

NGHIÊN CỨU SỰ HÌNH THÀNH TỔ CHỨC TRONG MỐI HÀN THÉP CHỊU NHIỆT P22 VÀ P91

INVESTIGATION THE MICROSTRUCTURE OF HEAT RESISTANT P22 AND P91 WELDS

LÊ THỊ NHUNG

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: nhunglt.vck@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Thép chịu nhiệt P22 và P91 thường được sử dụng chế tạo các bộ phận nồi hơi, đường ống dẫn hơi, vỏ tuabin trong nhà máy nhiệt điện. Vị trí ghép nối giữa các ống thường được liên kết bằng mối hàn. Bài báo này sẽ nghiên cứu sự phân vùng và tổ chức hình thành trong mối hàn giữa hai vật liệu khác loại nêu trên dựa vào giản đồ pha, đường cong làm nguội liên tục CCT và ảnh tổ chức tế vi thu được bằng các phương pháp phân tích kính hiển vi quang học, SEM, EDS. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng tìm ra vùng mềm tại biên giới nóng chảy của thép P91. Đây được coi là nguyên nhân dẫn tới hiện tượng phá hủy rã khi mối hàn làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài.

Từ khóa: Giản đồ pha, CCT, thép chịu nhiệt, thép P91, thép P22.

Abstract

Heat-resistant steels P22 and P91 are often applied in boiler parts, steam pipelines, and turbine shells in a thermal power plant. The welding method is used to joint two pipes with dissimilar materials. To study the subzones and the microstructure of the dissimilar welds, this paper is based on the phase diagram, CCT continuous cooling curve, and the microstructure image obtained by optical microscope, SEM, and EDS. In addition, a soft zone is found at the P91 fusion boundary. This may be the cause of creep damage when the weld is working at high temperatures for a long time.

Keywords: Phase diagram, CCT, heat-resistant steels, P91, P22.

1. Mở đầu

Thép chịu nhiệt P91, P22 thường được sử dụng rộng rãi trong các bộ phận nồi hơi, đường ống hơi, vỏ tuabin hơi,... tại một số nhà máy nhiệt điện. Trong đó, thép P91 có chứa 9%Cr, 1%Mo dùng cho các bộ phận có nhiệt độ làm việc trên 600°C do

chúng có độ bền cao, khả năng chống mài mòn tốt và độ ổn định cấu trúc cao. Thép P22 chứa khoảng 2,25%Cr, 1%Mo dễ sản xuất và giá thành rẻ hơn so với thép P91. Do đó, tại các vị trí làm việc ở nhiệt độ thấp thường sử dụng loại thép này nhằm giảm chi phí chế tạo và vận hành. Phương pháp hàn thường được lựa chọn để tạo liên kết giữa hai vật liệu khác loại. Tuy nhiên, trong quá trình hàn, dưới tác dụng của nguồn nhiệt hàn sẽ tạo ra chuyển biến pha, hình thành các vùng có tổ chức tế vi không đồng nhất và ảnh hưởng tới cơ tính của mối hàn [1-3]. Theo các nghiên cứu trước đây cho biết, vị trí dễ bị hư hỏng trong mối hàn là vùng ảnh hưởng nhiệt thép của thép P22 với độ bền và độ dai va đập giảm mạnh so với vùng khác [4-5]. Ngoài ra, khi làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài, mối hàn dễ bị hư hỏng do hiện tượng rã. Vậy đâu là nguyên nhân dẫn tới sự giảm mạnh cơ tính trong mối hàn? Bài báo này sẽ tiến hành phân tích sự phân vùng và sự hình thành các pha của mối hàn thép chịu nhiệt P22 và P91 trên cơ sở lý thuyết và thực nghiệm.

