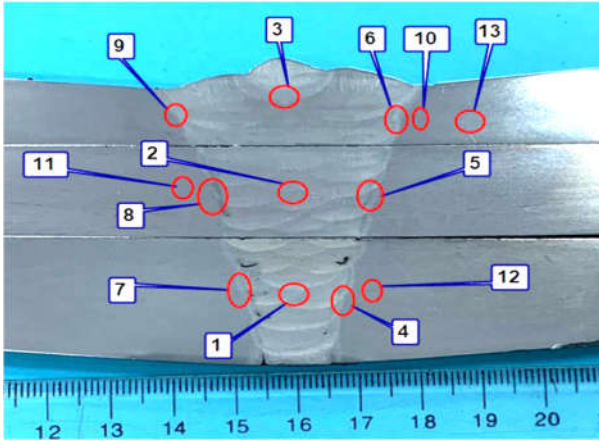
Hình 2. Thiết bị PLEXTEC[®] 500x của hãng LINCOLN dùng cho thí nghiệm hàn giáp mối thép tấm dày với khe hở hẹp có góc vát mép nhỏ: a) Toàn cảnh hệ thống thiết bị hàn; b) Điều chỉnh chế độ hàn thí nghiệm; c) Hàn thử mẫu theo chế độ quy hoạch thực nghiệm



Hình 3. Nguyên lý thí nghiệm hàn giáp mối thép tấm dày với khe hở hẹp (a); Chuyển động tịnh tiến của đầu hàn theo khe hở hàn (b)



Hình 4. Ảnh kính hiển vi quang học Axiovert 25 (a) và máy đo độ cứng tế vi BUEHLER (b) sử dụng cho thí nghiệm đánh giá chất lượng mối hàn khe hở hẹp

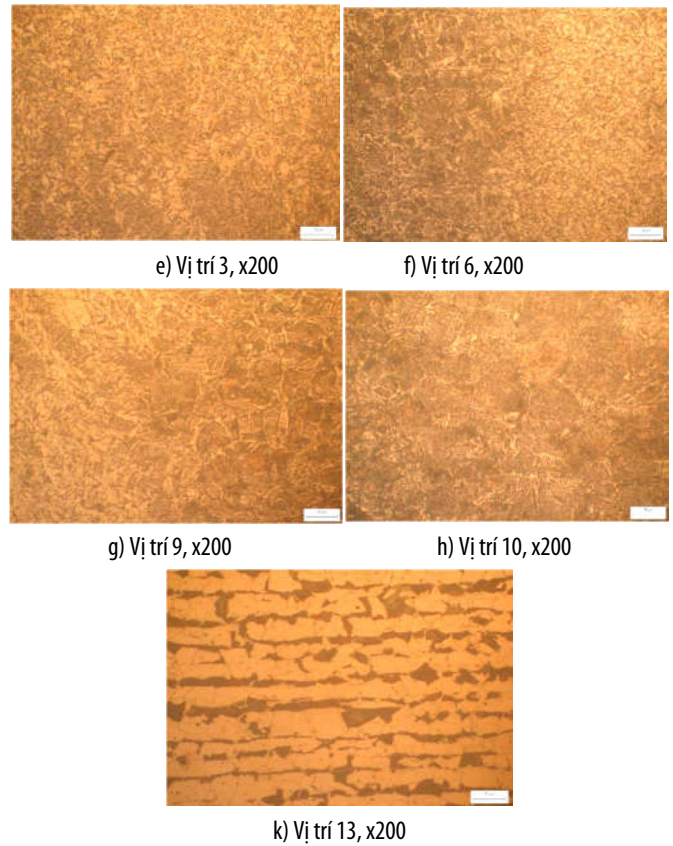
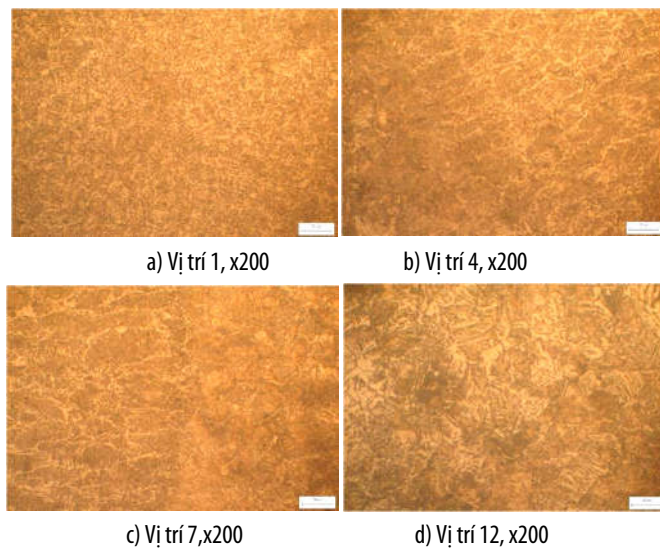


