

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA XỬ LÝ NHIỆT ĐẾN TỔ CHỨC VÀ CƠ TÍNH CỦA MỐI HÀN TITAN

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF TITANIUM WELDING JOINT

NGUYỄN ANH XUÂN

Phòng Đào tạo, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: nguyenganhxuan@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Trong bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu về sự hình thành tổ chức của mối hàn Titan có sử dụng dây bù hợp kim TiAl6V4. Kết quả nghiên cứu cho thấy có sự khuếch tán của nguyên tố Al từ vùng dây bù sang vùng kim loại Titan. Sau khi xử lý nhiệt (ủ, tôi và hóa già) tổ chức của mối hàn là các pha α ; β và widmanstatten. Giá trị độ cứng sau khi xử lý nhiệt cao hơn so với trước xử lý nhiệt. Giá trị độ bền đạt được là 8486MPa.

Từ khóa: Mối hàn, tổ chức, cơ tính, độ bền, pha liên kim.

Abstract

The article are presented on the microstructure of titanium welds using TiAl6V4 alloy compensating wire. The results show that the diffusion of Al element from the compensation wire region to the titanium metal region. After heat treatment (annealing, quenching and aging) the structure of the weld is the α phases; β and widmanstatten. The phase β has fine. Moreover, the microstructure has intermetallic phase. After heat treatment, The hardness's value is higher than before heat treatment. The value of strength achieved is 8486MPa.

Keywords: Welding joint, microstructure, mechanical properties, strength, intermetallic phase.

1. Mở đầu

Hàn Ti-cp, mối hàn nóng chảy sẽ bắt đầu đông đặc từ rìa của vùng nóng chảy và mặt phân cách pha rắn/lỏng sẽ di chuyển về phía đường tâm mối hàn. Khi quá trình đông đặc hoàn tất, nhiệt độ cục bộ của vật liệu mối hàn bắt đầu giảm dần. Quá trình chuyển biến ở trạng thái rắn xảy ra trong thời gian làm nguội sẽ thay đổi cấu trúc vi mô cục bộ của mối hàn Ti-cp. Quá trình chuyển biến này phụ thuộc vào tốc độ làm nguội và thành phần tạp chất trong Ti-cp.

Sau khi làm nguội, Ti chuyển biến dị hướng từ kiểu mạng lập phương tâm khối ở nhiệt độ cao (β) sang cấu trúc lục giác xếp chặt ở nhiệt độ thấp (α). Do

đó, quá trình chuyển biến $\beta \rightarrow \alpha$ xảy ra ở phía sau của vùng mối hàn. Nhiệt độ bắt đầu quá trình chuyển biến dị hướng $\beta \rightarrow \alpha$ cân bằng là $882 \pm 2^\circ\text{C}$ đối với Ti nguyên chất. Trong Ti-cp, nhiệt độ chuyển biến $\beta \rightarrow \alpha$ bị thay đổi do sự có mặt của Fe, O và các tạp chất khác [1]. Hơn nữa, phạm vi nhiệt độ bắt đầu chuyển biến phụ thuộc vào tốc độ làm nguội và nhiệt độ chuyển biến sẽ giảm khi tốc độ làm nguội tăng. Một số nghiên cứu của Elmer và các cộng sự đã đưa ra kết quả Ti-cp có nhiệt độ cân bằng $\alpha/(\alpha + \beta)$ là $885 \pm 5^\circ\text{C}$ và nhiệt độ chuyển biến cân bằng $\beta/(\beta + \alpha)$ là $915 \pm 5^\circ\text{C}$ [2]. Đối với quá trình chuyển biến mactenxit xảy ra hoàn toàn trong Ti nguyên chất với tốc độ làm nguội tới hạn khoảng 3000K/s [3]. Tuy nhiên, nghiên cứu của Elmer và Kim cho thấy tốc độ nguội tới hạn của chuyển biến mactenxit đối với Ti-cp khác biệt rõ rệt so với Ti nguyên chất [2], [4].