2. Thép chịu nhiệt P22, P91 và giản đồ pha

Thép P22 là thép hợp kim thấp có chứa 2,25%Cr và khoảng 1%Mo. Nhờ khả năng hàn và đặc tính chống rã, chịu mài tốt nên vật liệu này được sử dụng rộng rãi cho các bộ phận vận hành trong nhà máy nhiệt điện như ống quá nhiệt, ống hâm nóng, đầu nhiệt và đường ống nhiệt độ cao. Hợp kim này thường sử dụng cho các chi tiết làm việc trong khoảng 370-560°C, tùy thuộc vào áp suất và tuổi thọ chi tiết [7]. Theo giản đồ pha (Hình 1), ở dưới nhiệt độ 520°C, thép P22 bao gồm các pha Ferrit, pha Laves và Cacbit M_6C . Khi nung nóng ở nhiệt độ cao hơn, pha Cacbit M_6C được tiết ra và ổn định trong khoảng 520-720°C. Đến khoảng 780°C, Cacbit M_7C_3 bị phân hủy hoàn toàn. Theo giản đồ, nhiệt độ bắt đầu xảy ra chuyển biến A_{c1} vào khoảng 799-821°C và Ferrit chuyển biến hoàn toàn thành Austenit khi nung trên A_{c3} (870°C).

Thép P91 là vật liệu chứa 9-12%Cr và được coi là bước tiến quan trọng trong quá trình phát triển của thép chịu nhiệt và chống rã ở nhiệt độ cao. Vật liệu

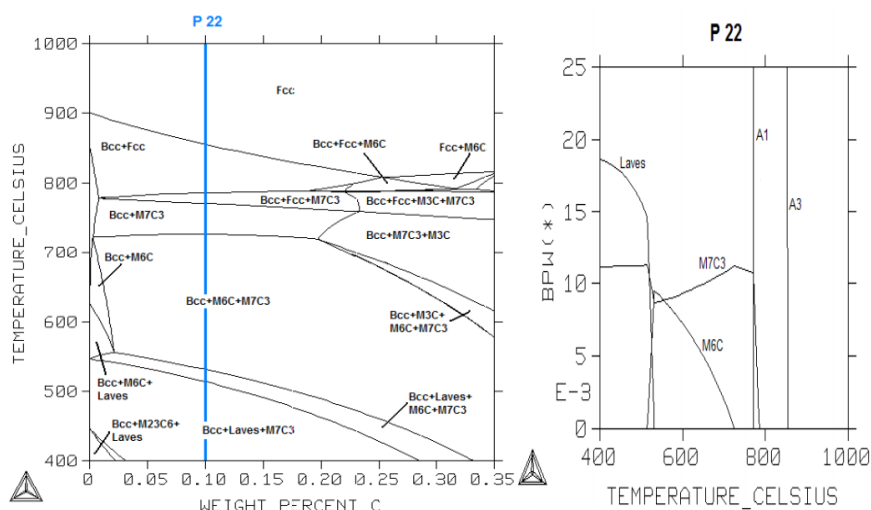
này được phát triển tại phòng Thí nghiệm quốc gia Oak Ridge, Hoa Kỳ năm 1970 và nhanh chóng được ứng dụng trong các lò phản ứng hạt nhân và các nhà máy nhiệt điện. Hợp kim được bổ sung thêm các nguyên tố hợp kim như Vanadi, Nitơ nhằm tăng độ bền rã. Theo giản đồ pha tính bằng Thermo-Cal (Hình 2), tổ chức thu được của thép ở nhiệt độ dưới 630°C là pha Laves, Cacbit $M_{23}C_6$ và pha Cacbonitride MX trên nền Mactenxit ổn định. Khi nung nóng trên 630°C, pha Laves sẽ phân hủy hoàn toàn. Austenit hình thành ở nhiệt độ khoảng 830°C. Cacbit $M_{23}C_6$ bị phân hủy ở khoảng 870°C và tổ chức thu được ở trên nhiệt độ này là Austenit và MX.

3. Đường cong làm nguội liên tục (CCT)

