

Giải pháp công nghệ trong kiểm tra, quản lý chất lượng mối hàn nhiệt nhôm, giáp mối nóng chảy và một số hạng mục kết cấu khác tại các dự án đường sắt đô thị ở Việt Nam

Nguyễn Anh Tú^{1,*}, Cao Anh Tuấn¹, Lâm Hữu Quang¹

¹ Phòng Thí nghiệm trọng điểm đường bộ I – ITST

TỪ KHOÁ

Đường sắt đô thị
Vận tải đường sắt
Mối hàn nhiệt nhôm
Giáp mối nóng chảy

TÓM TẮT

Đường sắt, hay vận tải đường sắt là một phương tiện giao thông, một yếu tố thúc đẩy phát triển kinh tế, được sử dụng để vận chuyển hàng hóa cũng như vận chuyển hành khách. Hệ thống vận chuyển bằng cách sử dụng đường ray và sử dụng các bánh xe bằng kim loại (thường là thép) gắn trên đường ray như đầu máy và các toa xe (Hệ thống này được gọi là một đoàn tàu). Vận tải đường sắt đã tồn tại từ lâu đời và được coi là một phương thức vận chuyển quan trọng trên toàn cầu. Vận tải đường sắt cũng là phương thức vận tải đường bộ nhanh nhất, giảm ùn tắc giao thông và giảm ô nhiễm môi trường. Hệ thống đường sắt kết nối các khu vực, thúc đẩy kinh tế, giao thương và du lịch. Việc thiết kế, thi công và đảm bảo chất lượng, an toàn là yếu tố cực kỳ quan trọng để ngăn ngừa sự cố và gián đoạn trong quá trình khai thác dài lâu. Do vậy, việc kiểm soát chất lượng thông qua các phép thử thí nghiệm trong quá trình thi công một số hạng mục kết cấu đóng một vai trò hết sức quan trọng. Trong bài viết này, chúng tôi trình bày một số phương pháp thí nghiệm quản lý chất lượng mối hàn nhiệt nhôm, giáp mối nóng chảy cũng như các phép thử khác tại một số dự án đường sắt. Bài viết thảo luận về các nguyên tắc, ưu điểm, hạn chế và cách triển khai thực tế của chúng.

KEYWORDS

Urban railway
Rail transport
Aluminothermic welding
Flash-Butt welding

ABSTRACT

Railway, or rail transport, is a means of transportation and a factor of economic development. It is used for the transportation of both goods and passengers. The transportation system uses tracks and metal wheels (usually made of steel), mounted on the tracks, such as locomotives and carriages. This system is called a train. Rail transport has existed for a long time and is considered an important means of transport worldwide. It is also among the fastest modes of transportation, helping to reduce traffic congestion and environmental pollution. The railway system connects regions and promotes economic growth, trade, and tourism. The design, construction, quality assurance, and safety are extremely important factors to prevent incidents and disruptions during long-term operations. Therefore, quality control through testing during the construction of structural components plays a very important role. In this article, we present some testing methods for the quality control of Aluminothermic Welding (ATW) and Flash-Butt Welding (FBW), as well as other tests used in railway projects. The article discusses the principles, advantages, limitations, and practical applications of these techniques.

1. Giới thiệu chung

Ở các vùng đô thị đông dân cư, các loại hình giao thông mặt đất như xe buýt, tàu thường, tàu điện trở thành khó khả thi bởi sự giao cắt với các phương tiện khác gây ách tắc giao thông, tốc độ vận hành chậm, và chiếm dụng đất lớn. Một trong những giải pháp tốt nhất là tàu chạy trên cao. Loại hình này có nhiều ưu điểm như là an toàn cao, khối lượng vận chuyển lớn, không giao cắt với các phương tiện khác, diện tích đất sử dụng tối thiểu, và nếu thiết kế đẹp sẽ là cảnh quan hiện đại của đô thị, và hơn nữa, rất thích hợp cho tốc độ vận hành cao. Đối với các vùng rộng hơn, hay giữa các vùng đô thị, giao thông công cộng bằng tàu hỏa, đặc biệt là tàu cao tốc được đánh giá cao ở nhiều nước, và có đầy đủ ưu điểm như trong giao thông đô thị nói trên. Tuy giá thành xây

dựng của hệ thống đường sắt- tàu hỏa, nhất là tàu cao tốc là khá cao, lại yêu cầu đầu tư ban đầu lớn, tuy nhiên đây là giải pháp tốt cho phát triển bền vững, bảo vệ môi trường tốt và có hiệu quả kinh tế- xã hội cao [2]. Hệ thống đường sắt cao tốc cần rất nhiều cầu sông, cầu cạn để tránh giao cắt với các phương tiện khác, và cũng giảm thiểu ảnh hưởng tiếng ồn, chấn động gây ra với môi trường xung quanh. Chẳng hạn [6], hệ thống đường sắt cao tốc Hàn Quốc KTX dài 412 km, thì trong đó 112 km (27 %) là đường sắt trên cao.

Kết cấu cầu đường sắt hay nền đường sắt chịu tải trọng động di động gây ra bởi tương tác của tàu đang chạy. Các tải trọng động có cường độ lớn này gây ra xung động lớn, và hiện tượng mỏi cho kết cấu nền, cầu. Đặc biệt, khi tàu trọng tải lớn chạy ở tốc độ cao trên cầu, đường sắt sẽ gây ra dao động lớn ảnh hưởng đến độ bền, tuổi thọ cũng

*Liên hệ tác giả: anhtu8990@gmail.com

Nhận ngày 23/09/2025, sửa xong ngày 20/10/2025, chấp nhận đăng ngày 21/10/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2025.1100>

như khả năng làm việc của nền, cầu. Vì vậy, việc kiểm soát, đảm bảo chất lượng các hạng mục cấu kiện trong quá trình thi công là hết sức cần thiết nhằm ngăn ngừa những thiếu sót có thể ảnh hưởng đến an toàn tàu chạy.

2. Nghiên cứu ứng dụng một số phương pháp thí nghiệm trong quản lý chất lượng mối hàn nhiệt nhôm, giáp mối nóng chảy

- Các thanh ray được chế tạo thành đoạn có chiều dài cố định do bị hạn chế bởi khả năng chuyên chở cũng như để tạo thuận lợi cho việc sản xuất hàng loạt. Do vậy cần phải nối các thanh ray lại để tạo thành tuyến đường dài liên tục. Hiện nay các thanh ray thường có chiều dài 11,9 m.

- Giữa các thanh ray người ta chừa ra khoảng trống, gọi là khe giãn, để các thanh ray có thể giãn ra khi trời nóng. Do phải chừa các khe co giãn nên khi bánh tàu hỏa chạy qua mỗi nối ray sẽ phát ra âm thanh va chạm. Do vậy tàu lửa chạy trên tuyến sẽ không êm thuận bằng tuyến đường sử dụng kĩ thuật nối ray bằng phương pháp hàn, đồng thời vận tốc cũng không cao.

