

Nghiên cứu công nghệ hàn thép hợp kim P91 bằng phương pháp hàn hồ quang tay và hàn hồ quang bằng điện cực không nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ

Research of Welding P91 steel with Shielded Metal Arc Welding (SMAW) and Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) processes

Hán Lê Duy

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội
Đến Tòa soạn: 15-11-2016; chấp nhận đăng: 28-02-2017

Tóm tắt

Thép P91 (9Cr-1Mo-V-Nb-N) được phát triển từ giữa những năm 1970 bởi phòng thí nghiệm quốc gia Oak Ridge (ORNL) dưới sự bảo trợ của chính phủ Hoa Kỳ (US). Thách thức gặp phải khi hàn thép hợp kim này đó là cơ tính của Vùng ảnh hưởng nhiệt (VAHN) cao. Điều này sẽ ảnh hưởng tới khả năng làm việc của kết cấu ở điều kiện nhiệt độ cao và áp suất cao. Bài báo này sẽ đưa ra những nghiên cứu về lý thuyết và thực nghiệm để khắc phục hiện tượng này, thông qua việc tìm ra chế độ hàn và xử lý nhiệt hợp lý để cải thiện tính dẻo dai ở VAHN cũng như bảo đảm được chất lượng mối hàn.

Từ khóa: Thép hợp kim P91, Thép 9Cr-1Mo-V-Nb-N, Thép P(T) 91, thép Cr-Mo-V.

Abstract

P91 steel (9Cr-1Mo-V-Nb-N) was developed from the mid-1970s by the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) under the auspices of the USA government. The challenges encountered when welding this steel alloys such as mechanical properties of heat affected zone (HAZ) is high. This will affect the ability of the structure to work in conditions of high temperature and high pressure. This article will focus on the study of theory and experiment in order to overcome this phenomenon, through the search for welding parameter ranges and reasonable heat treatment to improve toughness in HAZ well as quality assurance of weld.

Keywords: welding of P91 steel, T91 steel, 9Cr-1Mo-V-Nb-N steel, Chromium-molybdenum steel.

1. Mở đầu

Mặc dù được phát hiện rất sớm từ những năm 1970, nhưng hai thập niên gần đây, thép P91 và T91 được đưa vào áp dụng rộng rãi trong ngành nhiệt điện vì những ưu điểm vượt trội của nó. Thép P91 được xếp vào nhóm thép Crom-Molypden, và có đặc tính giống với một số thép không gỉ Ferit có độ bền rã tốt khi làm việc ở nhiệt độ cao (Creep Strength-Enhanced Ferritic steel – CSEF). Khi hàn thép P91, có một tính chất đặc trưng là: Mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt thường có cơ tính cao sau khi hàn, tuy nhiên tính dẻo của kim loại mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) có thể được cải thiện đáng kể khi làm việc ở nhiệt độ cao thông qua xử lý nhiệt sau khi hàn (PWHT).

Một trong những ưu điểm của thép P91 so với các loại thép trước đó như P22 đó là: nó có độ bền rã tốt khi làm việc ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên quá trình chuyển biến pha khi hàn, cũng như quá trình kết tinh khi nguội có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng

làm việc của kết cấu. Vì vậy, việc tuân thủ quy trình nung sơ bộ, duy trì nhiệt độ giữa các đường hàn và chế độ xử lý nhiệt sau hàn cần phải thực hiện rất nghiêm ngặt để tránh những phá hủy nghiêm trọng sau khi hàn. Qua nhiều thí nghiệm, đã chứng tỏ việc bổ sung thêm các nguyên tố Nb, V, Si và N vào trong kim loại mối hàn sẽ giúp cải thiện độ bền rã của thép ở nhiệt độ cao [7]. Thành phần hóa học cân bằng sẽ cản trở việc hình thành pha Delta Ferit để tạo thành tổ chức hoàn toàn Mactenxit góp phần tạo ra được cả độ dẻo và độ bền rã tối ưu nhất. Tuy nhiên, nhiệt độ nung của tổ chức pha Mactenxit ảnh hưởng lớn tới độ dai va đập của thép. Vì vậy, việc lựa chọn chế độ nung (nhiệt độ nung và thời gian nung) sẽ rất quan trọng, và ảnh hưởng trực tiếp đến cơ tính và khả năng làm việc của kết cấu.