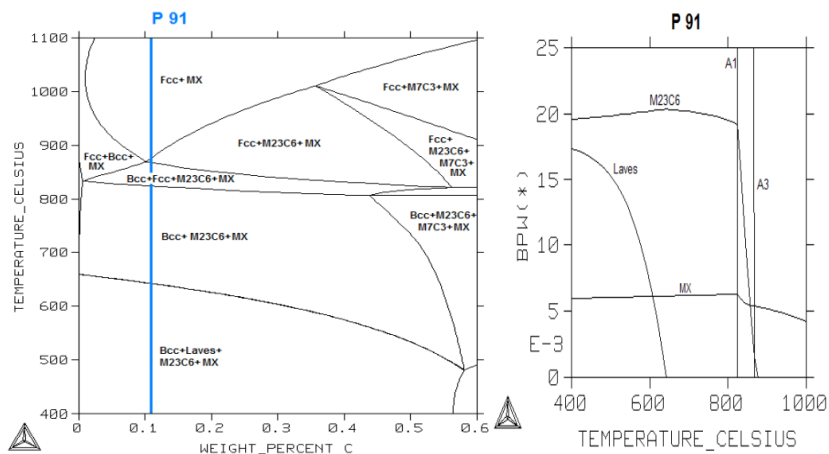
Trong quá trình hàn thép P22 và P91, dưới tác dụng của nguồn nhiệt sẽ nung nóng vùng hàn tới trạng thái nóng chảy, sau đó kết tinh để tạo ra liên kết hàn (vùng mối hàn). Ngoài ra, dưới tác dụng của nguồn nhiệt sẽ hình thành vùng ảnh hưởng nhiệt

(HAZ) tính từ biên giới nóng chảy tới vùng kim loại cơ bản có nhiệt độ khoảng 500°C. Như vậy, có hai yếu tố chính ảnh hưởng tới sự chuyển biến pha và tổ chức hình thành là nhiệt độ lớn nhất trong giai đoạn nung nóng (xem giản đồ pha ở Mục 2) và tốc độ nguội trong giai đoạn nguội. Trên thực tế, đường nguội trong quá trình hàn là nguội liên tục. Do đó, để xét ảnh hưởng của tốc độ nguội tới sự hình thành tổ chức mối hàn cần xét tới đường cong động học chuyển biến khi làm nguội liên tục (CCT).

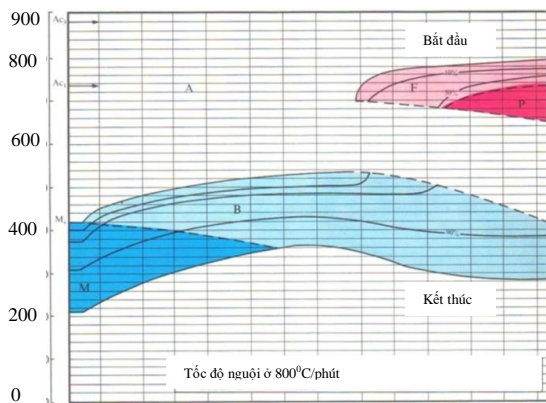
Hình 3 biểu diễn đường cong CCT của thép P22 bắt đầu nguội từ 800°C. Nhận thấy, tùy thuộc vào tốc độ nguội sẽ thu được tổ chức khác nhau. Khi tốc độ nguội chậm, tổ chức thu được là Ferrit và Peclit với tỉ phần khác nhau. Khi tăng tốc độ nguội, Austenit sẽ chuyển biến thành Bainit hoặc Mactenxit có độ cứng cao hơn. Nhiệt độ bắt đầu và kết thúc chuyển biến Mactenxit vào khoảng 390-200°C.



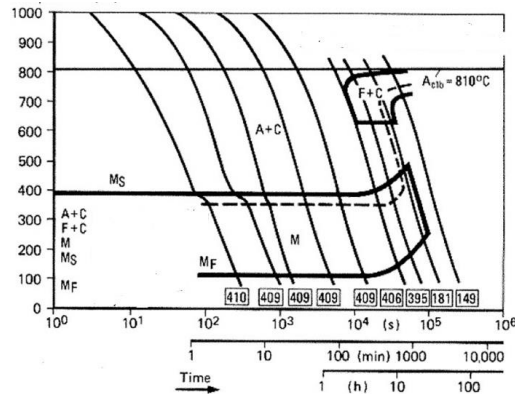
Hình 1. Giản đồ pha của thép P22 tính theo Thermo-Cal [6]



Hình 2. Giản đồ pha của thép P91 tính theo Thermo-Cal [6]



Hình 3. Đường cong CCT của thép P22 [7]



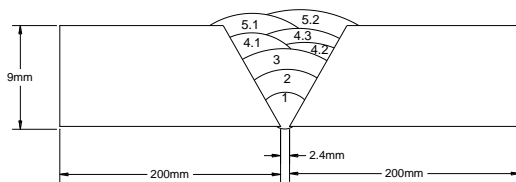
Hình 4. Đường cong CCT của thép P91 [7]