- Một vấn đề lớn nữa là tình trạng xảy ra nứt xung quanh lỗ bulông do hiện tượng tập trung ứng suất và hiện tượng mỏi có thể dẫn đến phá hoại đầu thanh ray. Sau sự kiện tai nạn Hither Green, các công ty tàu hỏa Anh bắt đầu chuyển sang dùng đường ray liên tục hóa bằng phương pháp hàn. Tuy vậy ở các tuyến tàu hỏa tốc độ không cao cũng như ở các nước có đường sắt kém phát triển phương pháp nối ray này vẫn được dùng phổ biến do chi phí thấp.

- Kĩ thuật hàn đường ray đã phổ biến từ những năm 1950. Các tuyến đường sắt hiện đại phần lớn sử dụng ray hàn liên tục (CRW). Các đoạn ray được hàn lại với nhau bằng kĩ thuật hàn chảy đối đầu để tạo thành tuyến đường liên tục dài vài km hoặc sử dụng kĩ thuật hàn nhiệt nhôm để sửa chữa hay nối các đoạn CRW có sẵn. Bởi vì số lượng các mối nối ít đi nên xe lửa chạy trên đường ray hàn này sẽ trở nên êm hơn rất nhiều. Ngoài ra, mối nối loại này còn cứng hơn loại mối nối thông thường và ít cần duy tu bảo dưỡng hơn.

- Phương pháp hàn nhiệt nhôm là phương pháp hàn nóng chảy đặc biệt, trong đó mối nối được liên kết bằng kim loại bổ sung nóng chảy do nhiệt của phản ứng cháy giữa hỗn hợp bột nhôm và sắt oxit (chất nhiệt nhôm).

- Trong phương pháp hàn này hỗn hợp bột oxit kim loại và bột nhôm được đốt cháy bằng một phản ứng khởi động mà không cần làm nóng từ bên ngoài. Phản ứng nhiệt nhôm sinh ra tỏa nhiệt rất cao khử oxit kim loại và làm nóng chảy chúng, kim loại nóng chảy này sẽ điền đầy khe hàn.

- Phản ứng nhiệt nhôm thường sử dụng cho các dây nối đồng và hàn khác như đồng đỏ, thép không gỉ, gang... Phương pháp này được áp dụng trong nhiều lĩnh vực, phổ biến nhất là ứng dụng để hàn các chi tiết thép kết cấu như là các ray xe lửa, đường ray cầu tàu ở cảng biển.

- Hàn giáp mối nóng chảy là phương pháp dùng một dòng điện rất lớn (khoảng 20.000 A) đi qua vùng tiếp xúc giữa hai đầu ray để làm

cho ray nóng chảy. Trong cùng thời gian đó, có một lực nén khoảng 25 đến 34 tấn, ép cho hai đầu ray dính liền lại.

- Quá trình hàn đòi hỏi phải có kỹ năng. Việc xác định “kỹ thuật hàn” đòi hỏi kiến thức về vật liệu được hàn và quy trình hàn, cùng nhiều yếu tố khác. Do có rất nhiều biến số liên quan nên kiến thức của kỹ sư hàn và kỹ năng của thợ hàn cần phải được xác nhận bằng một loạt các bài kiểm tra. Tất cả thông tin này được ghi lại trên Thông số kỹ thuật quy trình hàn (WPS), Hồ sơ đánh giá quy trình hàn (PQR), Hồ sơ đánh giá quy trình hàn (WPQR) và các Báo cáo kiểm tra liên quan. Các thử nghiệm của Phòng thí nghiệm thử nghiệm độc lập có thể được yêu cầu trên Phiếu đánh giá PQR và WPQR.

- Thông thường, chất lượng mối hàn có thể được đánh giá thông qua ngoại dạng. Chân mối hàn phải được ngấu hoàn toàn dọc theo chiều dài đường hàn, biên dạng bề mặt mối hàn chuyển tiếp đều sang bề mặt kim loại cơ bản và không phát hiện thấy khuyết tật... Việc đánh giá các tiêu chí đó như thế nào là đạt yêu cầu thì cần căn cứ theo Tiêu chí/Tiêu chuẩn chấp nhận.

- Sau khi hàn xong, mẫu thử phải được kiểm tra không phá hủy (NDT), phá hủy (DT), kiểm tra cơ học như được xác định trong tiêu chuẩn quy trình hàn. Công việc này phải được thực hiện trong phòng thí nghiệm đủ tiêu chuẩn nhưng Cơ quan kiểm tra có thể yêu cầu chứng kiến bất kỳ các cuộc thử nghiệm nào.

- Dự án đường sắt Yangon Mandalay - Myanmar sử dụng ray cấp R260-JIS 50N. Thông tin mẫu thử đối với mẫu hàn ATW và FBW như sau:

- + PQR - ATW: 01 mẫu dùng để đánh giá nhóm thợ hàn, 08 mẫu hàn ATW tại xưởng theo quy định tại Bảng 2 tiêu chuẩn EN 14730-1:2017 và Chỉ dẫn kỹ thuật của dự án;

- + PQR - FBW: 01 mẫu dùng để đánh giá nhóm thợ vận hành thiết bị hàn, 08 mẫu hàn FBW tại xưởng theo quy định tại tiêu chuẩn EN 14587-1 và Chỉ dẫn kỹ thuật của dự án;

- + Các mẫu thử nghiệm được lấy tại xưởng hàn Kadok - Myanmar;

- + Thời gian lấy mẫu: từ ngày 06/01/2022 đến ngày 09/01/2022.

2.1. Siêu âm phát hiện khuyết tật trong mối hàn ray

- Ray sau khi hàn phải được siêu âm mối hàn để phát hiện khuyết tật và điền vào hồ sơ kiểm tra. Hồ sơ phải bao gồm người kiểm tra, ngày kiểm tra, dụng cụ, đầu dò, số mối hàn, dữ liệu kiểm tra, kết quả kiểm tra và ý kiến xử lý;

- Thiết bị siêu âm phải phù hợp với tiêu chuẩn BS EN 12668 và phải được hiệu chuẩn theo BS EN 12668-1 với chu kỳ 12 tháng/lần. Đầu dò phải tuân thủ theo yêu cầu của BS EN 12668-2 và Phụ lục C của tiêu chuẩn BS EN 14730-1:2006 + A1:2010.

- Kỹ thuật, mức độ thử nghiệm, đánh giá và phương pháp siêu âm đối với mối hàn ATW, FBW tuân theo tiêu chuẩn BS EN 14730-1:2006 + A1:2010 và ISO 17640:2017. Quy trình thực hiện được áp dụng cho thử nghiệm siêu âm tại công trường hay trong phòng thí nghiệm cho các mối hàn ray với nhiệt độ từ 0 °C đến 60 °C:

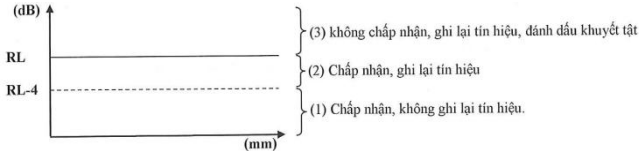
+ Chuẩn bị bề mặt: Ở cả 2 phía của mối hàn (khu vực dò quét), bề mặt thử nghiệm phải bằng phẳng và không có các tạp chất có khả năng ảnh hưởng đến việc dò quét. Rỉ sét và các vảy hàn phải được loại bỏ để đầu dò nằm gọn gàng trên bề mặt, nếu cần thiết phải được chà sạch.

