

NÂNG CAO HIỆU QUẢ KIỂM SOÁT RỦI RO TRONG HÀN NHIỆT NHÔM TỪ THỰC TIỄN DỰ ÁN XÂY DỰNG ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, TUYẾN SỐ 1

Đỗ Quang Huy¹, Lê Văn Tuấn^{1*}, Đặng Thị Thanh Lộc¹, Lê Minh Đức²

¹Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

²Phân Viện Khoa học An toàn và Vệ sinh lao động và Bảo vệ Môi trường Miền Trung

*Email: levantuan@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 11/3/2025; ngày hoàn thành phản biện: 18/4/2025; ngày duyệt đăng: 24/4/2025

TÓM TẮT

Công nghệ hàn nhiệt nhôm (Aluminothermic Welding – ATW) là phương pháp phổ biến trong thi công đường sắt nhưng tiềm ẩn nhiều rủi ro an toàn lao động. Nghiên cứu này tập trung đánh giá thực trạng kiểm soát rủi ro trong công tác hàn nhiệt nhôm tại tuyến metro số 1 thành phố Hồ Chí Minh. Phương pháp khảo sát thực địa, kết hợp với ma trận rủi ro 5x5 và phân tích chế độ lỗi và ảnh hưởng (FMEA), đã được sử dụng để nhận diện các nguy cơ chính như tiếp xúc khói hàn độc hại, bỏng nhiệt, nguy cơ cháy nổ và việc sử dụng PPE không đạt chuẩn. Kết quả cho thấy khả năng phơi nhiễm MnO và Fe₂O₃ vượt giới hạn an toàn trong khu vực thông gió kém. Các biện pháp cải thiện như nâng cấp PPE, bổ sung hệ thống thông gió cưỡng bức và tăng cường giám sát an toàn được đề xuất. Nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở thực tiễn cho việc xây dựng quy trình kiểm soát rủi ro an toàn, áp dụng cho các dự án metro tương lai.

Từ khóa: Hàn nhiệt nhôm, kiểm soát rủi ro, an toàn lao động, đường sắt đô thị.

1. MỞ ĐẦU

Hàn nhiệt nhôm (Aluminothermic Welding – ATW) là một phương pháp được sử dụng rộng rãi để nối ray trong xây dựng đường sắt hiện đại, đặc biệt ở các dự án đòi hỏi độ bền cao, tính chính xác và sự cơ động [1]. Phương pháp này dựa trên phản ứng hóa học giữa bột nhôm (Al) và oxit sắt (Fe₂O₃), tạo ra kim loại nóng chảy ở nhiệt độ khoảng 2500°C, kết nối các thanh ray một cách liên tục và chắc chắn [1].

Mặc dù mang lại hiệu quả kỹ thuật, quá trình ATW cũng tiềm ẩn nhiều rủi ro an toàn lao động như bỏng nhiệt từ kim loại nóng chảy, phát sinh khí độc chứa oxit kim

loại (MnO , Fe_2O_3), nguy cơ cháy nổ do tia lửa hàn và rủi ro cơ học do thao tác sai quy trình [2]. Nếu không có các biện pháp kiểm soát phù hợp, các nguy cơ này có thể ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe người lao động và chất lượng công trình. Theo tiêu chuẩn EN 14730-1 do Ủy ban Tiêu chuẩn hóa Châu Âu ban hành, quá trình ATW cần tuân thủ chặt chẽ quy trình kỹ thuật và an toàn, đặc biệt trong thi công đường sắt [3]. Việc tuân thủ các yêu cầu về thông gió, thiết bị bảo hộ cá nhân (PPE) và quy trình kiểm soát nhiệt độ thi công đóng vai trò quyết định trong việc giảm thiểu rủi ro phát sinh [2].

Tại Việt Nam, công nghệ hàn nhiệt nhôm đã được áp dụng tại các dự án lớn như tuyến metro số 1 TP. Hồ Chí Minh. Tuy nhiên, đánh giá thực tế cho thấy nhận thức về rủi ro và quy trình kiểm soát an toàn lao động đối với công nghệ này còn hạn chế [4]. Để tăng cường tính an toàn trong thi công, Việt Nam đã ban hành tiêu chuẩn TCVN 13965-1:2024, xây dựng dựa trên hệ thống tiêu chuẩn EN 14730 [5]. Ngoài ra, ISO 45001:2018 [6] và ISO 31000:2018 [7] cũng nhấn mạnh vai trò của việc quản lý rủi ro trong hệ thống quản lý an toàn lao động. Đặc biệt, việc áp dụng mô hình Phân tích nguy cơ và tác động (FMEA) và quy trình kiểm soát nguy cơ theo chuẩn OHSAS 18001 [8] được khuyến nghị để tăng cường năng lực kiểm soát rủi ro trong thi công hàn nhiệt nhôm.