Bảng 1. Thành phần hóa học của kim loại cơ bản

Thành phần	P22	P91	Điện cực ERS-B3
C	0,12	0,12	0,11
Mn	0,51	0,38	0,60
Si	0,27	0,28	0,45
Cr	2,11	8,31	2,98
Ni	0,05	0,09	0,05
Mo	1,01	0,89	0,92
Cu	0,06	0,09	0,25
V	0,005	0,23	0,027
Nb	0,005	0,088	0,013
Ti	0,005	0,009	0,005

Bảng 2. Cơ tính của P22 và P91 [7]

Vật liệu	Độ bền (MPa)	Giới hạn chảy (MPa)	Độ giãn dài tương đối (%)
P22	> 415	205	30
P91	585~760	415	20



Hình 5. Chuẩn bị mép hàn và thứ tự hàn theo mặt cắt ngang

Bảng 3. Thông số công nghệ hàn

TT	d _q (mm)	I (A)	U (V)	v _h (mm/ph)	Gia nhiệt	Ghi chú
1	2,4	85	50	65	200-260	
2-5,2	2,4	109	55	70	200-260	

Đường cong CCT của thép P91 được thể hiện như trên Hình 4. Khi tiến hành làm nguội xuống dưới Ar₁ (810°C) bắt đầu có sự chuyển biến pha. Nếu tốc độ nguội đủ chậm, Ferrit và Cacbit được tiết ra từ Austenite. Tổ chức thu được tại thời điểm này là Austenit + cacbit + ferrit (nếu có). Khi tiếp tục làm nguội trong khoảng nhiệt độ M_s - M_f (390°C-110°C nhiệt độ bắt đầu và kết thúc chuyển biến Mactenxit),

Austenite sẽ chuyển biến thành Mactenxit. Như vậy, trong hầu hết tốc độ nguội, thép P91 đều thu được tổ chức Mactenxit, Cacbit và Cacbonitride.

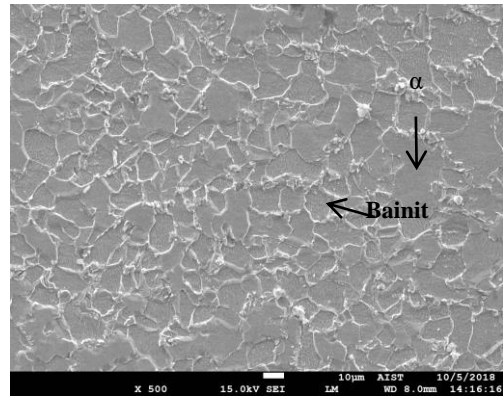
4. Thực nghiệm

4.1. Kim loại cơ bản

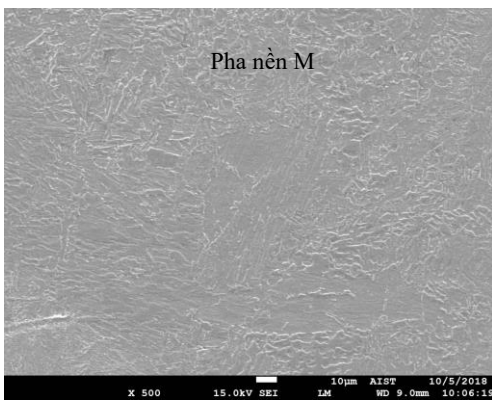
Hai ống thép chịu nhiệt P22 và P91 có kích thước Φ50 x 9 x 200 (mm) được dùng làm kim loại cơ bản.



