

NGHIÊN CỨU HÀN GIÁP MỐI THÉP BORON BẰNG PHƯƠNG PHÁP HÀN MA SÁT KHUẤY

RESEARCH BUTT-JOINT OF BORON STEEL BY FRICTION WELDING PROCESS

Nguyễn Quốc Mạnh

TÓM TẮT

Phương pháp hàn ma sát khuấy (Friction Stir Welding - FSW) là một phương pháp hàn ở trạng thái chảy dẻo và được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp vì nó hiệu quả, thân thiện với môi trường và chi phí thấp. Với, thép boron là một loại thép nhẹ nhưng có cường độ cao và độ bền kéo có thể đạt tới 1500MPa. Trên thực tế, nó được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp ô tô và hàng không vũ trụ vì tính chịu lực và khả năng tiết kiệm nhiên liệu khi chế tạo kết cấu khung vỏ. Trong nghiên cứu này, liên kết hàn giáp mối thép boron với chiều dày 1mm được thực hiện thành công bằng phương pháp hàn ma sát khuấy. Cấu trúc tế vi và những tính cơ học cơ bản của liên kết hàn được nghiên cứu bằng các phương pháp khác nhau. Các kết quả của nghiên cứu đã cho thấy rằng ta có thể sử dụng phương pháp hàn ma sát khuấy để hàn các kết cấu thép boron mà không cần phải gia nhiệt và phương pháp này có thể làm thay đổi cấu trúc cục bộ của thép boron tại khu vực hàn.

Từ khóa: Hàn ma sát khuấy, thép boron, cấu trúc tế vi, độ cứng tế vi.

ABSTRACT

Friction stir welding (FSW) is a solid-state joining process and is widely used in many industries because it is efficient, low cost, and environmentally friendly. Boron steel is a lightweight material but high-strength steel with a tensile strength of up to 1500MPa. In fact, it is also used in the automotive and aerospace industries due to the lightweight, high bearing, and energy-saving capacity when manufacturing the shell frame texture. In this research, the butt-joint boron steel of 1mm thickness was welded successfully by the friction stir welding process. The microstructure and basic mechanical properties of the welding were investigated by different methods. The results of the research showed that we can use friction stir welding to weld boron steel without heating before welds and this method can change the structure of boron steel at welding areas.

Keywords: Friction stir welding, boron steel, micro-structure, micro-hardness, tensile strength.

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Email: manhrobocon@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/3/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/4/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2021

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, với xu hướng phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật, yêu cầu tạo ra những sản phẩm đáp ứng được hầu hết các tiêu chuẩn khắt khe về độ an toàn khi sử