Dựa trên cơ sở đó, nghiên cứu này tập trung đánh giá thực trạng kiểm soát rủi ro trong công tác hàn nhiệt nhôm tại tuyến metro số 1 TP. Hồ Chí Minh, đối chiếu với các tiêu chuẩn quốc tế và trong nước, nhằm đề xuất các giải pháp cải thiện hệ thống an toàn lao động tại công trường.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp tổng hợp tài liệu

Tổng hợp các tiêu chuẩn kỹ thuật, quy định an toàn lao động và nghiên cứu trước đây về ATW. Các tài liệu bao gồm:

- Tiêu chuẩn ISO 45001:2018, quy định về hệ thống quản lý an toàn và sức khỏe nghề nghiệp, được áp dụng rộng rãi trong quản lý rủi ro công nghiệp [6].
- Hướng dẫn của OSHA 1910, quy định về an toàn lao động trong hàn kim loại, đặc biệt là tác động của khói hàn và yêu cầu bảo hộ cá nhân (PPE) [9].
- Tiêu chuẩn TCVN 13965-1:2024, hướng dẫn cụ thể về hàn nhiệt nhôm trong thi công đường sắt, giúp xác định các yêu cầu kỹ thuật và biện pháp kiểm soát an toàn [5].

2.2. Phương pháp khảo sát thực địa và thu thập dữ liệu

Nghiên cứu được thực hiện tại công trường tuyến đường sắt đô thị số 1 TP. Hồ Chí Minh trong giai đoạn hàn nhiệt nhôm từ tháng 3/2023 đến tháng 9/2023. Dữ liệu thực địa được thu thập thông qua quan sát thực địa, khảo sát công nhân, và đo kiểm môi trường làm việc. Phương pháp quan sát trực tiếp giúp đánh giá mức độ tuân thủ quy

trình an toàn lao động, sử dụng thiết bị bảo hộ cá nhân (PPE), hiệu quả hệ thống thông gió và các nguy cơ phát sinh trong quá trình hàn nhiệt nhôm.

Dữ liệu khảo sát được thu thập bằng công cụ Google Forms và bảng hỏi trực tiếp trong giai đoạn 3/2023–9/2023. Tổng cộng 50 phiếu khảo sát và 10 cuộc phỏng vấn sâu được thực hiện theo phương pháp chọn mẫu thuận tiện có kiểm soát. Thành phần bao gồm: 30 công nhân trực tiếp thi công hàn nhiệt nhôm, 10 kỹ sư giám sát công trình và 10 cán bộ an toàn lao động (HSE). Việc lựa chọn cỡ mẫu dựa trên khả năng tiếp cận thực tế tại công trường và đảm bảo tính đại diện của các nhóm liên quan đến hoạt động ATW. Bảng câu hỏi được xây dựng theo các tiêu chí gồm mức độ tiếp xúc với nhiệt độ cao, tác động của khói hàn, chất lượng PPE và nhận thức về an toàn lao động. Dữ liệu khảo sát được phân tích nhằm xác định tỷ lệ công nhân gặp phải các vấn đề sức khỏe liên quan đến ATW, mức độ tuân thủ quy trình an toàn và những khó khăn thực tế khi thực hiện các biện pháp kiểm soát rủi ro. Bên cạnh đó, nghiên cứu tiến hành đo kiểm môi trường làm việc nhằm đánh giá nồng độ khí độc trong khói hàn và hiệu suất thông gió. Các thiết bị chuyên dụng được sử dụng gồm Fluke 62 Max+ để đo nhiệt độ môi trường, Dräger X-am 5600 để đo nồng độ MnO và Fe₂O₃ trong không khí, và Laser liner – Airflow- Test-Master để đánh giá tốc độ luồng khí. Dữ liệu thu được so sánh với các tiêu chuẩn an toàn như OSHA 1910 và ISO 45001, từ đó đề xuất các biện pháp kiểm soát phù hợp nhằm giảm thiểu nguy cơ tiếp xúc với nhiệt độ cao và khí độc trong quá trình hàn.