Tuy nhiên dù làm nguội ở mọi tốc độ thì quá trình chuyển biến vẫn xảy ra hoàn toàn. Về cơ chế, chuyển biến sẽ khác nhau trong những điều kiện làm nguội khác nhau. Có ba cơ chế để giải thích cho quá trình chuyển biến pha trong mối hàn Ti-cp. Ở tốc độ làm nguội chậm, chuyển biến pha xảy ra theo cơ chế khuếch tán - tạo mầm và phát triển mầm có kiểm soát. Tốc độ chuyển biến xảy ra rất chậm, tổ chức nhận được là các hạt $\text{Ti}\alpha$ đa cạnh. Ở tốc độ làm nguội nhanh hơn tốc độ tới hạn, chuyển biến pha xảy ra theo cơ chế chuyển biến mactenxit không khuếch tán [5]. Ở tốc độ làm nguội trung gian gần bằng tốc độ nguội tới hạn, sự chuyển biến pha có thể theo cơ chế chuyển khối lớn, theo cơ chế này mầm được tạo ra bởi các bước nhảy khuếch tán tầm ngắn qua bề mặt phân cách pha mới và nền [4], [6]. Cơ chế chuyển biến mactenxit và chuyển khối lớn đều được bắt đầu và kết thúc mà không có bất kỳ sự thay đổi nào trong thành phần giữa pha mẹ và pha sản phẩm. Do vậy, hình thái của sản phẩm hình thành từ hai cơ chế này là tương đối giống nhau và để phân biệt sản phẩm hình thành theo cơ chế nào cần phải xem xét cả hình thái cấu thành và tinh thể học của sản phẩm [7].

Tuy nhiên chưa có những nghiên cứu về ảnh hưởng của xử lý nhiệt đến tổ chức và cơ tính của mối hàn Ti sạch sử dụng dây bù TiAl6V4.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng vật liệu Ti (grade 2) với thành phần hóa học được thể hiện ở Bảng 1; phần dây bù được sử dụng là hợp kim TiAl6V4.

Bảng 1. Thành phần hóa học của kim loại hàn Ti (grade2) (% khối lượng)

Thành phần %	Ti	Fe	O
Ti (cp2)	99,45	0,3	0,25

Chế độ hàn: Sử dụng phương pháp hàn điện cực không nóng chảy và có khí trơ bảo vệ (TIG-GTAW).

Máy hàn TIG:

Nguồn điện vào: 380V;

Cường độ dòng điện: $I_{pulse}=150A$, $I_{crater}=70A$;

Điện cực: W-Th1 $\phi 2,4mm$;

Dây bù: TiAl6V4 kích thước là $\phi 2mm$;

Lượng khí bảo vệ: 15lít/phút, áp suất 12MPa.

Mỗi hàn sau khi hàn được xử lý nhiệt qua các giai đoạn ủ khuếch tán ở 900°C giữ nhiệt trong 02 giờ; tôi và hóa già ở 520°C giữ nhiệt trong 02 giờ.

Các kết quả nghiên cứu được tiến hành phân tích tổ chức trên kính hiển vi quang học VHX6800; SEM; EDS.

Ngoài ra, mẫu được tiến hành phân tích độ bền

bằng phương pháp thử kéo trên thiết bị Testometric; các thông số của quá trình thử kéo như sau: Tốc độ kéo là 100mm/phút; mẫu thử kéo có chiều rộng 5mm; chiều dày 4mm và chiều dài 23mm.

Phương pháp độ cứng được tiến hành đo độ cứng tế vi (HV). Tải đo độ cứng là HV0,05. Với tải nhỏ sẽ đảm bảo cho quá trình phân tích độ cứng tế vi tại các vùng hàn khác nhau.