+ Phạm vi thử nghiệm: Khoảng dò quét được tính toán và lựa chọn như sau:

Kim loại mối hàn khi thử nghiệm theo sơ đồ C.2, C.3 và C.4 (Bảng 5).

Kim loại mối hàn +10 mm để ray khi thử nghiệm theo C.1, C.5, C.6 và C.7 (Bảng 5).

- Tiêu chí chấp nhận:



+ Nếu Tín hiệu < (RL-4): tín hiệu được chấp nhận và không được ghi lại;

+ Nếu $(RL-4) \leq \text{Tín hiệu} < RL$: chấp nhận tín hiệu. Vị trí, mức độ dB và %FSH sẽ phải ghi lại;

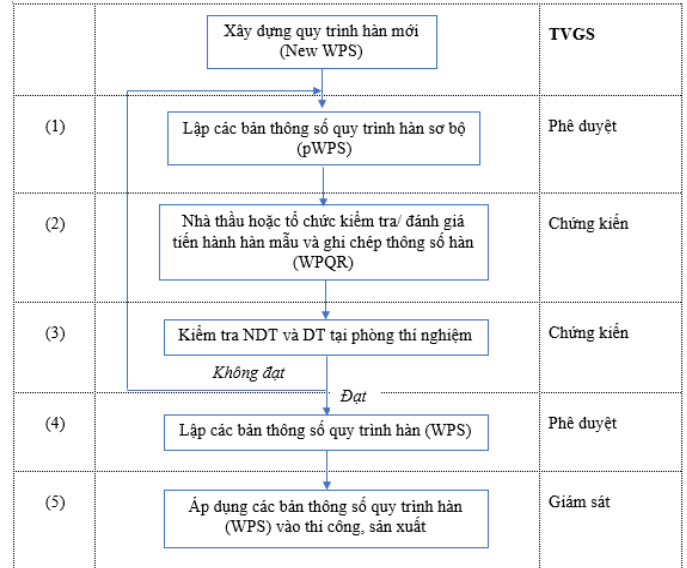
+ Nếu Tín hiệu $\geq RL$: tín hiệu không được chấp nhận (Khuyết tật). Vị trí, mức độ dB và %FSH phải được ghi lại và mối hàn được đánh dấu. Các dấu sẽ phải nhìn thấy được cho đến khi các khuyết tật được sửa chữa và thử nghiệm lại.

- Kết quả kiểm tra:

+ 09/09 mẫu ATW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật;

+ 09/09 mẫu FBW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.

Bảng 1. Lưu đồ phê chuẩn quy trình hàn.



Bảng 2. Bảng thông số kỹ thuật hàn ATW.

Quy trình hàn	Kích thước ray	Thời gian gia nhiệt trước khi hàn (Phút)	Kích thước khe hở (mm)	Chiều cao mô hàn (mm)	Áp suất khí bảo vệ		Thời gian tháo khuôn (Phút)	Khe hở trên đỉnh (mm)	Loại mô hàn
					Oxy (kPa)	Acetylene (kPa)			
SkV-Elite	R260-JIS 50N	4,5	23-27	40	400	100-120	5	1,5-2,0	2 hàng (10 lỗ)

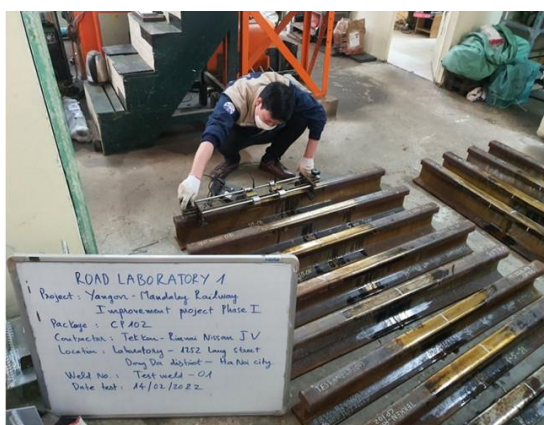
- Bột nhôm sử dụng loại Z90 của Goldschmidt Thermit Group

Bảng 3. Bảng thông số kỹ thuật hàn đối với thiết bị Geismar V2R 1050 W – FBW.

STT	Mô tả một số thông số chủ yếu thiết bị hàn FBW	Giá trị
1	Mặt cắt ray để hàn (mm ²)	6500 - 10000
2	Định mức dòng điện thử cấp, kA	21,5
3	Điện áp định mức, V	400
4	Tần số, Hz	50
5	Công suất tối đa khi hàn ray với 8200mm ² , mỗi hàn/h	13
6	Áp suất dầu trong hệ thống thủy lực, MPa	21
7	Lực kẹp, kN (ở áp suất 21MPa trong hệ thống thủy lực)	3000
8	Thời gian hàn ray (đối với ray 60 UIC, s, max	180

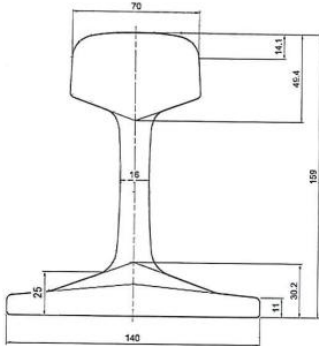
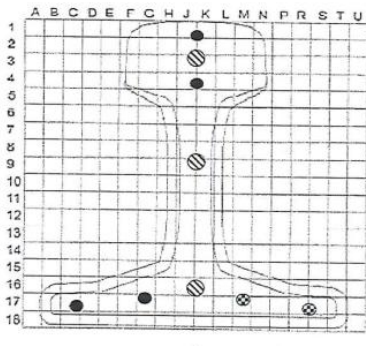
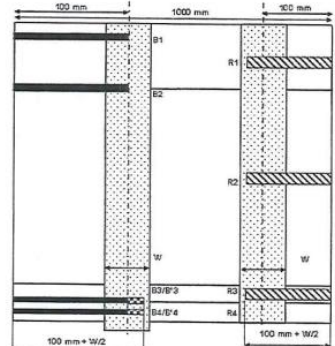
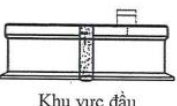
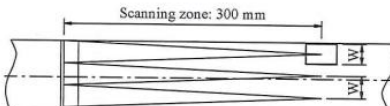
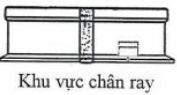
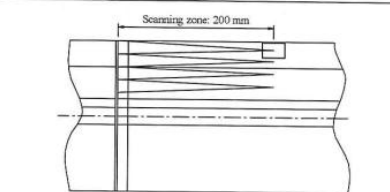
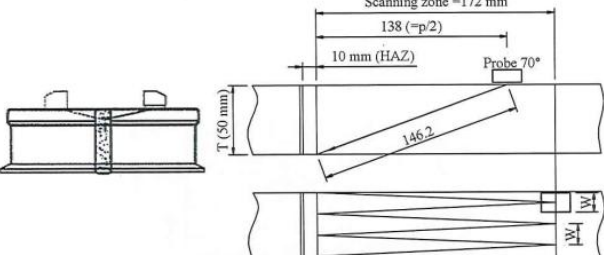
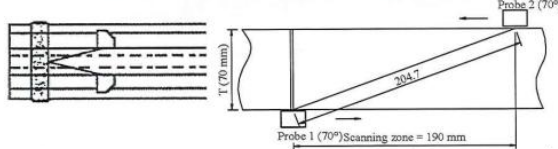
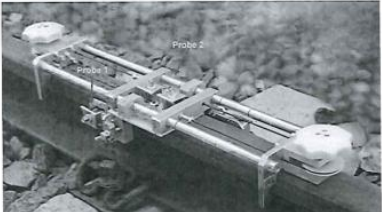
Bảng 4. Các phương pháp thí nghiệm kiểm tra mẫu hàn PQR.