dụng mà vẫn tiết kiệm được vật liệu khi chế tạo, giảm thiểu mức tiêu thụ nhiên liệu trong quá trình vận hành ngày càng là vấn đề cấp bách. Đây là một bài toán khó đối với các ngành công nghiệp, đặc biệt là ngành công nghiệp lắp ráp và chế tạo ô tô, hàng không vũ trụ. Khi sử dụng vật liệu truyền thống để chế tạo, việc tạo ra một kết cấu khung vững chắc đồng nghĩa với việc phải tăng thêm các chi tiết và tạo cho chúng có sự ràng buộc nhất định với nhau, điều này vô hình dung làm tăng thêm trọng lượng của kết cấu sau chế tạo. Trong số các hợp kim được lựa chọn để thay thế cho thép truyền thống, boron là thép cường lực có độ bền kéo cao (có thể đạt tới 1500MPa) đã và đang là một trong những lựa chọn hàng đầu của các hãng sản xuất, lắp ráp ô tô lựa chọn nhằm giảm được khối lượng, nhưng vẫn đảm bảo độ bền vững và độ dẻo của kết cấu [1-4]. Đã có nhiều tác giả nghiên cứu quá trình hàn thép boron nhằm mang lại những kết quả tối ưu, điển hình là những tác giả: Gerson Meschut và các cộng sự [5] nghiên cứu hàn lai ghép giữa thép boron với hợp kim nhôm A6061 nhằm giảm trọng lượng của khung vỏ xe ô tô. Trong nghiên cứu của mình, các tác giả đã chỉ ra các phương pháp có thể được sử dụng để hàn giữa thép boron và hợp kim nhôm A6061 là tán đinh ri vê bằng phương pháp tán áp lực và hàn tiếp xúc điểm. Các phương pháp này đã cho cấu trúc khu vực kết nối giữa hai vật liệu được cải thiện rất nhiều, liên kết có độ bám và độ bền kéo cao. Kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng vào hàn cột B và bộ phận móc nối của xe. Để cải thiện kết quả của mối nối, có thể phải sử dụng một chu kỳ xử lý nhiệt ngắn tại các khu vực cần nối thông qua các robot chuyên dụng. Tác giả Y. Hovanski cùng các cộng sự sử dụng quá trình hàn ma sát khuấy điểm để hàn thép boron với chiều dày 1,4mm [6]. Trong nghiên cứu của mình, nhóm tác giả lựa chọn thép boron cán nóng với độ bền kéo danh nghĩa là 1500MPa và độ giãn dài tương đối là 9% để thực hiện quá trình hàn chồng. Các kết quả trong nghiên cứu đã chỉ ra rằng độ ăn sâu và vận tốc quay của đầu khuấy có ảnh hưởng rất lớn đến sự hình thành điểm hàn cũng như độ bền kéo của liên kết hàn. Cấu trúc pha ferrit được quan sát thấy tại khu vực liên kết giữa hai chi tiết và một lớp mỏng tại khu vực giao diện của đầu khuấy với vùng ảnh hưởng nhiệt. Trong nghiên cứu [7], Hrishikesh Das và các cộng sự nghiên cứu cấu trúc tế vi và các đặc tính cơ học của liên kết hàn giáp mối thép boron với chiều dày 2mm bằng

phương pháp hàn ma sát khuấy. Trong nghiên cứu của mình, nhóm tác giả đã chỉ ra rằng, cấu trúc tế vi khu vực khuấy chủ yếu là cấu trúc martensite, còn khu vực ảnh hưởng cơ nhiệt của quá trình hàn gồm cấu trúc bainite và bainite dạng hạt với một lượng nhỏ cấu trúc martensite. Mục đích của nghiên cứu này là sử dụng quá trình hàn ma sát khuấy để hàn liên kết giáp mối thép boron mà không sử dụng quá trình gia nhiệt trước khi hàn.

2. VẬT LIỆU VÀ TRÌNH TỰ THỰC HIỆN THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu hàn

Toàn bộ vật liệu cơ bản được sử dụng trong nghiên cứu này là các tấm thép boron với chiều dày là 1mm. Thành phần hoá học và đặc tính cơ học cơ bản của thép boron sử dụng trong nghiên cứu này được trình bày trong bảng 1, 2 [5, 8].

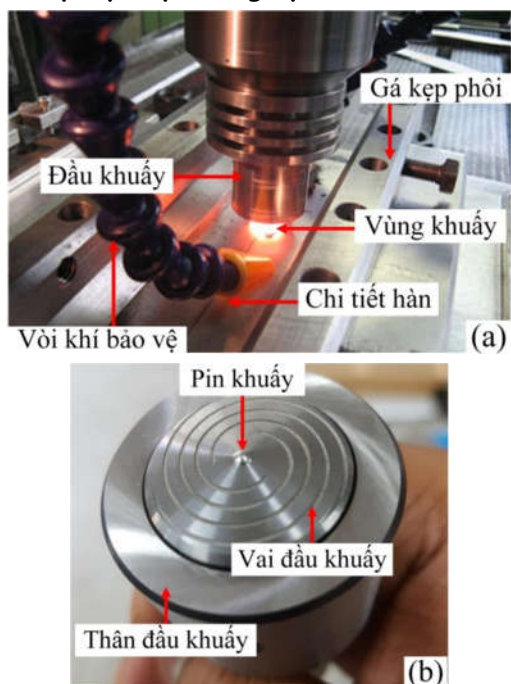
Bảng 1. Thành phần hoá học của thép Boron (%)