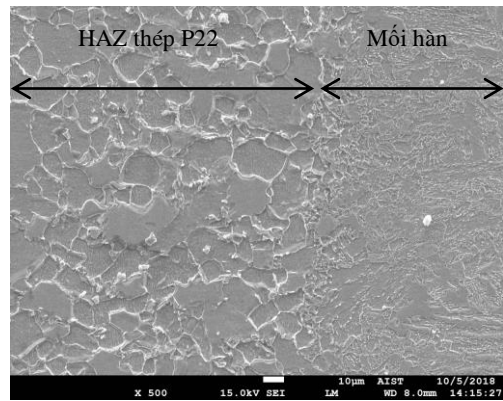
Hình 6. Mẫu thử kéo, thử uốn



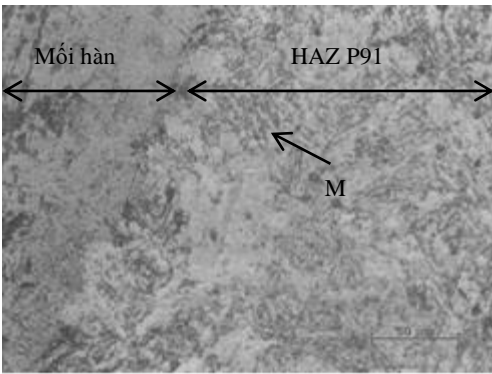
Hình 7. Vùng kim loại cơ bản của thép P22



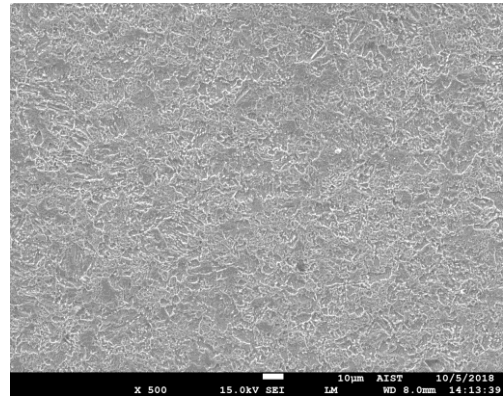
Hình 8. Vùng kim loại cơ bản thép P91



Hình 9. HAZ thép P22



Hình 10. HAZ thép P91



Hình 11. Vùng kim loại mối hàn

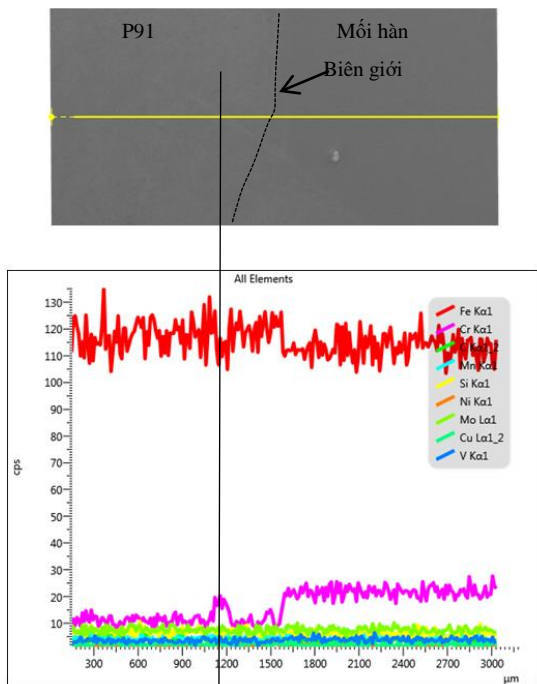
Thành phần hóa học và cơ tính của thép P22, P91 và kim loại điện cực được cho trong Bảng 1 và 2.

4.2. Quy trình hàn

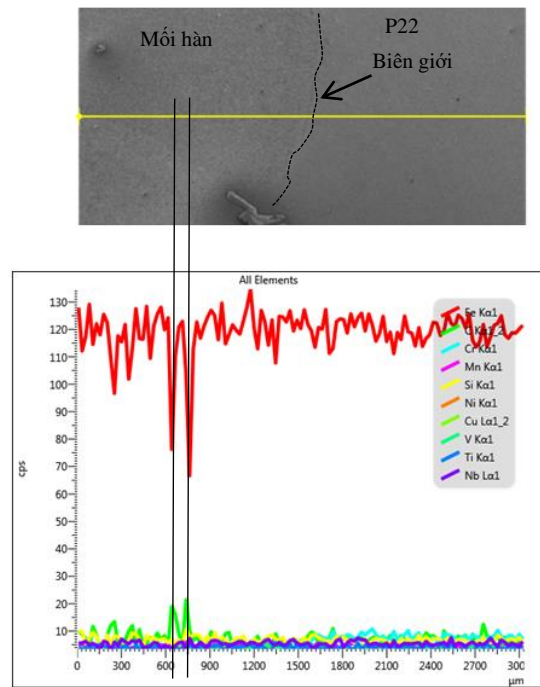
Chuẩn bị vát mép và làm sạch mẫu như Hình 5. Phương pháp hàn sử dụng là GTAW với thông số công nghệ hàn được cho trong Bảng 3. Trước khi hàn, cả hai kim loại cơ bản sẽ được gia nhiệt trong khoảng 200-260°C.