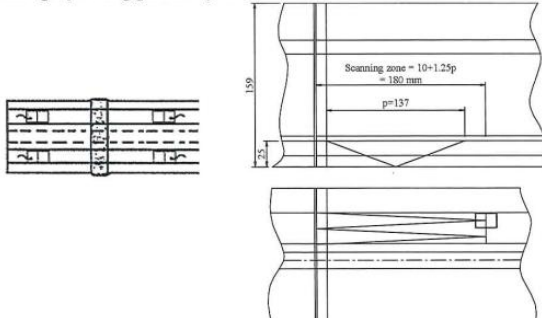
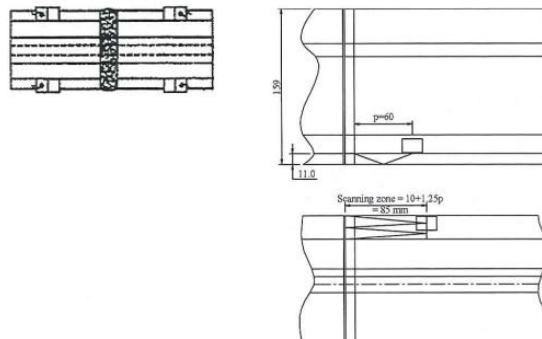
STT	Phương pháp thí nghiệm	Tiêu chuẩn tham chiếu	Yêu cầu kỹ thuật/ Sai số	
1	Độ phẳng	EN 14730-2:2006	Phương ngang	Phương đứng
		(Mài toàn bộ chiều dài 1000 mm)	$\pm 0.5 \text{ mm}$	- 0.1 mm to + 0.5 mm
2	Kiểm tra bề mặt bằng mắt thường/ Hình dạng mối hàn	EN 14730-1:2017	Kích thước bề mặt tối đa (mm)	Chiều sâu tối đa (mm)
2.1	Bề mặt mối hàn dạng đúc		10 mm	3 mm
			15 mm	2 mm
			20 mm	1 mm
2.2	Bề mặt vùng hàn		Không được có khuyết tật (vết nứt, rỗ khó, xỉ, lẫn cát, hạt kim loại) có kích thước lớn hơn 1 mm.	
2.3	Vùng ảnh hưởng nhiệt nhìn thấy được	Vùng chịu ảnh hưởng nhiệt có thể nhìn thấy phải đối xứng qua trục dọc của thanh ray và trục ngang của mối hàn.		
3	Siêu âm	EN 14730-1:2010	Mức hành động - Bất kỳ tín hiệu lỗi nào > 50 % chiều cao toàn màn hình sẽ bị từ chối (51 % trở lên)	
4	Uốn tĩnh	EN 14730-1:2017	Lực tối thiểu	không yêu cầu về độ võng
			876.8 kN	
5	Thí nghiệm mỏi	EN 14730-1:2017	Past-the-Post Testing Method	
			Độ bền mỏi tối thiểu Độ bền mỏi tối đa	
			2 x 10 ⁶ Chu kỳ (2 triệu chu kỳ)	
			Ứng suất nhỏ nhất	Ứng suất lớn nhất
		EN 14730-1:2010	19 MPa	190 MPa
6	Cấu trúc vĩ mô	EN 14730-1:2017	Mắt cắt ngang của năm ray, thân ray và chân ray	
6.1	Độ bền của mối hàn & Mặt cắt mối hàn		Mặt cắt mối hàn	
6.2	Hình dạng và kích thước vùng nóng chảy, tằm thực bằng phương pháp Fry		Vùng nóng chảy phải được cắt, khoảng cách tối thiểu X giữa đầu ray trước khi hàn và vùng nóng chảy phải > 3 mm	
7	Thí nghiệm độ cứng mặt lăn của ray (Brinell)	EN 14730-1:2017	Khoảng độ cứng HBW	
			Mặt lăn của ray	Tâm mối hàn
			260 to 300	300 ± 20
			350 to 390	350 ± 20
8	Đánh giá khuyết tật ở mặt gãy	EN 14730-1:2017	Không có khuyết tật trong biểu đồ lưới dạng ray	
9	Báo cáo kết quả	EN 14730-1:2017	Bao gồm từ mục 1 - 8	

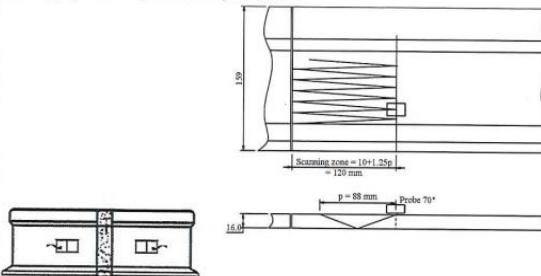


Hình 1. Siêu âm mối hàn ATW dự án đường sắt Yangon Mandalay - Myanmar ngày 14/02/2022.

Bảng 5. Lựa chọn đầu dò, thiết lập độ nhạy và dò quét.

Mục thử nghiệm	Mô tả	Đầu dò	Độ nhạy chuẩn (RF)	Thiết lập và Quét	Ý nghĩa và Đánh giá
	 Biên dạng ray	 Khối tham chiếu			
C.0	Thử nghiệm kim loại gốc (Khu vực quét)   Khu vực đầu	Đầu dò 0°, tinh thể đôi, kích thước thành phần 6 đến 12 mm	Tín hiệu dội lại thứ ba của sườn ray (T 16 mm) độ dày = 80% FSH.	- Phạm vi: 50 mm - Khu vực quét: 300 mm - Hai bên mỗi hàn (2 lần quét) - Mức độ quét = RL+ 6dB	Theo mục 7
	  Khu vực chân ray	Đầu dò 0°, tinh thể đôi, kích thước thành phần 6 đến 12 mm		- Phạm vi: 50 mm - Khu vực quét: 200 mm - Hai bên mỗi hàn (4 lần quét) - Mức độ quét = RL+ 6dB	
C.1	Thử nghiệm khu vực đầu ray mối hàn (khuyết tật không phẳng) Scanning zone = 172 mm 	Đầu dò 70°, tinh thể đôi.	Tín hiệu từ lỗ B1 = 50% FSH.	- Phạm vi: 200 mm - Khu vực quét: tối thiểu 172mm (=10mm HAZ + p/2*1.25) - Hai bên mối hàn (2 lần quét) - Mức độ quét = RL+ 14dB	Theo mục 7
C.2	Thử nghiệm khu vực đầu ray mối hàn (khuyết tật phẳng)  Hai đầu dò di chuyển cùng lúc, tất cả các âm phản xạ liên quan sẽ xuất hiện ở cùng khoảng cách đường âm, cũng có thể dùng dụng cụ thử nghiệm USR-01 để quét: 	2 đầu dò 70°, tinh thể đơn.	Tín hiệu từ lỗ R1 = 50% FSH.	- Phạm vi: 300 mm - Khu vực quét: 190mm - Hai bên mối hàn (2 lần quét) - Hai đầu dò di chuyển ngược nhau với cùng tốc độ - Mức độ quét = RL+ 14dB	