C	Si	Mn	Al	B	Ti	Fe
0,2-0,25	0,15-0,35	1,10-1,30	0,02-0,06	0,002-0,004	0,02-0,04	Còn lại

Bảng 2. Đặc tính cơ học thép boron

Giới hạn bền (MPa)	Độ bền kéo (MPa)	Độ giãn dài tương đối (%)
1150	1550	16,1

2.2. Trình tự thực hiện thí nghiệm

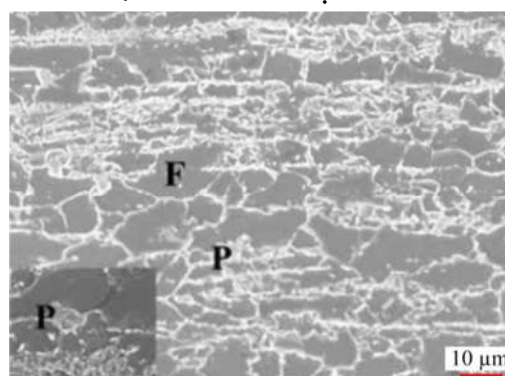


Hình 1. (a) Sơ đồ hàn ma sát khuấy liên kết hàn giáp mối thép boron và (b) hình dạng đầu khuấy được sử dụng để hàn thép boron

Các tấm vật liệu cơ bản được sử dụng trong nghiên cứu này được cắt theo một kích thước cố định: chiều dài 140mm, chiều rộng 100mm. Sau khi hoàn thiện việc cắt, các chi tiết được mài qua pavia (nếu có) và làm sạch bề mặt của các tấm hàn bằng máy mài tay với giấy nhám độ mịn cao. Một lượng khí Argon bảo vệ được duy trì trong suốt

quá trình hàn với lưu lượng 10 lít/ phút nhằm bảo vệ khu vực hàn khỏi sự xâm nhập của các khí có hại ngoài môi trường và tiếp tục duy trì 2 phút sau khi quá trình hàn kết thúc. Quá trình hàn được thực hiện trên máy hàn ma sát khuấy RM1 tại Phòng Thí nghiệm của Giáo sư Sung Tae Hong, trường Đại học Ulsal, Hàn Quốc. Các thông số chế độ hàn được sử dụng trong nghiên cứu này được lựa chọn như sau: dạng đầu khuấy được sử dụng là loại vai chóp nón với rãnh xoáy, bán kính đầu khuấy: $r_{pin} = 5mm$; đường kính vai khuấy $r_{vaikhuay} = 12mm$. Chiều cao của đầu khuấy được lấy bằng chiều dày của tấm khuấy (1mm). Tốc độ khuấy là $\omega = 1500$ vòng/ phút và tốc độ tiến dao trong quá trình hàn là $v = 50mm/phút$. Độ ăn sâu của đầu khuấy trong quá trình hàn 0,85mm. Sơ đồ thực hiện thí nghiệm [9] và dạng đầu khuấy sử dụng làm thí nghiệm được thể hiện trong hình 1.

3. MỘT SỐ KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 2. Cấu trúc tế vi thép boron

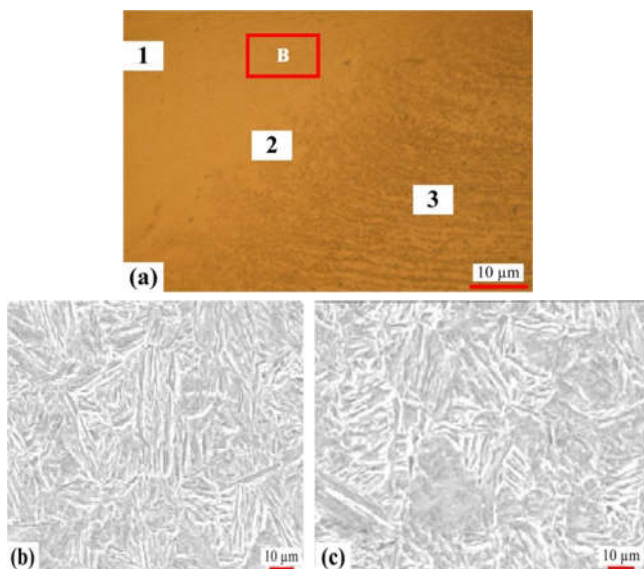
Hình 2 mô tả cấu trúc tế vi thép boron [7, 10] được sử dụng làm vật liệu cơ bản trong quá trình hàn ma sát khuấy liên kết hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn ma sát khuấy phóng đại lên 1000 lần bằng phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM). Quan sát hình ảnh được công bố bởi nhóm tác giả có thể nhận thấy cấu trúc tế vi của thép này gồm pha Peclit trắng trên nền cấu trúc pha Ferrit xám điển hình. Với cấu trúc này, giúp cho hợp kim này có các đặc tính cơ học, hệ số ma sát rất tốt, độ cứng cao nhưng độ dẻo dai cũng rất tốt khi được xử lý ủ và ủ tới hạn.