4.3. Các phương pháp kiểm tra

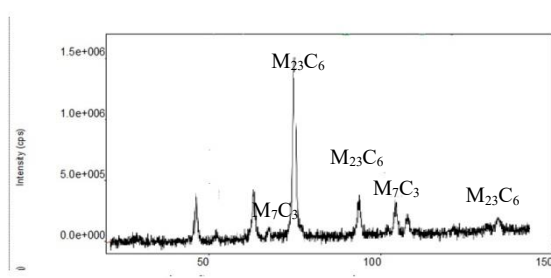
Sau khi hàn xong tiến hành cắt mẫu theo kích thước chuẩn để tiến hành thử kéo, thử uốn mối hàn (Hình 6) và đo độ cứng tế vi. Để nghiên cứu sự hình thành tổ chức tại các vùng khác nhau, cắt mẫu theo mặt cắt ngang, sau đó mài, đánh bóng và tẩm thực để chụp ảnh tổ chức trên kính hiển vi quang học, SEM, EDS.



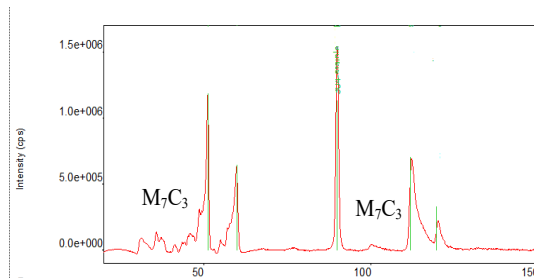
Hình 12. EDS line tại biên giới phía thép P91



Hình 13. EDS line tại biên giới phía thép P22



(a) Vùng biên giới nóng chảy phía thép P22



(b) Vùng biên giới nóng chảy phía thép P91

Hình 14. Giảm nhiễu xạ Ronghen

5. Kết quả và thảo luận

5.1. Sự thay đổi tổ chức trong môi hàn thép P22 và P91

* Vùng kim loại cơ bản

Ảnh tổ chức tế vi từ Hình 7 đến Hình 10 đã thể hiện sự thay đổi rõ rệt tổ chức tại các vùng khác nhau trong môi hàn.

Hình 7 biểu diễn tổ chức tế vi của kim loại cơ bản P22. Quan sát thấy tổ chức vùng này gồm các đảo Ferrit và bao quanh là pha Bainit. Ngược lại, hình ảnh tổ chức tế vi của thép P91 (Hình 8) chỉ rõ hình thái điển hình của các pha Mactenxit có dạng hình kim theo một hướng xác định. Các pha hình thành trong kim loại cơ bản hoàn toàn phù hợp với tổ

chức ở trong giản đồ pha. Tuy nhiên, trên ảnh tổ chức tế vi không quan sát thấy các pha cacbit.

* Vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ)

Theo giản đồ CCT, tùy thuộc vào tốc độ nguội sẽ thu được tổ chức khác nhau. Khi hàn, nhiệt độ tại vùng nóng chảy đạt cao nhất và nhanh chóng truyền ra môi trường xung quanh môi hàn. Vùng gần biên giới nóng chảy sẽ có tốc độ nguội lớn nhất vì nhiệt độ chênh lệch ban đầu lớn nên nhiệt độ sẽ nhanh chóng tản ra. Sau khi các vùng được nung nóng tới nhiệt độ xác định thì tốc độ nguội sẽ giảm dần. Do đó, theo giản đồ CCT có thể dự đoán tổ chức thu được trong vùng HAZ tính từ biên giới nóng chảy đến vùng kim loại cơ bản. Đối với HAZ thép P22, tổ chức hình thành gồm Mactenxit, Bainit. Đối với HAZ thép P91

tổ chức vẫn là Mactenxit. Tuy nhiên, vùng có nhiệt độ càng cao thì kích thước hạt sẽ càng lớn do các hạt có xu hướng lớn lên.