Mục thử nghiệm	Mô tả	Đầu dò	Độ nhạy chuẩn (RF)	Thiết lập và Quét	Ý nghĩa và Đánh giá
C.5	Thử nghiệm vùng góc để ray mỗi hàn 	Một đầu dò 70°, tinh thể đơn	Tín hiệu tối thiểu từ lỗ B3 hay B'3 = 50% FSH.	- Phạm vi: 200 mm - Khu vực quét: tối thiểu 180mm (=10mm HAZ +1.25p) - Hai bên mỗi hàn (4 lần quét) - Mức độ quét = RL+ 14dB	theo mục 7
C.6	Thử nghiệm khu vực đầu để ray mỗi hàn 	Một đầu dò 70°, tinh thể đơn	Tín hiệu tối thiểu từ lỗ B4 hay B'4 = 50% FSH.	- Phạm vi: 100 mm - Khu vực quét: tối thiểu 85mm (=10mm HAZ +1.25p) - Hai bên mỗi hàn (4 lần quét) - Mức độ quét = RL+ 14dB	

Mục thử nghiệm	Mô tả	Đầu dò	Độ nhạy chuẩn (RF)	Thiết lập và Quét	Ý nghĩa và Đánh giá
C.7	Thử nghiệm khu vực sườn ray mỗi hàn 	Một đầu dò 70°, tinh thể đơn	Tín hiệu tối thiểu từ lỗ B4 hay B5 = 50% FSH.	- Phạm vi: 150 mm - Khu vực quét: tối thiểu 120mm (=10mm HAZ +1.25p) - Hai bên mỗi hàn (42 lần quét) - Mức độ quét = RL+ 14dB	The

2.2. Thí nghiệm độ cứng

- Để nghiệm thu chất lượng mối hàn ray cần phải tiến hành thí nghiệm độ cứng mặt lăn của ray bằng phương pháp Brinell theo yêu cầu của dự án hoặc tuân thủ theo tiêu chuẩn EN 14730-1:2017 Mục 7.2 và Phụ lục D.

- Giá trị độ cứng Brinell của mối hàn được đo ở giữa trục mỗi hàn vùng nắm ray bằng độ cứng ở các điểm liên kề với sai số ± 20 giá trị độ cứng Brinell.

- Các yêu cầu đối với phép thử độ cứng Brinell:

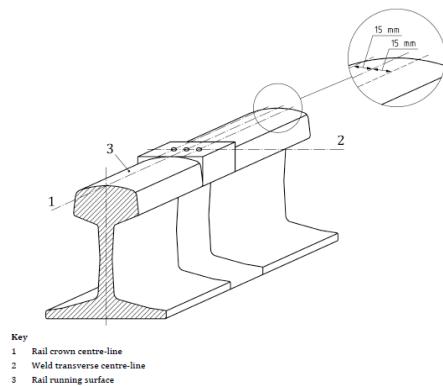
- + Đường kính mũi bi hợp kim vonfram là 5 mm hoặc 10 mm;
- + Tải trọng thử là 750 kG (đường kính bi là 5 mm) hoặc 3000 kG (3T) (đường kính bi là 10 mm)
- + Thời gian gia tải là 15 giây.
- Trên mỗi mối hàn đo 03 lần, giá trị độ cứng ở mỗi lần đo phải thỏa mãn giá trị quy định nêu ở Bảng 6.
- Kết quả kiểm tra:
- + 09/09 mẫu ATW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật;
- + 09/09 mẫu FBW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.

Bảng 6. Khoảng giá trị độ cứng Brinell cho phép đối với mối hàn ray.

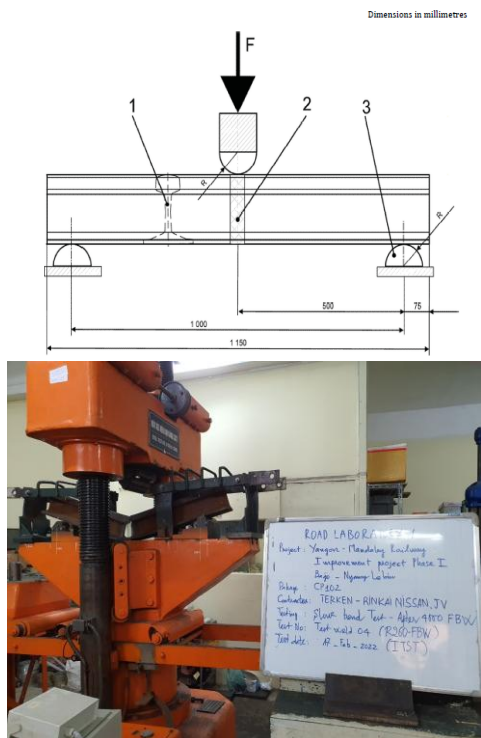
Rail Grade	Hardness Range HBW	
	Rail Running Surface on Unaffected Parent Rail	Weld Centreline
R260	260 to 300	300 $\pm$ 20
R350HT	350 to 390	350 $\pm$ 20

2.3. Thí nghiệm uốn

- Mẫu thử được lấy từ công trường, chiều dài tối thiểu là 1,3 m với mối hàn ở giữa;
- Mẫu uốn được đặt trên gối uốn cách nhau 1,0 m;



Hình 2. Thí nghiệm độ cứng mối hàn bằng phương pháp Brinell ngày 15/02/2022.

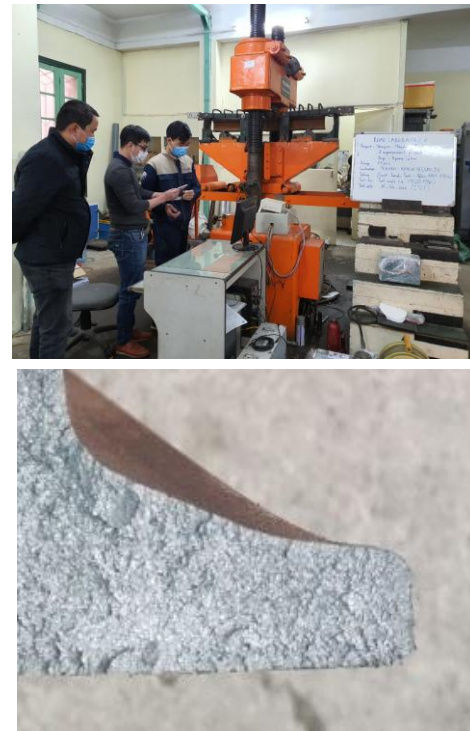


Hình 3. Thí nghiệm uốn (slow bend) và đánh giá mặt gãy ngày 17/02/2022.