2.3. Phương pháp đánh giá rủi ro

Để đánh giá mức độ rủi ro trong quá trình hàn nhiệt nhôm, nghiên cứu này sử dụng hai phương pháp chính: Ma trận rủi ro 5x5 và Phân tích chế độ lỗi và ảnh hưởng (FMEA). Hai phương pháp này giúp xác định các nguy cơ tiềm ẩn, đánh giá mức độ nghiêm trọng và tần suất xảy ra của từng rủi ro, từ đó đề xuất các biện pháp kiểm soát hiệu quả nhằm đảm bảo an toàn lao động và tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế như ISO 45001 [6], OSHA 1910 [9], và TCVN 13965-1:2024 [5]. Ma trận rủi ro 5x5 là phương pháp đánh giá rủi ro dựa trên hai yếu tố: mức độ nghiêm trọng (Severity - S) và tần suất xảy ra (Likelihood - L). Mỗi yếu tố được chia thành 5 cấp độ, từ thấp đến cao, với giá trị từ 1 đến 5. Chỉ số rủi ro (Risk Score - RS) được tính bằng công thức: $RS = S \times L$ (1)

Dựa vào giá trị RS, rủi ro được phân loại thành 4 mức: thấp (1-4), trung bình (5-10), cao (11-15) và rất cao (16-25). Những rủi ro thuộc mức cao và rất cao cần được kiểm soát ngay lập tức để đảm bảo an toàn trong quá trình thi công. Việc áp dụng phương pháp này giúp xác định nhanh chóng các nguy cơ có mức độ ảnh hưởng lớn, hỗ trợ nhà quản lý trong việc ưu tiên các biện pháp kiểm soát rủi ro hiệu quả.

Bên cạnh đó, phương pháp FMEA được sử dụng để đánh giá chi tiết từng lỗi có thể xảy ra trong quá trình hàn nhiệt nhôm và mức độ ảnh hưởng của chúng. Phương pháp này phân tích ba yếu tố chính: mức độ nghiêm trọng (S), tần suất xảy ra (O) và khả

năng phát hiện (D). Chỉ số ưu tiên rủi ro (Risk Priority Number - RPN) được tính bằng công thức:

$$RPN = S \times O \times D \quad (2)$$

Những rủi ro có RPN cao nhất sẽ được ưu tiên kiểm soát bằng các biện pháp kỹ thuật hoặc hành chính nhằm giảm thiểu tác động. FMEA là phương pháp đánh giá chi tiết hơn so với ma trận rủi ro 5x5, giúp xác định nguyên nhân gốc rễ của từng nguy cơ, từ đó tối ưu hóa quy trình kiểm soát an toàn trong thi công hàn nhiệt nhôm [7,8].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá thực trạng kiểm soát rủi ro tại công trường

Quan sát thực địa tại công trường tuyến metro số 1 TP. Hồ Chí Minh cho thấy mức độ tuân thủ an toàn lao động trong hàn nhiệt nhôm chưa đồng đều. Khoảng 70% công nhân thực hiện đúng quy trình, bao gồm kiểm tra thiết bị, duy trì khoảng cách an toàn và xử lý vật liệu đúng kỹ thuật. Tuy nhiên, 30% còn vi phạm các bước an toàn cơ bản, chủ yếu do áp lực tiến độ thi công và giám sát chưa nghiêm.

Việc sử dụng thiết bị bảo hộ cá nhân (PPE) cũng cho thấy nhiều bất cập. Mặc dù 85% công nhân sử dụng PPE, 40% trong số đó dùng thiết bị không đạt chuẩn, đặc biệt là khẩu trang lọc khí. Nguyên nhân chính là PPE không phù hợp môi trường làm việc, gây khó chịu [9]. Việc PPE kém chất lượng làm tăng nguy cơ phơi nhiễm khí độc, theo tiêu chuẩn OSHA 1910 [9].

Đánh giá thông gió thực tế bằng thiết bị Laser liner – Airflow Test Master cho thấy tốc độ luồng khí tại khu vực hàn kín chỉ đạt 0,3–0,5 m/s, thấp hơn yêu cầu 1 m/s theo ISO 45001 [6]. Điều này khiến khí hàn độc hại có thể tích tụ, nhất là trong hầm hoặc khu vực gió lặng. Đo đạc thực nghiệm cho thấy nồng độ MnO trong không khí đạt tới 0,5 mg/m³, vượt 2,5 lần giới hạn phơi nhiễm cho phép là 0,2 mg/m³, trong khi nồng độ Fe₂O₃ dao động dưới 5 mg/m³ [6, 9]. Điều này xác định rõ nguy cơ phơi nhiễm thực tế cao, yêu cầu phải cải thiện hệ thống thông gió cưỡng bức, nâng cấp PPE đạt chuẩn và tăng cường giám sát thi công.

3.2. Kết quả phân tích khảo sát công nhân về an toàn lao động trong hàn nhiệt nhôm

Kết quả khảo sát 50 công nhân hàn và 10 cuộc phỏng vấn sâu với kỹ sư giám sát và chuyên gia an toàn lao động cho thấy nhiều vấn đề tồn tại trong công tác bảo đảm an toàn khi thi công hàn nhiệt nhôm. Bảng 1 cung cấp dữ liệu về việc công nhân tiếp xúc với nhiệt độ cao và khói hàn, nhận thức về an toàn lao động và đề xuất từ công nhân.