Kết quả ảnh chụp thực tế vùng HAZ của thép P22 được biểu diễn trong Hình 9. Khi so sánh ở cùng một độ phóng đại cho thấy, kích thước hạt vùng ảnh hưởng nhiệt lớn hơn so với vùng kim loại cơ bản. Ngoài ra quan sát thấy một số pha Mactenxit có kích thước hình kim nằm gần biên giới nóng chảy. Tuy nhiên, sự phân chia vùng này không rõ ràng do diện tích rất nhỏ. Trên ảnh tổ chức vẫn không phát hiện ra các pha cacbit hình thành trong vùng HAZ.

Hình 10 biểu diễn tổ chức tế vi vùng ảnh hưởng nhiệt của thép P91. Nhìn chung, hình dáng và kích thước các pha không có sự thay đổi nhiều so với kim loại cơ bản. Tổ chức thu được vẫn là các Mactenxit. Điều này hoàn toàn phù hợp với đường cong CCT của thép P91.

*** Vùng kim loại mối hàn**

Tại vùng kim loại mối hàn là nơi diễn ra quá trình kết tinh từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn (Hình 11). Đây là nơi hòa trộn của ba thành phần gồm P22, P91 và que hàn. Phân tích kết quả tổ chức thu được trong vùng kim loại mối hàn cho thấy, các pha phân bố đồng đều và phát triển đa hướng. Nguyên nhân là do kim loại ở trạng thái lỏng và gradient nhiệt độ theo các hướng là đồng đều nhau. Thành phần hóa học của điện cực gần giống với thép P22 nên tổ chức thu được gồm Ferrit và Bainit.

Khi tiến hành thử kéo, mối hàn bị phá hủy tại vùng HAZ bên phía P22 với độ bền kéo đạt 541,4MPa và độ bền uốn đạt 525MPa. Điều này hoàn toàn phù hợp với tổ chức thu được tại các vùng khác nhau trong mối hàn.

5.2. Sự kết pha trong mối hàn P22 và P91

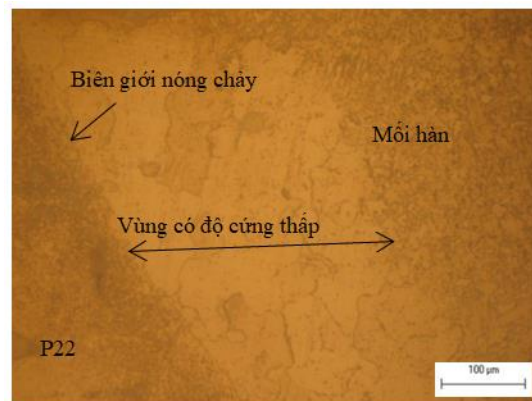
Theo kết quả phân tích hình ảnh tổ chức tế vi ở Mục 5.1 không quan sát thấy các pha cacbit được tiết ra trong mối hàn giữa thép chịu nhiệt P22 và P91. Do đó, nghiên cứu sẽ thực hiện các phân tích sâu hơn để tìm kiếm các pha này.

Sự phân bố thành phần của các nguyên tố hợp kim tại biên giới giữa mối hàn và HAZ P91, HAZ P22 được thể hiện như Hình 12, Hình 13. Trên Hình

12 có sự thay đổi rõ rệt về hàm lượng của Crom từ phía HAZ thép P91 tới vùng kim loại mối hàn. Tại một số vị trí dọc theo mối hàn có các điểm hàm lượng crom tăng, đây dự đoán là vị trí của Cacbit crom được tiết ra trong quá trình hàn. Tiếp tục phân tích bằng nhiễu xạ tia Ronghen có thể kết luận về sự xuất hiện của các pha cacbit $M_{23}C_6$, M_7C_3 tại các vùng trong mối hàn.