- Gia tải lên mẫu với tốc độ từ 10 đến 20kN/s cho đến khi mẫu bị phá hủy hoặc đến khi đạt lực tới hạn.
- Yêu cầu đối với giá trị lực uốn tối thiểu để nghiệm thu được nêu ở Bảng 7.
- Kết quả kiểm tra:
 - + 04/04 mẫu ATW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật;
 - + 04/04 mẫu FBW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.

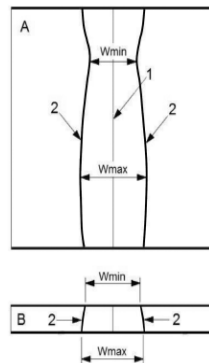
Bảng 7. Giá trị lực uốn tối thiểu.

Minimum Bend Test Requirements for Approval			
Rail Profile	Rail Grade	Minimum Bend Test Force (in kN)	Minimum Bend Test Deflection (in mm)
JIS 50N	R260	980	20 to 25



2.4. Kiểm tra cấu trúc vĩ mô

- Sau khi hàn, để kiểm tra cấu trúc của mối hàn cũng như vùng ảnh hưởng nhiệt thì cần phải thí nghiệm kiểm tra cấu trúc vĩ mô (Macro);
- Vùng ảnh hưởng nhiệt nhìn thấy được phải có hình dạng đối xứng qua đường hàn và nằm trong phạm vi chiều rộng tối đa là 45 mm (W_{max}) và tối thiểu là 20 mm (W_{min}). Dung sai này được áp dụng cho từng mẫu riêng lẻ.
- Định nghĩa về chiều rộng của vùng ảnh hưởng nhiệt được thể hiện trong Hình 4. Độ lệch cho phép giữa kích thước tối đa và tối thiểu của vùng ảnh hưởng nhiệt quan sát được không vượt quá 20 mm.

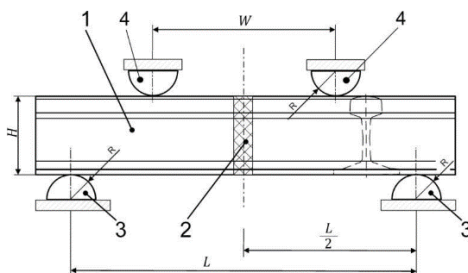


Key

- A section at the vertical axis cut through the full rail depth
- B section at rail foot tip
- 1 weld line
- 2 limit of the heat-affected zone visible on the etched samples

Hình 4. Chiều rộng vùng ảnh hưởng nhiệt.

- Yêu cầu trên phải được áp dụng như nhau đối với các đường cắt theo trục thẳng đứng theo toàn bộ chiều cao của ray. Kết quả được đánh giá riêng cho từng đường cắt.
- Kết quả kiểm tra:
 - + 03/03 mẫu ATW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật;
 - + 03/03 mẫu FBW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.



Key

- 1 elevation
 - 2 weld
 - 3 lower bearer
 - 4 upper bearer
- NOTE: R = 40 mm to 70 mm.

2.5. Thí nghiệm mới

2.5.1. Thí nghiệm mới ở 2×10^6 chu kỳ (2 triệu chu kỳ)

- Hai mẫu ray đã hàn ở dạng thành phẩm được thí nghiệm trong phạm vi tải trọng cố định ở 2 triệu chu kỳ;
- Độ bền mỏi sẽ được đánh giá thông qua quy trình/đề cương thử nghiệm đã được phê duyệt theo tiêu chuẩn của dự án hoặc có thể tham khảo tiêu chuẩn EN 14587-1 và/hoặc EN 14730-1;
- Nếu bất kỳ mẫu thử nào bị phá hủy khi chưa đủ 2 triệu chu kỳ thì sẽ đánh giá loại bỏ;
- Tất cả mẫu thử còn nguyên vẹn sau khi thí nghiệm mỏi sẽ tiến hành uốn để kiểm tra mặt gãy.
- Kết quả kiểm tra:
 - + 02/02 mẫu ATW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật;
 - + 02/02 mẫu FBW đảm bảo yêu cầu kỹ thuật.

2.5.2. Thí nghiệm uốn sau khi thí nghiệm mỏi

- Thí nghiệm uốn được thực hiện với các mẫu thí nghiệm còn nguyên vẹn sau khi thí nghiệm mỏi để kiểm tra mặt phá hoại và được thể hiện trên biểu đồ lưới hình dạng ray.

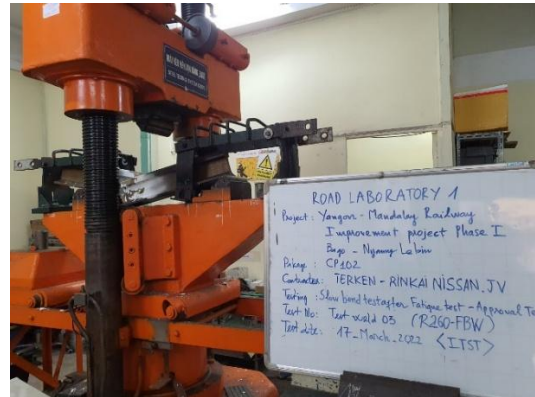
2.5.3. Đánh giá mặt gãy mẫu phá hủy sau khi uốn

- Phải ghi lại bất kỳ khuyết tật nào khi phát hiện ở bề mặt gãy của mối hàn trên biểu đồ lưới dạng hình dạng ray như thể hiện ở Hình 7.
- Báo cáo kết quả phải bao gồm các thông tin dưới đây:
 - + Dạng khuyết tật;
 - + Kích thước bề mặt;
 - + Hình dạng;
 - + Vị trí;
 - + Độ sâu của rỗ khí.
- Báo cáo sẽ thể hiện nhận dạng mối hàn thí nghiệm và cho biết loại mối hàn đó có được sử dụng để tiến hành thí nghiệm uốn hoặc mỏi không.

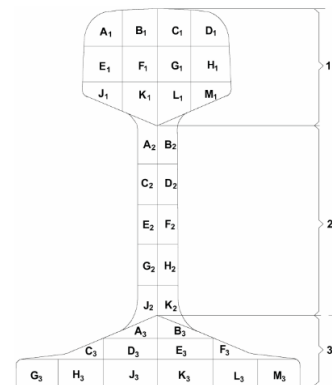




Hình 5. Thí nghiệm môi trên hệ thống thiết bị kéo nén vạn năng 100T- VPM-2A (Nga) ngày 01/3/2022.



Hình 6. Thí nghiệm uốn sau khi thí nghiệm môi ngày 17/3/2022.



Hình 7. Đánh giá mặt gãy mẫu phá hủy sau khi uốn ngày 17/3/2022.

2.6. Một số thí nghiệm khác trong công tác quản lý chất lượng thi công hạng mục kết cấu tại dự án đường sắt

2.6.1. Thí nghiệm các chỉ tiêu đánh giá chất lượng đá Ballast

- Đá ballast là những viên đá nghiền có kích thước dưới 40 mm. Chúng được rải dưới và xung quanh tà vẹt và sở hữu một đặc tính gọi là “nội ma sát của tập hợp đá”. Nội ma sát này phụ thuộc vào cách sắp đặt,

hình dạng và kích thước của một tập hợp những viên đá nhỏ. Những loại đá cứng thường được dùng là đá granite, thạch anh, đá trap, v.v...