3. Kết quả và thảo luận

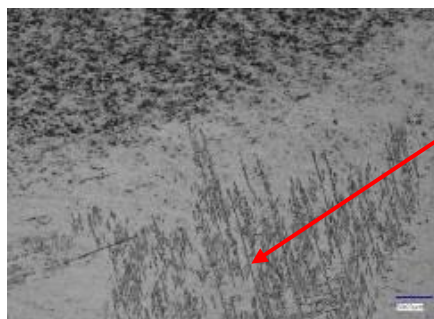
3.1. Tổ chức tế vi

* Phân tích tổ chức sau hàn

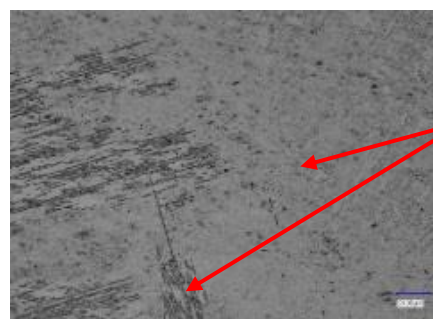
Phân tích tổ chức tế vi sau hàn (Hình 1) nhận thấy: Tổ chức bên phía Ti hoàn toàn là vùng Ti- α . Tuy nhiên ở vùng tiếp giáp mỗi hàn thấy xuất hiện dạng tổ chức hình kim có dạng cấu trúc đan phen. Dạng cấu trúc này giống với cấu trúc của vùng mỗi hàn. Đặc trưng dạng cấu trúc này là cấu trúc Widmanstatten. Tuy nhiên ở tâm mỗi hàn có hai dạng cấu trúc đan phen màu sáng và tối. Do dây bù sử dụng ở đây là dây bù hợp kim TiAl6V4 do vậy đây có thể là cấu trúc đan phen của α và β . Trong đó cấu trúc pha α có màu sáng còn cấu trúc β có màu tối.

* Phân tích tổ chức sau ủ

Phân tích tổ chức tế vi sau ủ (Hình 2) nhận thấy:

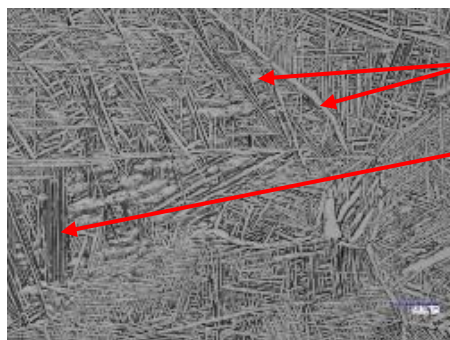


a. Vùng biên giới hàn

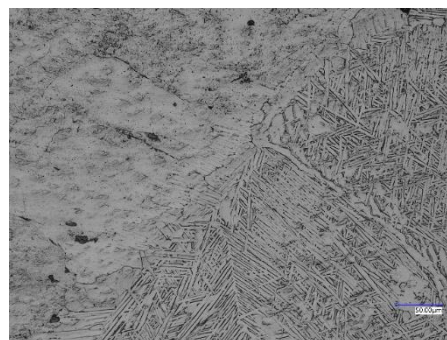


b. Vùng mỗi hàn

Hình 1. Tổ chức tế vi sau hàn

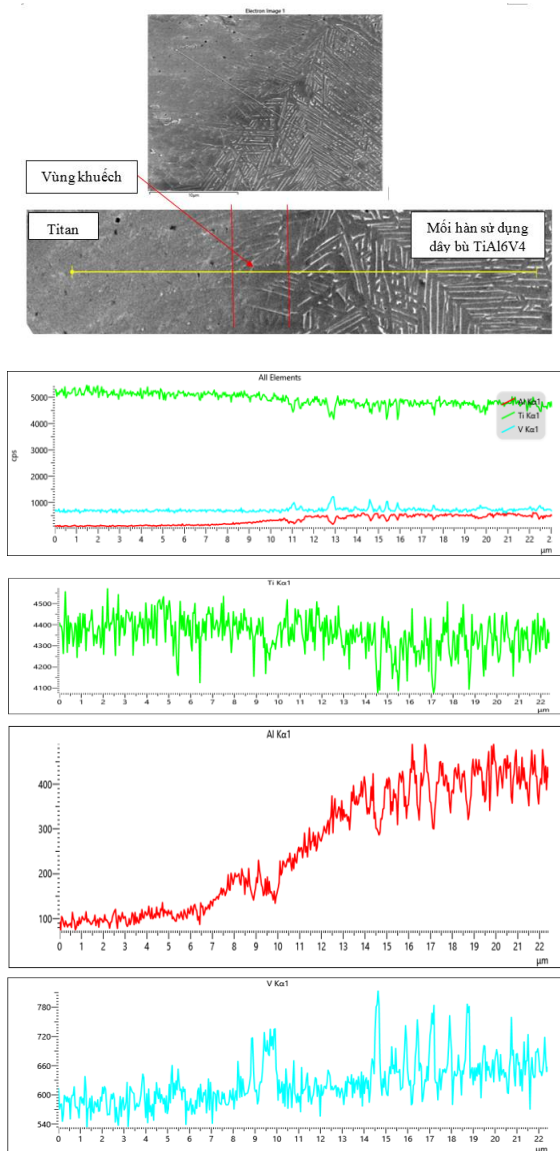


a. Vùng mỗi hàn



b. Vùng biên giới mỗi hàn

Hình 2. Tổ chức tế vi sau ủ

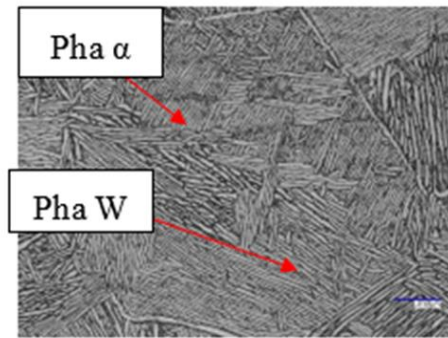


Hình 3. Kết quả phân tích EDS line mẫu sau ủ đồng đều hóa

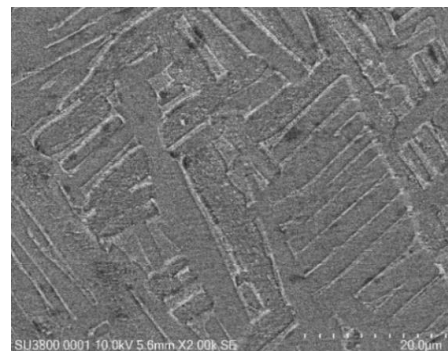
Vùng mối hàn có cấu trúc α và β tương tự như với cấu trúc của hợp kim TiAl6V4 ở trạng thái sau ủ. Quan sát tổ chức tế vi nhận thấy xuất hiện dải α bao quanh hạt và hạt α phân tán bên trong nền. Cấu trúc β dạng kim đan xen nhau bên trong tổ chức của mối hàn.

Sau khi hàn mối hàn được tiến hành ủ đồng đều hóa. Kết quả phân tích EDS line mẫu hợp kim này được thể hiện như sau:

Phân tích kết quả EDS line từ vùng Ti sang vùng mối hàn (Hình 3) nhận thấy có sự khuếch tán của các nguyên tố từ vùng mối hàn sang bên kim loại cơ bản. Tại vùng khuếch tán thấy có sự giảm năng lượng của Ti đồng thời có sự tăng về năng lượng của Al. Việc khuếch tán Al vào các pha α sẽ góp phần tăng bền cho



a. Vùng mối hàn



b. Vùng biên giới mối hàn

Hình 4. Tổ chức tế vi sau khi xử lý nhiệt

nền hợp kim nghiên cứu. Ngoài ra bằng phân tích EDS line cũng nhận thấy có một số điểm có sự giảm năng lượng của Ti và nhôm nhưng có sự tăng năng lượng của V; điều này chứng tỏ có sự hòa tan của V vào β làm tăng bền cho mối hàn nghiên cứu.