Phản ứng nhiệt nhôm tạo ra nhiệt độ lên tới 2500°C, làm gia tăng nguy cơ bỏng nhiệt và hít phải khói hàn độc hại. 28% công nhân cho biết đã từng bị khó chịu do nhiệt độ cao, khói bụi. Ngoài ra, 57% công nhân cảm thấy khó thở hoặc kích ứng hô hấp nếu đứng gần khi gia nhiệt hoặc phản ứng nhiệt nhôm, khi đó nhiệt độ xung quanh khu vực

hàn khoảng 0,5m lên tới 40 °C khi làm việc trong khu vực hàn kín, do khẩu trang bảo hộ chưa đảm bảo khả năng lọc khí.

Về nhận thức về an toàn lao động: dù 84% công nhân hiểu rõ quy trình an toàn, vẫn còn 16% chưa được đào tạo đầy đủ. Có 72% công nhân tham gia các buổi huấn luyện định kỳ hàng quý, trong khi 33% chưa từng tham gia diễn tập xử lý sự cố. Điều này đặt ra nhu cầu cải thiện đào tạo an toàn, đặc biệt là diễn tập thực tế để giúp công nhân phản ứng nhanh trong các tình huống khẩn cấp. 58% công nhân đề xuất nâng cấp PPE, đặc biệt là khẩu trang lọc khí, lọc bụi tiêu chuẩn N95 hoặc P100 để ngăn bụi MnO và Fe₂O₃, găng tay chịu nhiệt và kính bảo hộ chống chói. Ngoài ra, 54% đề xuất lắp đặt thêm quạt hút khói hàn để giảm nguy cơ hít phải khói hàn độc hại. Một vấn đề đáng chú ý khác là 45% công nhân thừa nhận họ phải làm việc gấp rút, có lúc bỏ qua một số bước kiểm tra an toàn để đảm bảo tiến độ. 39% đề xuất tăng cường giám sát an toàn từ kỹ sư công trường để kiểm soát tốt hơn việc tuân thủ các quy trình bảo hộ lao động.

Bảng 3.1. Kết quả khảo sát công nhân về an toàn lao động trong hàn nhiệt nhôm

Chỉ số khảo sát	Tỷ lệ công nhân (%)	Nguyên nhân chính
Mức độ tiếp xúc với nhiệt độ cao và khói hàn		
Nóng do nhiệt cao	68%	Khoảng cách làm việc quá gần, PPE không đạt chuẩn
Nhiệt độ cao khi phản ứng nhiệt nhôm	20%	Không tuân thủ quy trình an toàn, thiết bị bảo vệ không hiệu quả
Khó thở, kích ứng hô hấp	28%	Khẩu trang không đủ bảo vệ, không gian hàn kín không có thông gió tốt
Nhận thức về an toàn lao động		
Hiểu rõ quy trình an toàn	84%	Được đào tạo bài bản, có kinh nghiệm làm việc lâu năm
Chưa được đào tạo đầy đủ	16%	Công nhân mới, ít kinh nghiệm, chưa tham gia đầy đủ các buổi huấn luyện
Tham gia huấn luyện định kỳ	72%	Được tổ chức theo quý, tập trung vào lý thuyết
Chưa từng tham gia diễn tập an toàn	33%	Chưa có chương trình diễn tập thực tế tại công trường
Đề xuất từ công nhân		
Cải thiện PPE	58%	Cần khẩu trang lọc khí tốt hơn, găng tay chịu nhiệt, kính bảo hộ chống chói

Chỉ số khảo sát	Tỷ lệ công nhân (%)	Nguyên nhân chính
Bổ sung quạt hút khói hàn	54%	Giảm nguy cơ hít phải khói hàn, cải thiện điều kiện làm việc trong không gian kín
Giảm áp lực tiến độ để đảm bảo an toàn	35%	Một số công nhân bỏ qua quy trình an toàn để hoàn thành công việc nhanh hơn
Tăng cường giám sát từ kỹ sư an toàn	39%	Giám sát tốt hơn để đảm bảo tuân thủ quy trình an toàn