Hình 5. Sơ đồ chọn và ký hiệu vị trí khảo sát chụp ảnh tổ chức tế vi trên mặt cắt ngang mẫu hàn giáp mối thép tấm dày CT3 với khe hở hẹp ở mặt đáy là 10mm, góc vát mép $\alpha = 15^\circ$

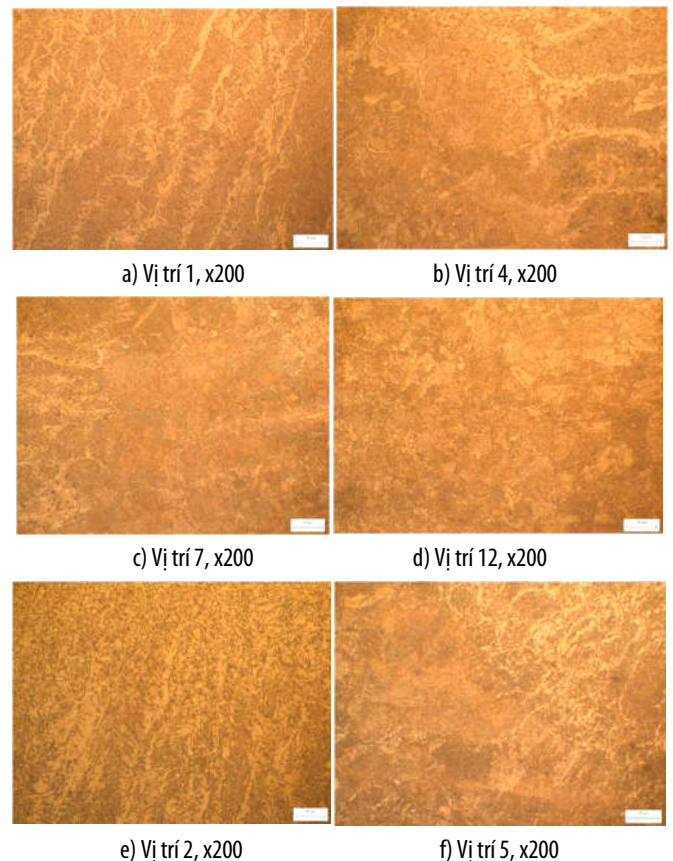
Hình 5 là sơ đồ chọn và đánh số ký hiệu các tiểu vùng cấu trúc đặc trưng của vật liệu mối hàn thép tấm dày CT3 với khe hở hẹp (có vát mép $\alpha = 15^\circ$) trên bề mặt mẫu khảo sát đã được cắt ngang mối hàn để tiến hành chụp ảnh tổ chức tế vi ở tâm mối hàn, gần biên giới kim loại mối hàn với vùng ảnh hưởng nhiệt và kim loại cơ bản. Ở đây, mối hàn được cắt dày chia thành ba phân lớp từ bề mặt trên xuống dưới phần đáy theo chiều cao mẫu và lấy ký hiệu tương ứng là M_{x3} , M_{y2} và M_z1 . Các vị trí khảo sát (1), (2) và (3) được chọn ở giữa mối hàn tương ứng với ba phân lớp đó. Các vị trí (4), (5) và (6) chọn trên biên giới giữa mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) ở phía bên phải, còn vị trí (7), (8) và (9) - trên biên giới giữa mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) ở phía bên trái. Các vị trí còn lại (10), (11), (12) chọn trong vùng HAZ và gần với vùng HAZ ở hai phía mối hàn ở khoảng cách tương đối dự kiến quan sát được có sự thay đổi cơ lý tính của mối hàn.