Bài báo sẽ đưa ra những phân tích lý thuyết và kết quả thực nghiệm để chỉ ra rằng việc kiểm soát nhiệt khi hàn thép P91 là một việc rất quan trọng để có thể đưa kết cấu đạt được kết quả như mong muốn và khả năng làm việc tốt nhất. Việc kiểm soát nhiệt ở đây được chứng minh trực tiếp thông qua kiểm soát thông số chế độ hàn và xử lý nhiệt sau hàn. Kết quả sẽ được kiểm chứng thông qua việc kiểm tra chụp

* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 966064486
Email: duy.hanle@hust.edu.vn

ảnh bức xạ, uốn kéo liên kết hàn và thử độ cứng của liên kết hàn.

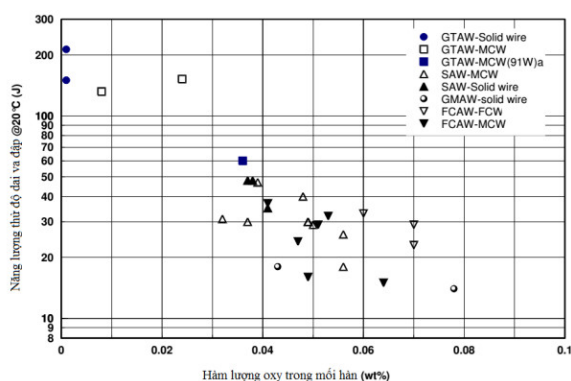
2. Nghiên cứu lý thuyết

Theo các tiêu chuẩn về vật liệu của AWS có khuyến cáo, PWHT cho thép P91 trong dải từ 745 – 770 °C trong 2 giờ. Theo các tiêu chuẩn của BS EN ISO thì khuyến cáo nên PWHT trong dải 750 – 770 °C trong từ 2-3 giờ. Một điều rất quan trọng trong quá trình thực hiện PWHT đó là không cần phải nung mỗi hàn tới nhiệt độ quá cao, vì nó sẽ dẫn đến chuyển biến pha Austenit, hình thành nên tổ chức pha martensit không hoàn toàn ảnh hưởng đến độ bền, độ dẻo dai mong muốn.

2.1. Chọn quá trình hàn

So với các loại thép khác như P22/ P21, P5, P7, P9...Ngoài thành phần chính là Cr-Mo, Thép P91 được bổ sung thêm hàm lượng nhỏ của một số các nguyên tố như Vanadi, Niobi và Ni-tơ với mục đích cải thiện cơ tính và khả năng chịu mài mòn khi làm việc ở nhiệt độ cao, nhưng tính hàn vẫn giống với các nhóm thép hợp kim Cr-Mo trước đó.

Liên quan đến vấn đề công nghệ hàn thép P91, việc lựa chọn loại quá trình hàn cũng có ảnh hưởng đáng kể đến độ dai và đập của kim loại mối hàn vì tác động của thuốc hàn và khí bảo vệ. Lượng oxy xuất hiện trong khi hàn nếu có hàm lượng lớn sẽ làm giảm đáng kể độ dai của mối hàn. Với phương pháp hàn TIG, bảo vệ bởi argon sẽ cho mối hàn có độ dai và đập lớn nhất vì hàm lượng oxy có trong kim loại mối hàn (khoảng 100-200 ppm) chỉ bằng ¼ so hàm lượng oxy sinh ra trong thuốc hàn của các phương pháp hàn SMAW, FCAW và SAW (khoảng 400-800 ppm). Đối với phương pháp hàn MIG bằng dây lõi đặc cho độ dai và đập thấp nhất. Hình 1 thể hiện sự ảnh hưởng của hàm lượng oxy trong kim loại mối hàn đến độ dai và đập theo từng phương pháp hàn cụ thể. Căn cứ vào dữ liệu này, ta có thể chọn sơ bộ được loại quá trình hàn có hàm lượng oxy cho phép trong mối hàn thấp nhất để có được độ dai và đập yêu cầu.