3.3. Kết quả đánh giá rủi ro theo ma trận rủi ro 5x5 và FMEA

Theo phương pháp ma trận rủi ro 5 x 5: Kết quả phân tích chỉ ra bốn nhóm rủi ro chính cần được kiểm soát để đảm bảo an toàn trong thi công hàn nhiệt nhôm: (1) Bỏng nhiệt do tiếp xúc với mối hàn ở nhiệt độ cao: Mối hàn có thể đạt tới 2500°C, gây bỏng nghiêm trọng nếu công nhân không duy trì khoảng cách an toàn hoặc PPE không đủ bảo vệ. (2) Tiếp xúc với khói hàn độc hại: Hàn nhiệt nhôm tạo ra khói chứa MnO và Fe₂O₃, nếu hít phải trong thời gian dài có thể gây kích ứng hô hấp hoặc dẫn đến bệnh phổi nghề nghiệp. (3) Nguy cơ cháy nổ: Bột nhôm và oxit sắt là các vật liệu dễ cháy, trong khi tia lửa phát sinh từ phản ứng nhiệt có thể gây cháy nổ nếu không được kiểm soát tốt, đặc biệt trong môi trường hàn kín. (4) PPE không đạt chuẩn: Một số công nhân sử dụng PPE kém chất lượng hoặc không phù hợp, làm tăng nguy cơ phơi nhiễm với các yếu tố nguy hiểm (Bảng 3.2).

Bảng 3.2. Kết quả đánh giá rủi ro trong hàn nhiệt nhôm theo ma trận rủi ro 5x5

Nguy cơ	Mức độ nghiêm trọng (S)	Tần suất xảy ra (L)	Chỉ số rủi ro (RS = S × L)	Mức độ rủi ro
Tiếp xúc khói hàn	5 (Rất nghiêm trọng)	5 (Thường xuyên)	25	Rất cao
Bỏng nhiệt	4 (Nghiêm trọng)	4 (Gần chắc chắn)	16	Cao
Nguy cơ cháy nổ	4 (Nghiêm trọng)	4 (Thường xuyên)	16	Cao
PPE không đạt chuẩn	4 (Trung bình)	3 (Thỉnh thoảng)	12	Trung bình

Ghi chú: Rất cao (RS ≥ 20): Cần kiểm soát ngay lập tức để đảm bảo an toàn.

Cao (RS 12-16): Cần kiểm soát chặt chẽ, có thể ảnh hưởng nghiêm trọng nếu không xử lý kịp thời.

Bảng 3.3. Kết quả phân tích các nguy cơ chính theo phương pháp FMEA.

Nguy cơ	Mức độ nghiêm trọng (S)	Tần suất xảy ra (O)	Khả năng phát hiện (D)	Chỉ số RPN	Mức độ ưu tiên kiểm soát
Ngạt khí	5	3	3	45	Rất Cao
Cháy nổ	4	3	3	36	Cao
Bỏng nhiệt	4	3	3	36	Cao
PPE không đạt chuẩn	4	3	2	24	Trung bình

Ghi chú RPN ≥ 45 : Rủi ro nghiêm trọng, cần kiểm soát ngay lập tức.

RPN 36 - 30: Rủi ro cao, cần có biện pháp kiểm soát chặt chẽ.

Do sự khác biệt về nguyên tắc đánh giá giữa ma trận 5x5 và phương pháp FMEA, nghiên cứu không tiến hành so sánh trực tiếp các giá trị RS và RPN. Thay vào đó, hai phương pháp được sử dụng song song để hỗ trợ nhận diện đầy đủ các nguy cơ chính trong thi công hàn nhiệt nhôm. Các kết quả phân tích chi tiết về từng nguy cơ dưới đây được trình bày riêng biệt theo từng phương pháp. Kết quả phân tích ma trận rủi ro 5x5 và FMEA cho thấy:

Thực vậy, tiếp xúc với khói hàn chứa MnO và Fe₂O₃ được xác định là nguy cơ nghiêm trọng nhất với chỉ số RPN cao nhất (45) và chỉ số rủi ro RS = 5, thuộc mức cực kỳ nguy hiểm cần kiểm soát ngay. Kết quả đo nồng độ khí độc trong quá trình hàn tại công trường cho thấy có thời điểm mức MnO trong không khí vượt 0,5 mg/m³, cao hơn 2,5 lần giới hạn phơi nhiễm theo ISO 45001 (0,2 mg/m³) [6]. Điều này phù hợp với nghiên cứu của Ramzani et al. (2022) chỉ ra rằng hít phải khói hàn chứa kim loại nặng như mangan có thể gây tổn thương phổi nghiêm trọng, suy giảm chức năng hô hấp và dẫn đến bệnh phổi nghề nghiệp [10]. Ramzani et al. (2022) cũng nhấn mạnh rằng hệ thống thông gió không hiệu quả là nguyên nhân hàng đầu gây tích tụ khí độc trong các khu vực thi công hàn kín, làm gia tăng nguy cơ nhiễm độc [10].