Hình 3. Cấu trúc thô đại liên kết hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn ma sát khuấy

Hình 3 mô tả cấu trúc thô đại mặt cắt ngang của mối hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn ma sát khuấy với độ sâu ăn dao 0,85mm. Quan sát hình ảnh mặt cắt ngang mối hàn ta có thể nhận thấy: Khu vực 4 là kim loại cơ bản; tại khu vực này vật liệu cách xa tâm của nguồn nhiệt hàn nên hầu như không chịu sự tác động (hoặc rất ít) từ nguồn nhiệt ma sát của quá trình hàn, vì vậy cấu trúc tế vi không có sự thay đổi so với vật liệu ban đầu được sử dụng làm thí nghiệm; khu vực số 1 là khu vực giáp ranh giữa kim loại cơ bản và kim loại mối hàn, khu vực này gần với tâm

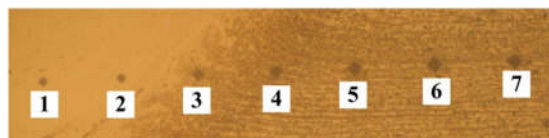
của nguồn nhiệt hàn ma sát khuấy nên bị ảnh hưởng nhiệt. Tại khu vực này, vật liệu cơ bản trải qua một chu trình nhiệt tương đương với chu trình nhiệt hàn nhưng ở mức độ thấp hơn. Do đó, kim loại tại khu vực này gần như không bị biến dạng dẻo. Kích thước hạt tại khu vực này cũng khá lớn, nó gần tương đương với kích thước hạt của vật liệu cơ bản. Khu vực số 2 là khu vực viền chảy. Tại khu vực này, vật liệu chịu tác động của nguồn nhiệt hàn và hướng của dòng chảy kim loại trong quá trình hàn ma sát của đầu khuấy tạo nên. Kích thước hạt tại khu vực này cũng khá nhỏ so với các khu vực khác trong mối hàn. Sự thay đổi cấu trúc tế vi của các khu vực này có sự khác nhau khá lớn và cấu trúc của chúng cũng có những ảnh hưởng rất nhiều đến các tính chất cơ học của liên kết sau khi hàn. Khu vực số 3 là khu vực vùng khuấy (hay còn được vùng kim loại mối hàn). Tại khu vực này, dưới tác động của đầu khuấy trong quá trình hàn nên vật liệu bị biến dạng nhiều nhất và có sự thay đổi cấu trúc mạnh mẽ nhất sau khi hàn. Khu vực mối hàn chính là khu vực chịu tác động lớn nhất của chu trình nhiệt hàn, dưới tác động của nhiệt trong quá trình hàn, kích thước hạt tại khu vực này luôn nhỏ và mịn nhất so với các khu vực khác của mối hàn.