Hình 1. Ảnh hưởng của hàm lượng oxy trong mối hàn đến độ dai và đập [7]

Hiện nay khi hàn thép P91 người ta thường dùng kết hợp 2 phương pháp GTAW+SMAW. Trong đó quá trình hàn hồ quang bằng điện cực không nóng chảy trong môi trường khí trơ (GTAW) sử dụng cho các đường hàn lót (nơi và yêu cầu cao về chất lượng) và quá trình hàn hồ quang tay (SMAW) được dùng để hàn cho lớp phủ. Tuy nhiên, phương án này có nhược điểm là năng suất không cao do hàn bằng tay. Bởi vậy, xu thế mới sẽ phải thay thế bởi phương án khác để làm tăng năng suất đập mà vẫn bảo đảm chất lượng của liên kết. Với những chi tiết và liên kết cho phép hàn cơ giới hóa, thì phương pháp hàn dưới lớp thuốc (SAW) thường được sử dụng vì nó cho năng suất cao. Tuy nhiên, đối với các trường hợp yêu cầu hàn ở tư thế phức tạp như 6G thì một phương pháp được đề cập đến như một lựa chọn tốt đó là hàn bằng dây lõi thuốc (FCAW). Phương pháp hàn FCAW đã được thực hiện thành công cho các vật liệu như P11 (1CrMo) hay P22 (2CrMo), nhưng nó vẫn là một quá trình mới với thép P91 và cần phải nghiên cứu sâu hơn nữa. Trong phạm vi bài báo này, tác giả đi vào nghiên cứu công nghệ cho quá trình hàn GTAW+SMAW.

2.2. Chọn vật liệu hàn

Hiện có rất nhiều tiêu chuẩn quốc gia đề cập đến việc chế tạo vật liệu hàn cho thép P91 cho các phương pháp hàn SMAW, Dây hàn TIG/MIG/SAW hoặc dây FCAW. Cụ thể, đối với quá trình hàn GTAW+SMAW, chúng ta sẽ sử dụng que hàn ER90S-B9 cho hàn GTAW và que hàn E9015-B9. Với các phương pháp hàn khác, xem chi tiết cách chọn loại vật liệu hàn và thành phần hóa học đưa ra trong bảng 1.

2.3. Nung sơ bộ và xử lý nhiệt khi hàn

Trước khi hàn thép P91, cần phải tiến hành nung nóng sơ bộ loại bỏ hết tạp chất và hơi nước, ngăn ngừa nứt do hydro. Nhiệt nung nóng thường là 200 °C cho mọi dải chiều dày của chi tiết ngoại trừ trường hợp hàn TIG. Khi hàn TIG, hàm lượng hydro rất thấp, và nó có thể được giải phóng hết ở dải 100 – 150 °C. Nhiệt độ giữa các đường hàn thường duy trì không được phép quá 300 °C để bảo đảm mỗi đường hàn đều được chuyển biến hoàn toàn sang Martensite trước khi đường hàn tiếp theo được đắp lên. Thường thì mỗi đường hàn sẽ một phần nào đó ram cho đường hàn sau đó.

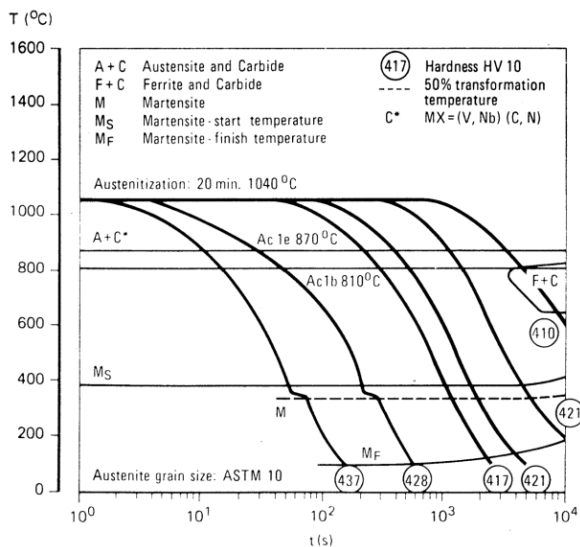
Sau khi hàn hoàn thiện và trước khi tiến hành xử lý nhiệt, mối hàn cần được để nguội xuống dưới 100 °C để loại bỏ hoàn toàn các tổ chức không chuyển biến pha austenite, bởi vì Hydro lẫn ở bên trong của tổ chức austenite có thể khuếch tán chậm hơn khi nó ở trong tổ chức martensite.