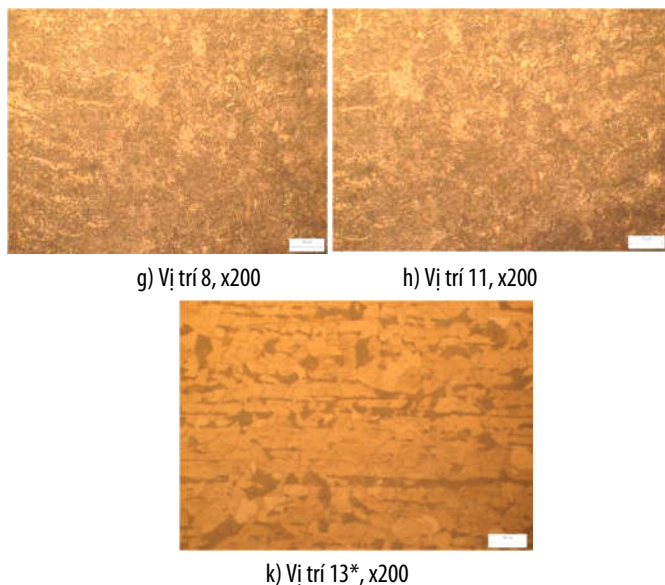
Dưới đây là kết quả thu nhận được trên một số mẫu thí nghiệm điển hình tương ứng với các chế độ hàn đã chọn trong miền quy hoạch thực nghiệm đã chọn.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN



Hình 6. Ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn thép tấm dày CT3 với khe hở hẹp, góc vát mép $\alpha = 15^\circ$ ở các vị trí khảo sát khác nhau trên mẫu thí nghiệm số M30 (a ÷ d) và M2 (e ÷ k)





Hình 7. Ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn thép tấm dày CT3 với khe hở hẹp, góc vát mép $\alpha = 15^\circ$ trên mẫu thí nghiệm số M21 (a ÷ d) và M8 (e ÷ k)

Kết quả thí nghiệm nghiên cứu khảo sát và chụp ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn thép tấm dày CT3 với khe hở hẹp trên 04 mẫu điển hình tương ứng với 04 nút quy hoạch lựa chọn và theo sơ đồ hình 5 được thể hiện trên hình 6 và 7.

Phân tích kết quả thí nghiệm trên hình 6 và 7 cho thấy:

- Hình 6 a÷d là ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn được xác định trên mẫu thí nghiệm M3 cho thấy: tại vị trí 1 là vùng cấu trúc chính giữa trên phần đáy (1) mẫu thí nghiệm tương ứng với sơ đồ khảo sát trên hình 5, tổ chức vật liệu mối hàn có kích thước hạt khá mịn và tương đối đều, đảm bảo độ cứng cao (hình 6a). Dịch chuyển sang vị trí 4 trên biên giới hàn phía bên phải (B.G.H_p) có tổ chức vật liệu đặc trưng bởi một phân vùng cấu trúc tính từ trái qua phải với kích thước hạt mịn tương đồng với cấu trúc ở giữa mối hàn (hình 6b). Tiếp đến vị trí 7 còn tiếp theo là vùng có cấu trúc với kích thước hạt lớn hơn khi tiến gần sát với vùng B.G.H_t (hình 6c). Tại vị trí 12 (hình 6d) là vùng cấu trúc có sự ảnh hưởng nhiệt bên phải mẫu (HAZ_t) khá rõ nét bởi thấy rõ kích thước các hạt ở ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn ở đây lớn hơn nhiều so với các vùng cấu trúc ở các vị trí 1 và 4. Điều đó chứng tỏ lượng nhiệt trong quá trình hàn, ngoài sự thoát ra trong môi trường không khí, còn có sự truyền trực tiếp ra các tấm thép dày hàn giáp mối rất đáng kể, kết quả làm cho vật liệu ở các vùng cấu trúc đi từ trung tâm mối hàn đến B.G.H_p và B.G.H_t; tiếp đó là vùng ảnh hưởng nhiệt HAZ_p và HAZ_t; cuối cùng là kim loại cơ bản (cả hai phía mối hàn) có kích thước hạt tăng dần. Đặc biệt là tại vùng kim loại cơ bản tổ chức tế vi vật liệu có đặc điểm của phôi thép các bon thường hóa ban đầu sử dụng cho thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm ở mẫu M3 cho thấy rất phù hợp với cơ sở lý thuyết chung khi hàn giáp mối các tấm kim loại với nhau;