Hình 4. Cấu trúc tế vi liên kết hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn ma sát khuấy (a) khu vực giáp ranh mối hàn, (b) khu vực vùng khuấy (vị trí B) và (c) khu vực ảnh hưởng cơ nhiệt (khu vực 2)

Hình 4a mô tả cấu trúc tế vi khu vực giáp ranh giữa mối hàn và vùng ảnh hưởng cơ nhiệt. Quan sát hình ảnh ta có thể nhận thấy sự thay đổi rất rõ ràng về cấu trúc tế vi giữa các khu vực, đặc biệt là khu vực vùng khuấy (khu vực số 1) và khu vực kim loại cơ bản không chịu nhiều bởi sự tác động của chu trình nhiệt trong quá trình hàn (khu vực số 3). Ta có thể nhận thấy, dưới tác động liên tục của đầu khuấy trong quá trình hàn, lực ma sát của đầu khuấy khiến dòng chảy của kim loại tại khu vực khuấy xáo trộn liên tục tại khu vực tiến của đầu khuấy và có xu hướng kết tinh rồi đông đặc để hình thành lên mối hàn tại khu vực lùi của đầu khuấy. Trong quá trình kết tinh, kim loại tại những khu vực này vẫn nhận được một lưu lượng nhiệt nhất định được

truyền từ vùng khuấy đã hình thành, giúp cho cấu trúc tế vi của khu vực vùng khuấy mịn hơn nhiều khi so sánh so với khu vực ảnh hưởng cơ nhiệt và càng mịn hơn khi so sánh nó với khu vực ảnh hưởng nhiệt hay kim loại cơ bản. Hình 4b mô tả cấu trúc tế vi khu vực mối hàn (khu vực khuấy - vị trí B trong hình 4a) khi chụp ảnh bằng thiết bị hiển vi điện tử quét (SEM) ở mức phóng đại 1000 lần. Quan sát hình ảnh ta có thể nhận thấy tại khu vực này chủ yếu là sự tái kết tinh cấu trúc mactenxit dưới tác động của ma sát đầu khuấy và nhiệt sinh ra từ quá trình khuấy. Hình 4c mô tả cấu trúc tế vi khu vực ảnh hưởng cơ nhiệt (khu vực viền chảy - vị trí số 2 trong hình 4a). Quan sát cấu trúc tế vi của khu vực này ta có thể nhận thấy đây là vị trí đan xen giữa hai khu vực khuấy và khu vực ảnh hưởng nhiệt nên có sự xuất hiện của hai dạng cấu trúc: cấu trúc hạt nhỏ mịn, đồng đều và cấu trúc thô hơn và có sự không đồng đều về kích thước của các hạt. Có thể nhận thấy cấu trúc của khu vực này chủ yếu là bainit-ferit và bainit cấu trúc dạng hạt. Ngoài ra, tại khu vực này có sự xuất hiện một lượng nhỏ cấu trúc mactenxit. Theo định lý Euler [11], các kết quả này là hoàn toàn phù hợp theo định lý Euler vì trong quá trình hàn thực nghiệm, đầu khuấy quay với một tốc độ cao, ổn định trong không gian hạn chế và phức tạp của dòng chảy vật liệu làm cho sự tăng trưởng của các hạt có xu hướng phục hồi và kết tinh lại.



Hình 5. Các vị trí đo cấu trúc tế vi liên kết hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn ma sát khuấy

Hình 5 mô tả các vị trí đo độ cứng tế vi của mẫu hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn ma sát khuấy. Từ những hình ảnh và kích thước ghi nhận được từ các vết đo độ cứng tế vi ta có thể nhận thấy các điểm đo được thực hiện theo một đường thẳng từ tâm mối hàn ra phía ngoài theo thứ tự từ 1 đến 7. Kích thước quan sát được của các điểm đo lớn dần theo chiều từ mối hàn ra phía kim loại cơ bản, điều này cho ta biết độ cứng tế vi của liên kết hàn giảm dần từ tâm mối hàn ra ngoài, tương ứng với kích thước các điểm đo ta nhận được cũng tăng theo. Giá trị độ cứng lớn nhất ghi nhận được tại vị trí số 1 của khu vực khuấy (khu vực kim loại mối hàn) tương ứng 510HV và giá trị độ cứng giảm dần khi các điểm đo cách xa tâm của mối hàn. Điều này có thể hiểu là do trong quá trình hàn nhiệt độ tại khu vực tâm mối hàn tăng lên khi ma sát của đầu khuấy tạo lực ma sát lớn và tiếp xúc với chi tiết hàn làm cho nhiệt tại khu vực này tăng lên rất nhanh. Khi đầu khuấy dịch chuyển về phía trước để hoàn thành quá trình hàn, khu vực phía sau đầu khuấy kết tinh và nguội nhanh làm cho cấu trúc tại khu vực này có sự thay đổi đột ngột trước khi trở về nhiệt độ phòng, điều này gần giống như quá trình tôi thép nên độ cứng tại khu vực này tăng lên. Bảng 3 mô tả các giá trị đo độ cứng của liên kết hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn ma sát khuấy.