Bảng 1. Thông tin các loại vật liệu hàn sử dụng cho hàn thép P91

Kiểu	Ký hiệu tiêu chuẩn	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	Al	V	N
Kim loại cơ bản	Type 91	0.08-0.12	0.30-0.60	0.20-0.50	0.010	0.020	8.0-9.5	0.40	0.85-1.05	0.06-0.10	-	0.02	0.18-0.25	0.03-0.07
Que hàn	AWS A5.5:2006 E9015-B9 ^a	0.08-0.13	1.20	0.30	0.01	0.01	8.0-10.5	0.8	0.85-1.20	0.02-0.10	0.25	0.04	0.15-0.30	0.02-0.07
Dây/thuốc hàn SAW	AWS A5.23:2007 EB9 ^d B9 ^b	0.07-0.13	1.25	0.50	0.010	0.010	8.50-10.50	1.00	0.85-1.15	0.02-0.10	0.10	0.04	0.15-0.25	0.03-0.07
		0.08-0.13	1.20 ^e	0.80	0.010	0.010	8.0-10.5	0.80 ^e	0.85-1.20	0.02-0.10	0.25	0.04	0.15-0.25	0.02-0.07
Dây hàn đặc	AWS A5.28:2005 ER90S-B9 ^d	0.07-0.13	1.20 ^e	0.15-0.50	0.010	0.010	8.00-10.50	0.80 ^e	0.85-1.20	0.02-0.10	0.20	0.04	0.15-0.30	0.03-0.07
Dây lõi thuốc	AWS A5.29:2005 E91T1-B9	0.08-0.13	1.20 ^e	0.50	0.015	0.020	8.0-10.5	0.80 ^e	0.85-1.20	0.02-0.10	0.25	0.04	0.15-0.30	0.02-0.07

a: Giá trị đơn trong bảng là giá trị lớn nhất;
b: Thành phần hóa học yêu cầu để hàn không bị chảy loãng
c: Tỉ lệ W-Ti6, G-Mg
d: Thành phần hóa học yêu cầu của dây hàn
e: Mn + Ni = 1.50% maximum;
f: Ti & Zr 0.01% maximum.

Hình 2 thể hiện sự chuyển biến pha cho thép P91. Ta nhận thấy dải nhiệt độ chuyển biến Martensite trong dải từ 120 – 380 °C. Bởi vậy, trước khi tiến hành PWHT, cần làm nguội liên kết xuống tới khoảng 100 °C hoặc thấp hơn để bảo đảm chuyển biến Martensite xảy ra hoàn toàn.



Hình 2. Chuyển biến pha đối với thép P91

Khi lựa chọn nhiệt độ PWHT cần phải lưu ý, nhiệt độ nung cần phải cao hơn nhiệt độ mà tiêu chuẩn hoặc các tài liệu kỹ thuật yêu cầu. Theo phân tích trong ở trên, kết hợp với ASME VIII nhiệt độ nung khi PWHT phải trên 730 °C, và nhiệt độ nung lớn nhất phụ thuộc vào thành phần hóa học của kim loại mối hàn, cụ thể là không được vượt quá nhiệt độ của đường AC₁ của vật liệu cơ bản (~810 °C). Tuy nhiên, với những mối hàn có chứa hàm lượng Ni+Mn cao hơn 1,5% thì lại có nhiệt của đường AC₁ thấp hơn. Khi nhiệt độ nung PWHT quá gần với đường AC₁ thì sẽ dẫn đến việc một phần kim loại sẽ bị chuyển biến pha austenite, dẫn đến việc không chuyển biến hoàn toàn thành Martensite khi nguội. Bởi vậy, khi nung PWHT, nên lưu ý chọn nhiệt độ cao nhất nhỏ hơn tối thiểu 15 °C so với nhiệt độ của đường AC₁. (Ví dụ: dùng que 9MV-N và 9CrMo-N

thì nên dung cao nhất ở 765 °C, trong khi dùng que Cromet 9-B9 chứa Mn+Ni < 1% thì có thể nung ở 774 °C) [7].

Để đánh giá chế độ PWHT, người ta kiểm chứng qua hệ số nung P (tempering Parameter) của Hollomon Jaffe. Qua nhiều thực nghiệm đã chứng minh rằng, chế độ nung phù hợp với thép P91 là P ≥ 21, [7] trong đó:

- a) $P = °K \cdot (\text{Log}t + 20) \times 10^{-3}$ (Công thức Hollomon–Jaffe).
- b) °K: Nhiệt độ PWHT.
- c) t: Thời gian giữ nhiệt (giờ).