- Các ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn được xác định trên mẫu thí nghiệm số M2 trên các hình 6 e÷k cho thấy: tại vị trí 3 (hình 6e, tương ứng với sơ đồ khảo sát mẫu trên hình 5) tổ chức tế vi vùng cấu trúc trung tâm thuộc miền khảo

sát phần (3) trên cùng của mối hàn, nó có đặc điểm giống như ở vị trí 1 của phần đáy (1), kích thước hạt các pha cấu trúc tương đối mịn và đều do ảnh hưởng nhiệt hàn chưa lớn, đảm bảo độ cứng vật liệu mối hàn cao. Khi tiến sang vị trí 6 trên B.G.H_p (hình 6f) nhận được tổ chức tế vi vật liệu mối hàn có đặc điểm tương tự như ở vị trí 4 ở phần đáy (2) đã xét ở trên. Đến vị trí 9 (hình 6g), tổ chức tế vi vật liệu mối hàn trên vùng biên giới với mặt bên phía trái (B.G.H_t) cũng có đặc điểm giống như ở vị trí 6, thấy rõ hai phân vùng cấu trúc có kích thước hạt các pha cấu trúc có sự khác nhau khá rõ nét. Vị trí 10 (hình 6h) tương ứng với vùng cấu trúc ảnh hưởng nhiệt bên trái (HAZ_t) khá rõ nét, tổ chức tế vi có đặc điểm kích thước hạt các pha cấu trúc lớn hơn đáng kể so với ở giữa mối hàn và trên biên giới với mặt bên. Vị trí 13 (hình 6k) khá cách xa B.G.H_p, tương ứng với vùng kim loại cơ bản, tổ chức tế vi vật liệu ở đây có đặc điểm của phôi thép các bon thường hóa ban đầu sử dụng cho thí nghiệm;

- Hình 7 a÷d là ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn được xác định trên mẫu thí nghiệm M21 cho thấy: tại vị trí 1 là vùng cấu trúc chính giữa trên phần đáy (1) mẫu thí nghiệm tương ứng với sơ đồ khảo sát trên hình 5, tổ chức vật liệu mối hàn có kích thước khá lớn và hình dạng kéo dài, không giống như hai mẫu M2 và M3 đã xét (hình 7a). Điều này có thể do quá nhiệt vì trong quá trình hàn liên tục và không bật thổi quạt gió làm mát mẫu. Dịch chuyển sang vị trí 4 trên biên giới hàn phía bên phải (B.G.H_p) có tổ chức vật liệu đặc trưng bởi một phân vùng cấu trúc tính từ trái qua phải với kích thước hạt tương đối đều ở bên trái và dạng cấu trúc pha kéo dài với kích thước lớn hơn khi tiến gần sát với vùng B.G.H_p (hình 7b) nếu so sánh với cấu trúc đặc trưng ở vị trí 1 tại vùng chính giữa mối hàn (hình 7a). Tiếp đến là ở vị trí 7 (hình 7c) tổ chức tế vi vật liệu mối hàn trên B.G.H_t có đặc điểm tương tự như vị trí 4 trên B.G.H_p. Tại vị trí 12 (hình 7d) là vùng cấu trúc có sự ảnh hưởng nhiệt bên phải mẫu (HAZ_p) khá rõ nét, kích thước các hạt ở ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn ở đây tương đối đều và lớn hơn so với các vùng cấu trúc ở các vị trí 1 và 4. Giải thích hiện tượng này do cơ chế truyền nhiệt từ vùng hàn ra hai bên kim loại cơ bản và khuếch tán vào môi trường không khí như đối với hai mẫu M2 và M3 ở trên, điều đó dẫn đến vật liệu ở các vùng cấu trúc đi từ trung tâm mối hàn đến B.G.H_p, tiếp đó là vùng ảnh hưởng nhiệt HAZ_p và cuối cùng là kim loại cơ bản (tương tự theo hướng ngược lại là B.G.H_t; HAZ_t) đều có kích thước hạt tăng dần;