Bảng 3. Độ cứng tế vi liên kết hàn giáp mối thép boron bằng quá trình hàn FSW

Điểm đo	1	2	3	4	5	6	7
Giá trị độ cứng (HV)	510	491	270	259	217	214	203

4. KẾT LUẬN

Quá trình hàn ma sát khuấy đã được sử dụng để hàn thành công liên kết hàn giáp mối thép boron. Cấu trúc tế vi quan sát được tại khu vực mối hàn chủ yếu là mactenxit, của khu vực ảnh hưởng cơ nhiệt chủ yếu là bainit-ferit và bainit cấu trúc dạng hạt, một lượng nhỏ cấu trúc mactenxit cũng được tìm thấy tại khu vực này. Độ cứng tế vi tại khu vực khuấy có giá trị gấp 2,5 lần giá trị độ cứng của kim loại cơ bản. Các kết quả kiểm tra cấu trúc tế vi giúp ta biết được của các nguyên tố hợp kim có trong thép cường lực đã có sự ảnh hưởng lớn đến tổ chức tế vi của kim loại sau khi hàn. Điều này giúp ta cần chú trọng hơn trong việc xây dựng quy trình hàn thép cường lực bằng quá trình hàn ma sát khuấy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Merklein Marion, et al. 2016. *Hot stamping of boron steel sheets with tailored properties: a review*. Journal of materials processing technology 228: 11-24.
- [2]. Meschut Gerson, et al., 2014. *Hybrid technologies for joining ultra-high-strength boron steels with aluminum alloys for lightweight car body structures*. Procedia Cirp 23: 19-23.
- [3]. Karbasian Hossein, et al., 2008. *Numerical Process Design of Hot Stamping Processes Based on Optimized Thermo-mechanical Characteristic*. 1st International Conference of Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel, Kassel, Germany.
- [4]. Pouranvari Marashi, S. P. H. Marashi, 2013. *Critical review of automotive steels spot welding: process, structure and properties*. Science and Technology of welding and joining 18.5: 361-403.
- [5]. Meschut G., V. Janzen, T. Olfermann, 2014. *Innovative and highly productive joining technologies for multi-material lightweight car body structures*. Journal of Materials Engineering and Performance 23.5: 1515-1523.
- [6]. Hovanski Yuri, M. L. Santella, Glenn J. Grant, 2007. *Friction stir spot welding of hot-stamped boron steel*. Scripta Materialia 57.9: 873-876.
- [7]. Das Hrishikesh, et al., 2020. *Microstructure and mechanical properties evaluation of friction stir welded boron steel*. Journal of Mechanical Science and Technology 34.5: 2011-2017.

[8]. Dinh Kieu Anh, et al., 2018. *Intermetallic evolution of Al-Si-Coated hot stamping steel during modified electrically assisted rapid heating*. Acta Metallurgica Sinica (English Letters) 31.12: 1327-1333.

[9]. <https://metallurgyfordummies.com/friction-stir-welding.html>

[10]. Queirós G. W., et al., 2018. *Improved Wear Resistance of Boron Steels by Subcritical Annealing and Hardening with Production Cost Savings and Lower Environmental Impact*. J Material Sci Eng 7.411: 2169-0022.

[11]. Slabaugh Gregory G., 1999. *Computing Euler angles from a rotation matrix*. Retrieved on August 6.2000: 39-63.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Quoc Manh

Faculty of Mechanical Engineering, Hung Yen University of Technology and Education