*** Phân tích tổ chức sau hóa già**

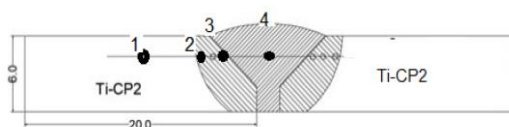
Phân tích tổ chức tế vi vùng mối hàn (Hình 4) cho thấy: Cấu trúc của vùng tâm mối hàn xuất hiện tổ chức dạng widmanstatten. Ngoài ra, khu vực tâm mối hàn có xuất hiện các pha α ở biên giới và xen kẽ bên trong hạt.

Sau xử lý nhiệt (ủ; tôi và hóa già) hình thành biên giới rõ giữa vùng HAZ của kim loại Ti và vùng hàn. Cấu trúc của vùng biên giới (vùng chuyển tiếp) là một dải màu trắng (có thể nhận định đây là cấu trúc của

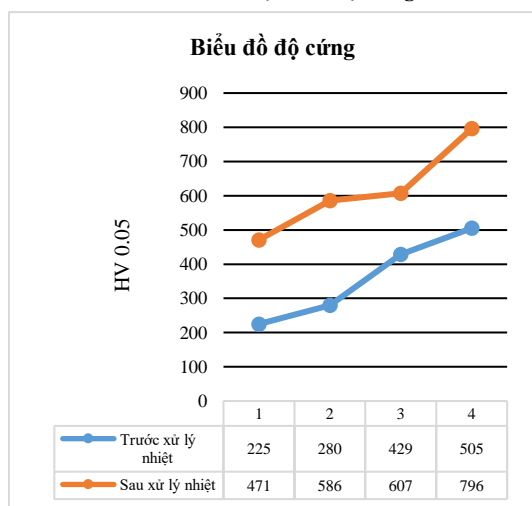
pha α). Vùng HAZ của Ti với các hạt đa cạnh α như cấu trúc của Ti sạch. Ngoài ra, còn có xuất hiện các cấu trúc β được hình thành từ mactenxit và các pha liên kim giữa Ti và Al có kích thước nhỏ mịn làm tăng bền cho hợp kim nghiên cứu.

3.2. Cơ tính

Các vị trí đo độ cứng của mối hàn được thể hiện dưới Hình 5 tương ứng với bốn vùng khác nhau của mối hàn. Vị trí 1 là vùng nền Ti, vị trí 2 là vùng ảnh hưởng nhiệt, vị trí 3 là vùng chuyển tiếp và vị trí 4 là vùng vững hàn.



Hình 5. Các vị trí đo độ cứng



Hình 6. Đồ thị độ cứng mối hàn

Từ đồ thị biểu thị độ cứng mối hàn (Hình 6) nhận thấy sự thay đổi về độ cứng của mẫu từ vùng nền Ti sang vùng vững hàn đột ngột và chênh lệch nhau rất nhiều. Độ cứng vùng vững hàn thậm chí còn cao hơn nền Ti. Khi sử dụng vật liệu bù là TiAl6V4 thì tổ chức sau khi hàn là pha α , β và tổ chức widmanstatten, mà pha β có độ cứng cao hơn nhiều so với pha α . Và trong quá trình hàn, kim loại bị nóng chảy, kết tinh sẽ làm cho vật liệu bị hóa bền biến cứng. Qua đó đảm bảo độ liên kết tốt cho mối hàn.

Độ cứng sau xử lý nhiệt, độ cứng của mối hàn và vùng Ti đã tăng. Sự chênh lệch độ cứng vùng tiếp giáp và vùng mối hàn không nhiều, điều này chứng tỏ sự khuếch tán đã xảy ra và hình thành tổ chức pha β ở vùng tiếp giáp giúp tăng độ cứng. Vùng kim loại cơ bản có độ cứng cao hơn có thể lý giải do sau xử lý nhiệt tổ chức gồm hạt alpha kết tinh lại với lượng nhỏ pha β phân tán.