- Các ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn cho trên các hình 7 e÷k nhận được trên mẫu thí nghiệm M8 cho thấy: tại vị trí 2 là vùng cấu trúc chính giữa trên phần giữa (2) của mẫu thí nghiệm, tương ứng với sơ đồ khảo sát trên hình 5. Tổ chức vật liệu mối hàn trong trường hợp này có kích thước không quá lớn và hình dạng kéo dài (hình 7e). Giải thích điều này là do trong quá trình hàn có bật thổi quạt gió làm mát và hàn các lớp không liên tục từ phần đáy (1) sang phần giữa (2), làm cho mẫu thí nghiệm nguội hơn. Tại vị trí 5 trên B.G.H_p (hình 7f), tổ chức vật liệu đặc trưng bởi hai phân vùng cấu trúc bên trái và bên phải với kích thước hạt tương đối lớn và hình dạng cấu trúc pha kéo dài ở vùng gần sát với B.G.H_p. Tại

vị trí 8 phía bên trái ảnh (hình 7g), tổ chức tế vi vật liệu mối hàn trên biên giới với mặt bên trái (B.G.H_t) có đặc điểm tương tự như tổ chức tại vị trí 5 bên phải (B.G.H_p), nhưng sự phân biệt giữa hai phân miền cấu trúc ít rõ nét hơn. Cuối cùng là tại vị trí 13* (hình 7k) là vùng cấu trúc vùng kim loại cơ bản nằm cách xa hơn vùng có ảnh hưởng nhiệt, tương ứng với tổ chức của thép các bon thường hóa làm phôi thí nghiệm. Giải thích hiện tượng có sự khác biệt nhau về hình dáng và kích thước hạt cấu trúc pha tại những vị trí điển hình được khảo sát trên mẫu M8 cũng tương tự như các mẫu khác đã xét. Nguyên nhân chủ yếu là do cơ chế truyền nhiệt từ vùng hàn ra hai bên kim loại cơ bản và khuếch tán vào môi trường không khí trong mỗi trường hợp thí nghiệm dẫn đến vật liệu ở các vùng cấu trúc đi từ trung tâm mối hàn đến B.G.H_p, tiếp đó là vùng ảnh hưởng nhiệt HAZ_p và cuối cùng là kim loại cơ bản (tương tự theo hướng ngược lại là B.G.H_t; HAZ_t) có kích thước hạt tăng dần.

Như vậy, trong 04 mẫu thí nghiệm có kết quả trên nhận thấy chất lượng mối hàn theo góc nhìn từ quan điểm đánh giá tính chất tổ chức tế vi tại một số vị trí khảo sát đặc trưng lựa chọn là khá tốt, đảm bảo được các yêu cầu cơ bản của kết cấu hàn thép tấm dày trên thực tiễn sản xuất cơ khí ở Việt Nam.