Theo đó, một chế độ nhiệt phù hợp thì hoặc là nung ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ tối thiểu trong thời gian dài hoặc ngược lại. Ví dụ: nung PWHT ở 755 °C trong 3 giờ hoặc nung ở 760 °C trong 2 giờ cho kết quả như nhau (P ≈ 28,4). Đôi khi, nếu cần duy trì ở nhiệt độ thấp hơn, có thể sử dụng chế độ nung ở 730 °C trong 8 giờ, hoặc duy trì ở nhiệt độ cao, trong thời gian ngắn thì có thể sử dụng chế độ nung 774 °C trong 1 giờ (nhưng lưu ý hàm lượng Ni+Mn < 1% trong vật liệu hàn).

3. Thực nghiệm

3.1. Dữ liệu đầu vào

Bài toán thực nghiệm được triển khai thực hiện hàn quy trình hàn cho: thép ống SA355 (P91), Chiều dày 30 mm; đường kính Φ 323.9 mm. Sử dụng trong hệ thống ống dẫn hơi, bao hơi của nhà máy nhiệt điện.

3.2. Chế độ thực nghiệm

Kiểm chứng các dữ liệu phân tích từ mục 2. Tác giả tiến hành chạy thử 01 quy trình hàn với thông số chế độ như dưới đây.

Sản phẩm sau khi đạt ngoại dạng, được xử lý nhiệt theo sơ đồ sau, trước khi cho kiểm tra chụp bức xạ (RT) và kiểm tra phá hủy: uốn, kéo, thử độ cứng.

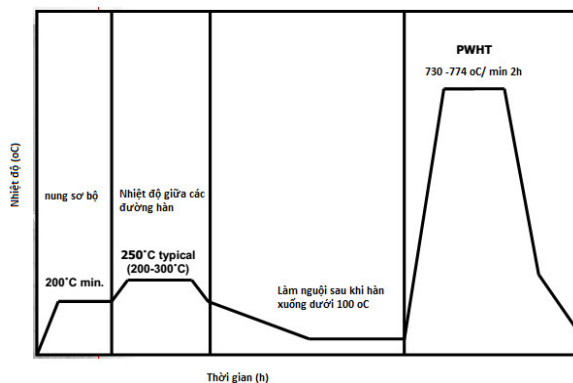
Bảng 2. Tổng hợp các thông số chế độ thực nghiệm như sau:

Thông số	Lớp Lót	Lớp phủ
Quá trình hàn	GTAW/TIG	SMAW/MMA
Vật liệu hàn	AWS A5.28 – ER90S-B9	AWS A5.5 – E9015-B9
Đường kính que/dây	2.4 (2%Thori)	2.6; 3.2; 4.0
Khí xông mặt sau	Argon (99.999%)	Không yêu cầu
Lưu lượng khí bảo vệ	4 – 15 (lít/phút)	
Khí bảo vệ	Argon (99.999%)	
Lưu lượng khí bảo vệ (lít/phút)	8 – 25	Không yêu cầu
Nhiệt nung sơ bộ (°C)	Tối thiểu 200	
Nhiệt độ giữa các đường hàn (°C)	Tối đa 300	
PWHT	a) Làm nguội dưới 100 °C trước khi thực hiện PWHT b) Dài nhiệt độ nung: 730 – 774 °C, giữ tối thiểu 02 giờ c) Tốc độ nung: 100 – 150 °C/giờ d) Tốc độ nguội: 100 – 150 °C/giờ	

Bảng 3. Thông số chế độ hàn:

Lớp hàn	Quá trình hàn	Vật liệu hàn		Dòng điện		Điện áp V	Tốc độ hàn mm/min	Năng lượng đường kJ/mm
		Mác vật liệu	Đường kính (mm)	Cực tính	A			
Lót	GTAW	ER90S-B9	2.4	DC-	70 - 160	10 - 14	40 - 60	0.70 - 3.36
Nóng	GTAW	ER90S-B9	2.4	DC-	70 - 160	10 - 14	40 - 70	0.60 - 3.36
Pha/điện	SMAW	E9015-B9	2.6	DC+	70 - 100	20 - 28	50 - 90	0.93 - 3.36
		E9015-B9	3.2	DC+	80 - 120	20 - 28	60 - 100	0.96 - 3.36
		E9015-B9	4.0	DC+	100 - 150	20 - 28	60 - 110	1.09 - 4.20

Chế độ xử lý nhiệt theo như trong bảng 2 trên cơ sở tra cứu theo ASME B31.1 (Bảng 132), ASME VIII, Div.1 bảng UCS-56 và bảng 6.8 của ASME VIII Div.2. Sơ đồ xử lý nhiệt được thể hiện như sau:



Hình 3. Sơ đồ xử lý nhiệt cho mỗi hàn sau khi hàn hoàn thiện thép P91

3.3. Kết quả thực nghiệm

Mẫu hàn sau khi được hàn theo các thông số chế độ như trên, đã được đem thử chụp phim, thử uốn kéo và kiểm tra độ cứng. Kết quả cụ thể như sau:

Bảng 4. Kết quả chụp film (RT):

PQR No. 175		Page 1 of 1							
Procedure No. EMETC-NDT-06			Material Type: SA335P91+SA335P91			Technique: DWSI			
Acceptance standard: ASME IX-2007		Welding Process: GTAW+SMAW							
Source: Gama	Focal spot size	Film type	IQI type	Sensitivity (%)	Density	FFD (mm)	Exp. Time		
Source strength: 50 Ci	2.5 x 3.0 mm	Fuji 50	1B-ASTM	2.0%	2.0 – 4.0	323.9	50 min		
Processing: manual				Date off Radiography: 26-Mar-2013					
No.	Welder Identification/line No.	Size/Dia.	Thick/Sch	Film location	Defect type	Defect Dimension	Location	Acc/Rej	Remark
1	Nguyen Van Thang- 6G ID: 142512337	323.9	30.0	A-B	P	2.0	Random	ACC	After PWHT
					SF				
					C-D	10.0	B-60	ACC	
				P	2.0	Random			

Căn cứ kết quả trong bảng, mỗi hàn sau khi xử lý nhiệt có kết quả đạt theo yêu cầu của ASME IX-2007.

Bảng 5. Kết quả thử uốn kéo:

Kết quả thử kéo (QW-150)
Tham khảo số báo cáo: DNV/SL/R20081487

Mẫu số	Chiều rộng (mm)	Chiều dày (mm)	Diện tích (mm ²)	Tải trọng tối đa (kN)	Độ bền kéo tối đa (MPa)	Vị trí hỏng
TS1	19.02	29.60	562.99	295.0	524.0	Kim loại cơ bản
TS2	19.01	29.71	564.79	300.0	531.0	

Kết quả thử uốn (QW-160)
Tham khảo số báo cáo: DNV/SL/R20081487

Mẫu số	Chiều dày x chiều rộng (mm)	Kết quả
SB1	9.96 x 28.37	Đạt
SB2	9.88 x 28.08	Đạt
SB3	9.91 x 27.86	Đạt
SB4	9.95 x 28.57	Đạt

Kết quả thử kéo cho thấy mỗi hàn đứt ở phần kim loại cơ bản, độ bền kéo tối đa là 531 MPa là cao hơn so với độ bền của kim loại cơ bản. Kết quả thử uốn không xuất hiện khuyết tật không cho phép. Như vậy, mỗi hàn có kết quả tốt với thông số chế độ đưa ra trong bảng 2 ở trên.

Kết quả thử độ cứng tại ba vị trí cắt: 6 giờ, 9 giờ, 12 giờ, Các giá trị lớn nhất trong cả ba vị trí cắt thử cả ở KLCB, KLMH và VAHN đều cho kết quả nhỏ hơn độ cứng cho phép 290 HV^[9]. Vậy kết quả độ cứng nằm trong giới hạn cho phép.

Bảng 6. Kết quả thử độ cứng:

Kết quả thử độ cứng tại vị trí cắt 6 giờ trên ống

HARDNESS TEST RESULT							
Hardness	:Vicker		Date : 27 th March 2013				
Load	:10 kg		Sample Marking : MH-1 (6 O'Clock)				
Indentation	1	2	3	4	5	6	7
HAZ A	209	207	190	173	155		
HAZ B	252	234	203	193	196		
HAZ C	204	207	205	205	211		
HAZ D	261	270	272	270	259		
Weld E	192	193	195	197	209	219*	231*
Weld F	234	228	219*	220*			
Base metal G	143	143	143				
Base metal H	216	214	213				
Base metal I	150	147	149				
Base metal J	195	199	205				

Note: Indentation no 1 is closest from fusion line in HAZ and subsequent indentations are 0.5mm apart
 *E6, E7, F3, F4: From fusion line, 1mm apart (P91 side)