Pha β này có mặt vì luôn có một lượng nhỏ Fe có trong Ti cp2 (0,30%). Fe có một lượng hòa tan rất thấp trong pha α và do đó bị đẩy tạo thành pha β . Ngoài ra Fe có mặt như là một nguyên tố hợp kim bởi pha β xuất hiện ở các biên giới hạt giúp kiểm soát kích thước hạt.

Qua các kết quả thu được sau khi thử kéo ở các mẫu (Bảng 2) ta có thể thấy giới hạn bền của mẫu sau xử lý nhiệt đã tăng đáng kể so với mẫu chưa được xử lý nhiệt. Điều này phù hợp với kết quả phân tích về tổ chức của mối hàn. Sau quá trình xử lý nhiệt có sự khuếch tán và hình thành pha hóa bền.

Bảng 2. Giới hạn bền của mối hàn trước và sau xử lý nhiệt

Ký hiệu mẫu	Lực kéo lớn nhất (KN)	Giới hạn bền (MPa)
Trước xử lý nhiệt	8025	4900
Sau xử lý nhiệt	8493	8486

4. Kết luận

Sau khi hàn trong tổ chức xuất hiện các dạng cấu trúc α , β dạng cấu trúc đặc trưng đối với dây bù TiAl6V4. Bằng phương pháp phân tích EDS lines xác định được vùng hòa trộn của dây bù và Ti.

Sau xử lý nhiệt (ủ; tôi và hóa già), xuất hiện hình thái của tổ chức widmanstatten; có sự khuếch tán của các nguyên tố hợp kim từ dây bù sang Ti. Sau xử lý nhiệt độ bền của mối hàn cao hơn so với trước xử lý nhiệt. Giá trị độ bền sau xử lý nhiệt có thể đạt tới 8486MPa, giá trị độ cứng cao nhất tại tâm mối hàn là 796HV.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT22-23.112.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. Welsch, R. Boyer, and E. W. Collings (1998), *Materials properties handbook: Titanium alloys*, 2nd ed. ASM International.
- [2] J. W. Elmer, J. Wong, and T. Ressler (1998), *Spatially resolved X-ray diffraction phase mapping and $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ transformation kinetics in the heat-affected zone of commercially pure titanium arc welds*, Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci., Vol.29, No.11, pp.2761-2773 doi: 10.1007/s11661-998-0317-5.
- [3] M. Cormier and F. Claisse (1974), *Beta-alpha phase transformation in Ti and TiO alloys*, J. Less-Common Met., Vol.34, No.2, pp.181-189. doi: 10.1016/0022-5088(74)90158-1.

- [4] S. K. Kim and J. K. Park (2002), *In-situ measurement of continuous cooling $\beta \rightarrow \alpha$ transformation behavior of CP-Ti*, Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci., Vol.33, No.4, pp.1051-1056.
doi: 10.1007/s11661-002-0206-2.
- [5] S. Banerjee and P. Mukhopadhyay (2007), *Phase Transformations - Examples from Titanium and Zirconium Alloys*, Pergamon Materials Series, Vol.12.
- [6] A. L. Pilchak and T. F. Broderick (2013), *Evidence of a massive transformation in a Ti-6Al-4V solid-state weld?*, JOM, Vol.65, No.5, pp.636-642.
doi: 10.1007/s11837-013-0591-6.
- [7] F. Fomin, M. Froend, V. Ventzke, P. Alvarez, S. Bauer, and N. Kashaev (2019), *Metallurgical aspects of joining commercially pure titanium to Ti-6Al-4V alloy in a T-joint configuration by laser beam welding*, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol.97, No.5-8, pp.2019-2031.
doi: 10.1007/s00170-018-1968-z.

Ngày nhận bài:	02/04/2023
Ngày nhận bản sửa:	11/04/2023
Ngày duyệt đăng:	16/04/2023