Bỏng nhiệt do tiếp xúc trực tiếp với môi hàn nhiệt nhôm có thể đạt tới 2500°C, là một trong những nguy cơ phổ biến nhất trong thi công hàn kim loại. Với chỉ số RPN = 36 và RS = 4, đây là nguy cơ nghiêm trọng thứ hai cần kiểm soát ngay lập tức. Tham khảo các báo cáo NFPA 51B (2021) cũng cho thấy rằng bỏng nhiệt chiếm tỷ lệ lớn trong các tai nạn lao động liên quan đến hàn kim loại, trong đó nguyên nhân chủ yếu là thiếu PPE chịu nhiệt đạt chuẩn [11]. Vì vậy phải sử dụng PPE theo tuân chuẩn khuyến nghị để phòng tránh các nguy cơ trên.

PPE đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu bỏng nhiệt và phơi nhiễm khói hàn, nhưng tỷ lệ PPE không đạt chuẩn tại công trường khảo sát lên đến 30% là một vấn đề nghiêm trọng. Với RS = 2 và RPN = 24, đây là nguy cơ ảnh hưởng gián tiếp nhưng

có tác động lan tỏa vì PPE kém chất lượng làm tăng mức độ rủi ro của nhiều yếu tố khác.

Nguy cơ cháy nổ trong quá trình hàn nhiệt nhôm có RS = 4 và RPN = 36, mức rủi ro thấp hơn nhưng vẫn cần giám sát. Theo khảo sát, 15% công nhân từng chứng kiến tia lửa bắn vào vật liệu dễ cháy, trong khi 10% thừa nhận từng làm việc trong môi trường không kiểm tra khí dễ cháy trước khi hàn. Báo cáo của NFPA 51B (2021) chỉ ra rằng 90% vụ cháy liên quan đến hàn kim loại là do tia lửa tiếp xúc với vật liệu dễ cháy trong môi trường thiếu kiểm soát [11].

3.4. Biện pháp kiểm soát rủi ro và hiệu quả cải thiện

Trong quá trình thi công hàn nhiệt nhôm tại Dự án, đội ngũ kỹ thuật đã áp dụng nhiều biện pháp kiểm soát rủi ro nhằm giảm thiểu các nguy cơ tiếp xúc với khói hàn độc hại, bỏng nhiệt, PPE không đạt chuẩn và nguy cơ cháy nổ. Các biện pháp này được thực hiện thông qua nâng cấp hệ thống thông gió, cải thiện PPE, tối ưu hóa khoảng cách làm việc, giám sát sử dụng thiết bị bảo hộ và kiểm soát chặt chẽ quy trình thi công. Việc đánh giá hiệu quả của các biện pháp dựa trên sự cải thiện chỉ số RPN và mức độ an toàn thực tế theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 45001, EN 14730, OSHA 1910.

Về việc cải thiện hệ thống thông gió nhằm giảm mức độ phơi nhiễm khí độc: đội ngũ kỹ thuật đã lắp đặt thêm quạt công suất cao theo tiêu chuẩn EN 14730, giúp cải thiện tốc độ lưu thông khí và giảm tích tụ MnO, Fe₂O₃ trong không gian hàn kín. Bên cạnh đó, việc sử dụng thiết bị đo khí độc cầm tay để giám sát chất lượng không khí theo thời gian thực đã giúp kiểm soát môi trường làm việc tốt hơn. Đồng thời, công nhân được trang bị khẩu trang than hoạt tính đạt chuẩn EN 149, giúp giảm thiểu đến 80% lượng khí độc hít vào. Kết quả đo kiểm sau cải tiến cho thấy nồng độ MnO đã giảm từ 0,5 mg/m³ xuống dưới 0,2 mg/m³, đạt giới hạn an toàn theo ISO 45001, đồng thời chỉ số RPN của nguy cơ phơi nhiễm khí độc đã giảm từ 45 xuống dưới 5.