Qua thực hiện các thí nghiệm trong công trình [10] đối với mẫu có chiều dày 20mm và góc vát mép mỗi bên lớn ($\alpha = 30^\circ$) hạn chế đó hầu như không đáng kể, chất lượng mối hàn đạt được ở mức rất tốt. Tuy nhiên, nhược điểm ở đây là các lớp hàn càng đi lên phía trên mẫu thí nghiệm càng phải hàn nhiều lượt với bán kính vòng quay hoặc bước lắc ngang càng lớn, dẫn đến tiêu tốn nhiều hơn điện cực hàn và năng lượng, thời gian hoàn thành mối hàn lâu hơn. Điều đó cho thấy với kết cấu mối hàn có góc vát mép càng nhỏ thì hiệu quả quá trình hàn khe hở hẹp càng cao nhờ giảm thiểu tiêu hao điện cực dây đồng và năng lượng điện hàn sử dụng.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thực nghiệm trên đây rút ra kết luận như sau:

+ Kết quả phân tích đặc tính các ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn tại những vị trí đặc trưng (vùng giữa mối hàn, vùng có ảnh hưởng nhiệt, vùng kim loại cơ bản) tương ứng với hình 6 và 7 đều có chất lượng tốt, khá tương đồng với đặc điểm cấu trúc mối hàn đã đề cập ở công trình [10];

+ Chất lượng mối hàn trên các mẫu trong các thí nghiệm ở nghiên cứu này đều đạt yêu cầu, không có hoặc rất ít có khuyết tật bên trong. Tuy nhiên, với số lượng thí nghiệm lựa chọn còn hạn chế thì chưa có đủ số liệu thống kê thực nghiệm cần thiết để tính toán xây dựng được mô hình toán học biểu diễn quy luật ảnh hưởng của ba thống số đầu vào đến hàm mục tiêu đầu ra cần tìm khi đánh giá chất lượng tổng hợp của mối hàn giáp mối thép tấm dày với khe hở hẹp và góc vát mép nhỏ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Barbara K. Henon, 2010. *Automated hot wire TIG with positioned for high productivity quality welding*. Focus on Nuclear Power Generation.
- [2]. Salkin, Jonathan T, 2007. *Hot Wire Gas Tungsten Arc Welding, An Overview of process, applications and capabilities*. Fabtech International & AWS Welding Show Hot Wire Welding and Cladding Conference.
- [3]. Blackman S.A, Dorling D.V, Howard R., 2002. *High - speed tandem GMAW for pipeline welding*. International Pipeline Conference, Vol. 2, p.272- 295;
- [4]. Jeff M., Kikel, 2007. *Hot wire narrow groove welding and cladding with nickel-based alloys*. Fabtech International & AWS Welding Show Hot Wire Welding and Cladding Conference.
- [5]. Jean-Pierre Barthoux, 2008. *Narrow gap welding of heavy wall thickness materials in nuclear and fossil fuel industries*. Focus on Nuclear Power Generation, pp. 36-42.
- [6]. Murayama Masatoshi, Oazamoto Daisuke, Ooe Kensuke, 2015. *Narrow Gap Gas Metal Arc (GMA) Welding Technologies*. JFE Technical Report, No. 20, pp.147-153;
- [7]. Jae-Seong Kim, Hui-Jun Yi, 2017. *Characteristics of GMAW Narrow Gap Welding on the Armor Steel of Combat Vehicles*. Applied Sciences (www.mdpi.com/journal/applsci), 7, 658, 13 p.;
- [8]. *Narrow Gap Welding Process Tandem Submerged Arc*. LINCOLN Electric Automation Division, www.lincolnelectric.com/automated-solutions;
- [9]. Ngo Trong Binh, et al., 2015. *Narrow gap welding in protective gas for thick steel plates with un-chamfered edges*. Proceedings of the 4th National Conference on Mechanical Science & Tecnology.
- [10]. Ngo Trong Binh, Ha Minh Hung, Dao Duy Trung, Nguyen Van Duc, 2020. *Study on the characteristics of butt weld with narrow gap with chamfer by MAG welding method*. The Vietnam Journal Mechanical Engineering, Vol. 12, pp. 15-22.

AUTHORS INFORMATION

Ha Minh Hung¹, Ngo Trong Binh¹, Dao Duy Trung¹, Nguyen Van Duc²

¹The National Research Institute of Mechanical Engineering, Vietnam

²Hanoi University of Science and Technology