5.3. Sự xuất hiện pha có độ cứng thấp tại biên giới nóng chảy mối hàn thép P22 và P91

Theo đánh giá thực tế, các mối hàn thép P22 và P91 khi làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài sẽ dễ bị hư hỏng tại gần biên giới mối hàn. Nguyên nhân dẫn tới hiện tượng này là do có sự hình thành các vùng khác nhau tại biên giới mối hàn. Dựa theo kết quả tổ chức tế vi thu được tại biên giới thép P91 cho thấy, xuất hiện vùng màu trắng rộng khoảng 200-250(μ m) xuất hiện dọc theo biên giới (Hình 15).



Hình 15. Hình thành vùng có độ cứng thấp tại biên giới nóng chảy thép P22

Theo Bảng 4, giá trị độ cứng đo được tại vùng này thấp hơn so với các vùng lân cận. Điều này được giải thích là do khi mối hàn làm việc ở nhiệt độ cao, cacbon sẽ khuếch tán từ bên có nguyên tố hợp kim thấp sang bên phía có hàm lượng nguyên tố hợp kim cao hơn, do đó hình thành vùng có độ cứng thấp và vùng có độ cứng cao trong mối hàn. Đây là nguyên nhân làm giảm mạnh độ cứng ở vùng này. Tuy nhiên, vẫn cần có các nghiên cứu sâu hơn để tìm hiểu rõ cơ chế và các pha hình thành.

Bảng 4. Giá trị độ cứng tại vùng lân cận biên giới nóng chảy phía P91

Vị trí (μ m)	0	50	100	150	200	250	300	400	500
Mối hàn (HV)	110	123	125	124	130	142	152	154	153
HAZ P91 (HV)	185	189	192	198	194	196	198	192	201

6. Kết luận

Dựa trên cơ sở lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, nghiên cứu đã chỉ ra các tổ chức pha hình thành trong quá trình hàn thép chịu nhiệt thép P22 và thép P91. Vùng HAZ của thép P22 gồm các pha Ferrit và Bainit trong khi tổ chức vùng HAZ thép P91 là pha Mactenxit. Bên cạnh đó, trong mối hàn còn xuất hiện các pha cacbit $M_{23}C_6$ và M_7C_3 . Kết quả còn chỉ ra sự hình thành vùng có độ cứng thấp nằm dọc biên giới nóng chảy thép P91 có thể là do sự khuếch tán của cacbon khi mối hàn làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài. Tuy nhiên, để tìm hiểu cơ chế và các pha hình thành tại vùng này cần phải thực hiện thêm các nghiên cứu chuyên sâu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.38**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sirohi, S., Gupta, A., Pandey, C., Vidyarthi, R. S., Guguloth, K., & Natu, H. (2022). *Investigation of the microstructure and mechanical properties of the laser welded joint of P22 and P91 steel*. Optics & Laser Technology, Vol.147, 107610.
- [2] Kulkarni, A., Dwivedi, D. K., & Vasudevan, M. (2018). *Study of mechanism, microstructure and mechanical properties of activated flux TIG welded P91 Steel-P22 steel dissimilar metal joint*. Materials Science and Engineering: A, Vol.731, pp.309-323.
- [3] Mahajan, S., & Chhibber, R. (2020). *Experimental investigations on P22/P91 dissimilar shielded metal arc welds for power plant applications*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, Vol.234(10), pp.1313-1324.
- [4] Hamata, N. L. M., & Shibli, I. A. (2001). *Creep crack growth of seam-welded P22 and P91 pipes with artificial defects*. Part I. Experimental study and post-test metallography. International journal of pressure vessels and piping, Vol.78(11-12), pp.819-826.
- [5] Dogan, B., & Petrovski, B. (2001). *Creep crack growth of high temperature weldments*. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol.78(11-12), pp.795-805.
- [6] Šohaj, P., Jan, V., & Dvořáček, O (2010). *Evaluation of microstructural stability of creep-resistant steels weld joints on the basis of a computational modeling*, METAL 2010. In 19th International Metallurgical and Materials Conference, Rožnov pod Radhoštěm, Česká Republika, <https://www.vutbr.cz/en/research-and-development/publications>.
- [7] Karl E. Dawson, (2012). *Dissimilar metal welds*. Thesis submitted in accordance with the requirements of the University of Liverpool for the degree of Doctor in Philosophy.

Ngày nhận bài:	26/12/2022
Ngày nhận bản sửa:	03/01/2023
Ngày duyệt đăng:	09/01/2023