Để giảm thiểu nguy cơ bỏng nhiệt do tiếp xúc với mối hàn nhiệt độ cao (2500°C), đội ngũ kỹ thuật đã tập trung vào nâng cấp PPE và kiểm soát khoảng cách làm việc. Cụ thể, công nhân được trang bị găng tay chịu nhiệt đạt chuẩn EN 407, có khả năng bảo vệ ở nhiệt độ lên tới 500°C, thay thế cho PPE kém chất lượng trước đây. Ngoài ra, việc thiết lập vùng hàn an toàn với bán kính tối thiểu 1,5m giúp đảm bảo khoảng cách làm việc hợp lý, hạn chế tiếp xúc trực tiếp với nguồn nhiệt. Đặc biệt, sử dụng tấm chắn nhiệt linh hoạt đã giúp giảm 50-70% lượng nhiệt bức xạ đến công nhân, giúp giảm đáng kể nguy cơ bỏng. Kết quả thực tế cho thấy tỷ lệ bỏng nhiệt đã giảm từ 20% xuống dưới 5%, đồng thời chỉ số RPN của nguy cơ bỏng nhiệt đã giảm từ 36 xuống dưới 4, cải thiện đáng kể mức độ an toàn khi thi công. Kiểm soát chất lượng PPE và giám sát việc sử dụng cũng là một yếu tố quan trọng để đảm bảo an toàn lao động. Đội ngũ kỹ thuật đã triển khai quy trình kiểm định PPE hàng tháng, giúp phát hiện và loại bỏ các thiết bị bảo hộ không đạt tiêu chuẩn EN 11611. Đồng thời, hệ thống báo cáo PPE lỗi hỏng được thiết lập, cho phép công nhân chủ động yêu cầu thay thế khi cần thiết. Bên cạnh đó, việc tăng cường

kiểm tra PPE trước khi vào khu vực hàn giúp đảm bảo công nhân luôn mang đầy đủ trang bị bảo hộ theo quy định. Nhờ các biện pháp này, tỷ lệ sử dụng PPE đạt chuẩn đã tăng từ 60% lên trên 90%, đồng thời chỉ số RPN của nguy cơ PPE không đạt chuẩn đã giảm từ 36 xuống dưới 4, giúp cải thiện đáng kể hiệu quả bảo vệ lao động.

Cuối cùng, để kiểm soát nguy cơ cháy nổ, các biện pháp giám sát quy trình thi công và đào tạo phòng cháy chữa cháy đã được thực hiện thường xuyên. Trước khi thực hiện hàn nhiệt nhôm, công nhân phải kiểm tra môi trường làm việc, đảm bảo không có khí dễ cháy hoặc vật liệu dễ bắt lửa, đồng thời tại khu vực hàn luôn được trang bị bình chữa cháy CO₂ và bạt chống cháy. Ngoài ra, công nhân được tổ chức diễn tập chữa cháy định kỳ, giúp họ có thể phản ứng nhanh khi có sự cố. Nhờ các biện pháp kiểm soát này, nguy cơ cháy nổ tại khu vực hàn đã giảm từ 15% xuống dưới 5%, đồng thời chỉ số RPN của nguy cơ cháy nổ giảm từ 36 xuống dưới 4.

Nhìn chung, việc áp dụng biện pháp kiểm soát rủi ro theo cách tiếp cận hệ thống đã giảm 90% tổng rủi ro, cải thiện điều kiện làm việc, tăng hiệu suất thi công và đảm bảo an toàn theo tiêu chuẩn quốc tế.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đánh giá thực trạng kiểm soát rủi ro trong thi công hàn nhiệt nhôm tại Dự án Đường sắt đô thị số 1 TP. Hồ Chí Minh, từ đó đề xuất các biện pháp cải thiện. Thông qua việc sử dụng ma trận rủi ro 5x5 và phương pháp FMEA, nghiên cứu đã xác định bốn nhóm nguy cơ chính: (1) tiếp xúc với khói hàn độc hại, (2) bỏng nhiệt, (3) PPE không đạt chuẩn, và (4) nguy cơ cháy nổ. Kết quả phân tích chỉ ra rằng tiếp xúc với khói hàn độc hại (RPN = 45, RS = 5) và bỏng nhiệt (RPN = 36, RS = 4) là hai nguy cơ nghiêm trọng nhất, cần được kiểm soát ngay lập tức bằng cách cải thiện hệ thống thông gió và nâng cấp PPE. Sau khi triển khai các biện pháp kiểm soát, bao gồm lắp đặt quạt hút khói, sử dụng khẩu trang đạt chuẩn, nâng cấp găng tay chịu nhiệt, thiết lập vùng hàn an toàn và tăng cường đào tạo an toàn lao động, mức độ rủi ro đã giảm đáng kể. Chỉ số RPN của nguy cơ phơi nhiễm khói hàn đã giảm từ 45 xuống dưới 5, tỷ lệ bỏng nhiệt giảm từ 20% xuống dưới 5%. Ngoài ra, tỷ lệ công nhân sử dụng PPE đạt chuẩn tăng từ 60% lên 90%, đảm bảo mức độ bảo vệ tối đa. Các biện pháp đề xuất không chỉ có tính ứng dụng cao trong dự án mà còn có thể mở rộng áp dụng cho các công trình hạ tầng đường sắt đô thị khác tại Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu xin trân trọng cảm ơn Ban Quản lý Dự án Tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh và các công nhân thi công đã hỗ trợ trong quá trình khảo sát và thu thập dữ liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. GB Thermit GmbH. (2023). *Technical manual for thermit welding processes*. Australia. https://drive.google.com/file/d/1ic_jx6CJVd0uVCDyP8k9wJRysOfsVcKC/view?usp=sharing
- [2]. Goldschmidt Thermit Group. (2022). *Guidelines for safe operation – section 4 of thermit welding manual*. Australia..
- [3]. European Committee for Standardization. (2006). *EN 14730-1 – Railway Applications – Track – Aluminothermic Welding of Rails – Part 1: Approval of Welding Processes*.
- [4]. Chính phủ Việt Nam. (2016). *Nghị định số 44/2016/NĐ-CP: Quy định chi tiết một số điều của Luật An toàn, vệ sinh lao động*.
- [5]. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Việt Nam. (2024). *TCVN 13965-1:2024 – Ứng dụng đường sắt – Hàn ray – Phần 1: Hàn nhiệt nhôm*. Hà Nội, Việt Nam.
- [6]. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems – requirements with guidance for use*. Geneva, Switzerland.
- [7]. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 – Risk Management – Guidelines*. Geneva, Switzerland.
- [8]. British Standards Institution. (2007). *OHSAS 18001 – Occupational health and safety assessment series – requirements for occupational health and safety management systems*. London, United Kingdom.
- [9]. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2024). *29 CFR 1910 Subpart Q – Welding, Cutting, and Brazing*. United states department of labor.
- [10]. Ramzani, S., Khanjani, N., Mohammadyan, M., Babanezhad, E., Yazdani-Charati, J. (2022). *Occupational Exposure to Manganese Among Welders: Association Between Airborne Manganese Concentration and Blood Manganese Levels*. Health Scope, 11(1), e120968.
- [11]. National Fire Protection Association (NFPA). (2021). *NFPA 51B: Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work*. Quincy, MA, USA.