- Đá ballast mang lại một nền tảng hỗ trợ, giúp tăng độ cứng, độ bền và độ linh hoạt cho đường ray khi có tàu đi qua. Ngoài ra, đá ballast còn giúp dẫn nước mưa và tuyết ra khỏi đường ray, ngăn sự xuất hiện của nước trên bề mặt, ngăn cỏ, cây dại mọc trên đường ray, tăng tính đàn hồi cho đường ray trước tác động nhiệt.

- Trước sự tàn phá của thiên nhiên, con người và sự hao mòn trong quá trình sử dụng, công tác bảo trì lớp đá ballast tiêu tốn rất nhiều nhân lực, chi phí và thời gian. Vì vậy, ngành công nghiệp đường sắt cũng đã phát triển và áp dụng những loại đường sắt không cần dùng đá ballast (ballastless track). Thay vì sử dụng lớp đá ballast trợ lực, người ta dùng các phiến bê tông đặt liên tiếp nhau và đường ray được đặt trực tiếp lên mặt trên của phiến bê tông. Tuy nhiên, do chi phí ban đầu cao hơn và mất nhiều thời gian để thay thế trên các tuyến đường sắt sẵn có, loại đường ray không dùng đá ballast thường được dành cho các tuyến đường sắt tốc độ cao hoặc vận tải nặng.

2.6.2. Xác định khuyết tật trong bê tông bằng thiết bị siêu âm xung dội quét mảng pha

- Phạm vi áp dụng: Phương pháp siêu âm xung dội quét mảng pha dùng để phát hiện các khuyết tật trong cấu trúc bê tông, xác định sự hiện diện, dự đoán sự phát triển, vị trí và kích thước gần đúng của vết nứt, lỗ rỗng, các khuyết tật khác. Các quy định về thiết bị, nguyên tắc thực hiện, tính toán và giải đoán dựa theo hướng dẫn của tiêu chuẩn ACI 228.2R-13.

- Nguyên lý: Sử dụng phương pháp siêu âm xung dội quét mảng pha.

- Nguyên tắc chung: Đầu dò Pundit 250 Array, Pundit Array Live Pro hoặc các đầu dò tương đương dựa trên việc thiết lập 8 kênh (hoặc lớn hơn) truyền-nhận tín hiệu xung dội. Khi vận hành thiết bị đo, một kênh sẽ truyền xung siêu âm và 7 kênh còn lại sẽ thu/nhận xung dội lại; lần lượt, mỗi kênh đều sẽ truyền tín hiệu.

- Khi xung được truyền vào bê tông, nó bị phản xạ nhiều lần tại các mặt tiếp giáp giữa các loại vật liệu khác nhau nằm trong bê tông và tạo ra một hệ thống tổng hợp các sóng ứng suất, trong đó bao gồm cả sóng dọc và sóng ngang lan truyền trong bê tông. Các xung phản hồi được thiết bị siêu âm thu nhận, xử lý và hiển thị hình ảnh trên màn hình kỹ thuật số. Sau khi phân tích, giải đoán sẽ ước tính được vị trí, kích thước của lỗ rỗng, tổ ong...

- Ứng dụng:

+ Thích hợp cho việc xác định các khuyết tật, vị trí của các khuyết tật bên trong kết cấu bê tông và bê tông cốt thép nhanh chóng: Lỗ rỗng, rỗ tổ ong và độ sâu của sự phân tách bên trong kết cấu bê tông;

+ Phát hiện các vật thể bên trong kết cấu bê tông và bê tông cốt thép: Các ống, gân phía bên ngoài của lớp cốt thép.

2.6.3. Kiểm định, thử tải dầm U

🚩 Giới thiệu chung

- Nhịp dầm thử tải:

+ Kết cấu nhịp: Giản đơn

+ Dầm chủ: Dầm BTCT DƯỠ, mặt cắt ngang dạng chữ U.

+ Chiều dài nhịp $L = 35$ m.

🚩 Mục đích của công tác kiểm định cầu

- Kiểm tra hiện trạng, kiểm tra sự xuất hiện các hư hỏng kết cấu dầm U trong quá trình thử tải như: sự xuất hiện vết nứt tại thõ chịu nén, thõ chịu kéo, sự mất ổn định kết cấu;

- Đo đặc độ võng của dầm và chuyển vị ngang của phần cánh dầm chữ U do tải trọng thử gây ra, ứng với mỗi cấp tải;

- Đo độ lún, chuyển vị của hai trụ đỡ kết cấu nhịp thử tải.

🚩 Một số nội dung kiểm tra theo đề cương

- Kiểm tra hiện trạng kết cấu trước, trong và sau khi kết thúc công tác thử tải: Kiểm tra sự xuất hiện các hư hỏng kết cấu dầm U trong quá trình thử tải như: sự xuất hiện vết nứt tại thõ chịu nén, thõ chịu kéo, sự mất ổn định kết cấu.

- Đo chuyển vị theo phương thẳng đứng của kết cấu dầm chữ U thử tải:

+ Đo trước khi thử tải: Đo mỗi 2h trong 2 ngày trước khi thử tải.

+ Đo trong khi thử tải: Đo ứng với mỗi cấp tải.

+ Đo sau khi thử tải : Đo sau khi dỡ tải hoàn toàn.

+ Đo chuyển vị theo phương ngang cánh dầm chữ U thử tải:

+ Đo trước khi thử tải: Đo mỗi 2h trong 2 ngày trước khi thử tải.

+ Đo trong khi thử tải: Đo ứng với mỗi cấp tải.

+ Đo sau khi thử tải : Đo sau khi dỡ tải hoàn toàn.

- Đo chuyển vị theo phương thẳng đứng và phương dọc cầu của 2 trụ: trụ P_n và P_{n-1} , là hai trụ đỡ nhịp dầm U thử tải :

+ Đo trước khi thử tải: Đo mỗi 2h trong 2 ngày trước khi thử tải.

+ Đo trong khi thử tải: Đo ứng với mỗi cấp tải.

+ Đo sau khi thử tải : Đo sau khi dỡ tải hoàn toàn

- Đo nhiệt độ

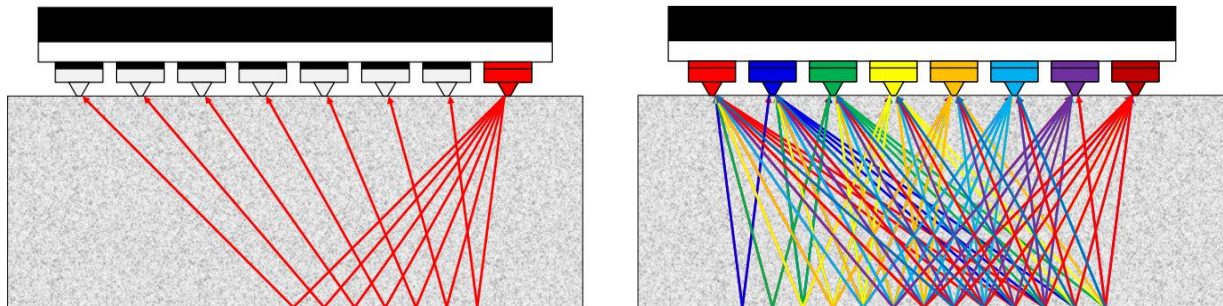
+ Đo tại các thời điểm lấy số liệu về độ võng, độ lún và chuyển vị.