Kết quả thử độ cứng tại vị trí cắt 12 giờ trên ống

HARDNESS TEST RESULT							
Hardness	:Vicker		Date : 27 th March 2013				
Load	:10 kg		Sample Marking : MH-3 (12 O'Clock)				
Indentation	1	2	3	4	5	6	7
HAZ A	216	218	217	210	179		
HAZ B	273	235	223	202	198		
HAZ C	192	200	193	194	182		
HAZ D	264	261	231	239	225		
Weld E	195	189	190	193	209	218*	222*
Weld F	227	239	230*	229*			
Base metal G	145	145	141				
Base metal H	214	213	211				
Base metal I	144	153	158				
Base metal J	197	203	206				

Note: Indentation no 1 is closest from fusion line in HAZ and subsequent indentations are 0.5mm apart
 *E6, E7, F3, F4: From fusion line, 1mm apart (P91 side)

4. Kết luận

Kết quả thực nghiệm cho thấy, sau khi thực hiện hàn theo đúng chế độ được đưa ra trong phần nghiên cứu lý thuyết, mối hàn đã đạt được cơ tính theo yêu cầu. Cụ thể: Độ bền kéo tối thiểu là 524 MPa lớn hơn độ bền của kim loại cơ bản (mối hàn bị đứt tại vùng kim loại cơ bản). Ngoài ra, phép thử chụp phim RT và uốn mối hàn cho thấy bên trong mối hàn không tồn tại khuyết tật bất cứ mức cho phép. Kết quả thử độ cứng mối hàn chỉ ra rằng, chế độ nhiệt khi hàn (nung sơ bộ, chế độ hàn, xử lý nhiệt sau hàn PWHT) là phù hợp, mối hàn không bị biến cứng, độ cứng tối đa khi thử 03 mẫu cắt tại các vị trí khác nhau là 272 HV (xuất hiện ở vùng ảnh hưởng nhiệt HAZ của mối hàn), độ cứng này nhỏ hơn độ cứng cho phép là 290

Kết quả thử độ cứng tại vị trí cắt 9 giờ trên ống

HARDNESS TEST RESULT							
Hardness	:Vicker		Date : 27 th March 2013				
Load	:10 kg		Sample Marking : MH-2 (9 O'Clock)				
Indentation	1	2	3	4	5	6	7
HAZ A	271	245	211	213	198		
HAZ B	222	218	216	206	207		
HAZ C	268	264	260	252	237		
HAZ D	185	189	181	183	181		
Weld E	224*	214*	212	198	205	196	189
Weld F	221*	225*	246	248			
Base metal G	214	214	210				
Base metal H	145	142	145				
Base metal I	202	195	195				
Base metal J	149	144	156				

Note: Indentation no 1 is closest from fusion line in HAZ and subsequent indentations are 0.5mm apart
 *E6, E7, F3, F4: From fusion line, 1mm apart (P91 side)

HV (theo tiêu chuẩn thiết kế đối với kết cấu bao hơi của nhà máy nhiệt điện.

Như vậy, việc duy trì chế độ nhiệt khi hàn thép P91 là yếu tố quyết định tới cơ tính và tính chất mối hàn sau này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. ASM Specialty Handbook.
- [2]. AWS Welding Handbook, Volume 4, 8th edition.
- [3]. Erich Folkhard, Welding Metallurgy of stainless steels.
- [4]. TS. Ngô Lê Thông, Công nghệ hàn điện nóng chảy, Tập 2, Nxb Khoa Học và Kỹ Thuật.
- [5]. Heat resistant alloy welding, Rolled alloys.
- [6]. Kent K. Coleman and W. F. Newell JR., P91 and Beyond – Welding the new generation Cr-Mo alloys for high temperature service.
- [7]. Welding consumable for P91 steels for the power generation industry, Metrode Co.,
- [8]. AWS D10.8 – 96, Recommended Practices for Welding of Chromium-Molybdenum Steel Piping and Tubing.
- [9]. Tài liệu dự án nhiệt điện Vũng Áng: VA1-LI-00100-QA-G1-PRO-0011; VA1-LI-00100-M-M8-HT-0001; VA1-LI-00100-M-M8-PWHT-0001.
- [10]. Tài liệu dự án nhiệt điện Mông Dương 1: MD1-0-T-030-05-00104.
- [11]. Z Zhan, A W Marshall, G B Holloway, Flux cored arc welding: the high productivity welding process for P91, Metrode product limited, UK.
- [12]. AWS D10.4 - 86 Recommended Practices for Welding Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steel Piping and Tubing.