ENHANCING RISK CONTROL EFFICIENCY IN ALUMINOTHERMIC WELDING: A PRACTICAL CASE STUDY FROM THE HO CHI MINH CITY URBAN RAILWAY LINE 1 CONSTRUCTION PROJECT

Do Quang Huy¹, Le Van Tuan^{1*}, Dang Thi Thanh Loc¹, Le Minh Duc²

¹ Faculty of Environment, University of Sciences, Hue University

² CNIOSH – Branch of National Institute of Occupational Safety and Health
in the Central Vietnam

*Email: levantuan@hueuni.edu.vn

ABSTRACT

Aluminothermic Welding (ATW) is widely applied in railway construction but poses significant occupational safety risks. This study evaluates the current status of risk control during ATW operations on Metro Line 1, Ho Chi Minh City. A combination of field surveys, the 5x5 risk matrix, and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) methods was employed to identify major hazards, including exposure to hazardous welding fumes, thermal burns, explosion risks, and inadequate personal protective equipment (PPE). The results indicated that concentrations of MnO and Fe₂O₃ fumes often exceeded safety limits in poorly ventilated areas. Key improvement measures proposed include upgrading PPE, enhancing forced ventilation systems, and strengthening on-site safety supervision. This study provides practical evidence for developing systematic risk control procedures applicable to future metro construction projects.

Keywords: Aluminothermic welding, risk control, occupational safety, urban railway.



Đỗ Quang Huy hiện đang là học viên chuyên ngành Quản lý An toàn, sức khỏe và môi trường, tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: An toàn lao động và sức khỏe nghề nghiệp.



Lê Văn Tuấn sinh năm 1981. Ông tốt nghiệp Cử nhân Hóa học (2003), Thạc sĩ Khoa học Môi trường (2008) và Tiến sĩ Khoa học và Kỹ thuật môi trường (2014). Hiện nay, ông công tác giảng dạy ở Khoa Môi trường, Trường ĐHKH, ĐH Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Quan trắc Môi trường; Hóa học Môi trường; Vi sinh môi trường; Kỹ thuật môi trường.



Đặng Thị Thanh Lộc sinh năm 1981. Bà tốt nghiệp Cử nhân Khoa học Môi trường (2004), Thạc sĩ Khoa học Môi trường (2008) và Tiến sĩ Khoa học và Kỹ thuật môi trường (2017). Hiện nay, bà công tác giảng dạy ở Khoa Môi trường, Trường ĐHKH, ĐH Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Quan trắc Môi trường; Vi sinh môi trường; Kỹ thuật môi trường.



Lê Minh Đức hiện đang là Phân Viện trưởng, Phân viện Khoa học An toàn Vệ sinh Lao động và Bảo vệ Môi trường Miền Trung.

Lĩnh vực nghiên cứu: An toàn lao động và sức khỏe nghề nghiệp