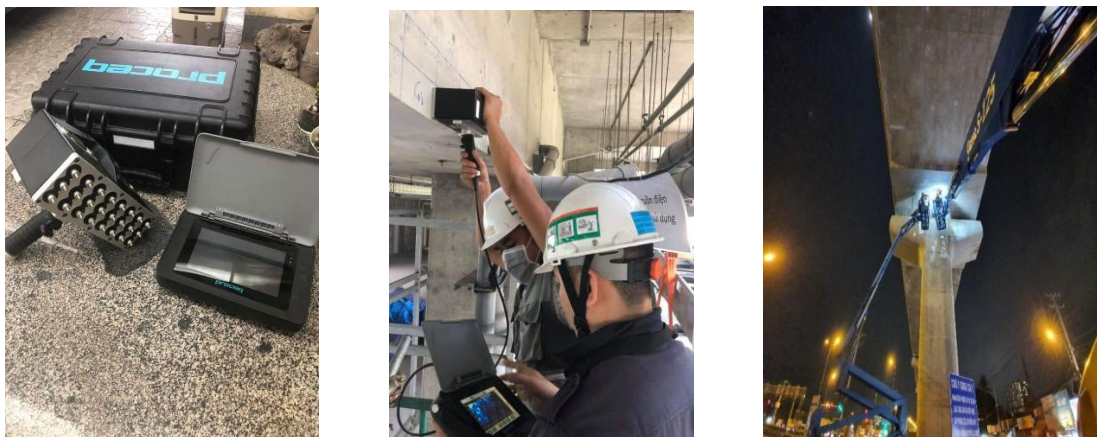
Hình 8. Thí nghiệm đánh giá chất lượng đá Ballast dự án Metro line 1 ngày 11/7/2018.

Bảng 8. Một số kết quả thí nghiệm đá Ballast dùng cho Depot dự án Metro line 1.

1. Thí nghiệm phân tích thành phần hạt							
Cỡ sàng	mm	60	50	40	25	20	Yêu cầu kỹ thuật - (EN 13450 & PS)
% lọt sàng	%	100,0	96,4	69,1	5,7	1,5	
Yêu cầu kỹ thuật	%	100-100	80-100	25-70	0-20	0-5	
2. Hạt mịn (EN 933-1)	%	0,39					≤ 0.6
3. Độ mịn (EN 933-1)	%	0,32					≤ 0.5
4. Chỉ số thoi dẹt- (EN 933-3)	%	10,10					≤ 15
5. Hệ số hình học- (EN 933-4)	%	5,3					≤ 15
6. Chiều dài hạt- (EN 13450)	%	0,0					≤ 4
7. Tỷ trọng hạt - (EN 1097-6:2000 Annex B)	Ton/m³	2,695					≥ 2.60
8. Khối lượng thể tích xốp - (EN 1097-3)	Ton/m³	1,50					≥ 1.4
9. Độ mài mòn Los Angeles - (EN 1097-2)							
Main line and Depot access line	%	11,0					≤ 27
In Depot area	%	11,0					≤ 33
10. Giá trị va đập - (EN 1097-2)							
Main line	%	7,0					≤ 20
In Depot	%	7,0					≤ 25
11. Khả năng hấp phụ nước - (EN 1097-6:2000 Annex B)	%	0,195					≤ 1
12. Chống mài mòn - Micro Deval EN 1097-1	%	6,4					≤ 15
13. Cường độ đá gốc - (TCVN 7572 - 10:2006)	MPa	150,1					≥ 80



Hình 9. Mô tả nguyên lý, quá trình truyền-thu/nhận xung trên đầu dò.



Hình 10. Kiểm tra khuyết tật trong bê tông ngày 20/11/2020.

3. Kết luận

Dự án đường sắt nói chung với quy mô, tính chất kỹ thuật phức tạp, do vậy, công tác quản lý chất lượng các hạng mục kết cấu cần phải được kiểm soát nghiêm ngặt cùng với các phương pháp kỹ thuật hiện đại, đồng bộ và theo các hệ tiêu chuẩn chung đã được Quốc tế công nhận.

Các kết quả kiểm tra cho thấy chất lượng đường hàn theo các phương pháp hàn nhiệt nhôm, giáp mối nóng chảy đảm bảo theo yêu cầu kỹ thuật của dự án đường sắt Yangon Mandalay - Myanmar.

Chất lượng vật liệu đá Ballast và một số hạng mục kết cấu khác của dự án Metroline Bến Thành-Suối Tiên đảm bảo theo yêu cầu kỹ thuật.

Phòng Thí nghiệm trọng điểm đường bộ I – Viện KH&CN GTVT là một trong những đơn vị tiên phong nghiên cứu ứng dụng một số phương pháp thí nghiệm trong quản lý chất lượng mối hàn nhiệt nhôm, giáp mối nóng chảy và một số thí nghiệm khác nhằm kiểm tra, kiểm soát và đánh giá chất lượng quá trình thi công tại một số dự án đường sắt ở Việt Nam, Myanmar (đường sắt Bắc Nam; dự án đường sắt đô thị Nhỏn-Ga Hà Nội, Bến Thành Suối Tiên, Yangon Mandalay...). Đây là sự chuẩn bị mang tính chất chiến lược tiến tới làm chủ về mặt công nghệ, kỹ thuật cũng như tận dụng, phát huy nguồn lực trong nước đối với việc định hướng phát triển ngành công nghiệp đường sắt của Chính phủ.

Tài liệu tham khảo

- [1]. BS EN 14730-1:2006 + A1:2010, Railway Applications - Track - Aluminothermic Welding of rails - Part 1: Approval of Welding Processes
- [2]. Chen, George S.Y., 2005. Taiwan's Sustainable Transportation Development Policy for the 21st Century. National Policy Foundation, Taiwan.
- [3]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Training Guidelines in Nondestructive Testing Techniques: IAEA-TECDOC-628/Rev.1, IAEA, Vienna, 2002.
- [4]. ISO 17640:2017 Non-destructive testing of welds - Ultrasonic testing - Techniques, testing levels, and assessment
- [5]. "Non-Destructive Evaluation of Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity", 25/7/2011, I. Lawson, K.A. Danso, H.C. Odoi, C.A. Adjei, F.K. Quashie, I.I. Mumuni and I.S. Ibrahim.
- [6]. Kim, Man-Cheol, Chung Woo-Jin, and Kang Kee-Dong, 2001. Performance Evaluation of KHSR Bridge using Two-Dimensional Train/Track/Bridge Interaction Analysis Method Korea Railroad Research Institute Report. 374-1, Woulam-Dong, Uiwang-City, Kyonggi-Do, 437-050, Korea.
- [7]. Pundit 250 Array - Operating Instructions.
- [8]. "Ứng dụng các phương pháp kiểm tra không phá hủy thông dụng trong lĩnh vực cơ khí ở Việt Nam", 15/9/2018, Vũ Tiến Hà, Vũ Quang Chất, Dương Ngọc Đức, Lê Ngọc Hiếu.