

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG VÀ THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH PHÁT TÁN KHÓI KIM LOẠI TỪ HÀN HỒ QUANG TAY (SMAW)

NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF POLLUTANT EMISSIONS FROM SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW) FUMES

Bùi Văn Ga¹, Nhan Hồng Quang^{2*}, Trương Thị Thúy Quỳnh², Nguyễn Văn Đông³

¹Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

²Viện Khoa học An toàn và Vệ sinh lao động, Việt Nam

³Trường Đại học Quy Nhơn, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: nhanhongquang@vniosh.vn

(Nhận bài / Received: 01/4/2024; Sửa bài / Revised: 07/7/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 19/7/2024)

Tóm tắt - Đánh giá mức độ phát thải khói hàn thường được thực hiện bằng thực nghiệm. Tuy nhiên, việc này thường gặp những khó khăn về mặt kỹ thuật. Bài báo này giới thiệu kết quả mô phỏng và thực nghiệm phát thải khói kim loại từ quá trình hàn hồ quang tay (SMAW). Một buồng kim loại được thiết kế để đo nồng độ chất ô nhiễm trong khói hàn. Kết quả này là thông số đầu vào của mô hình tính toán bằng ANSYS 2021 R1. Ảnh hưởng của các phương án khí động học khác nhau đến sự phát tán khói hàn được xem xét. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khói hàn có thể lan truyền đến vùng thở của thợ hàn nếu không có giải pháp thông gió thích hợp. Kết quả mô phỏng được so sánh với số liệu đo đạc thực nghiệm tiến hành tại Nhà máy X50 Hải Quân, Tổng Công ty Sông Thu. Sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm nồng độ Fe, Zn, Cr khi hàn trong môi trường không khí đứng yên, không có biện pháp thông gió, lần lượt là 10%, 7% và 2%.

Từ khóa - Ô nhiễm không khí; mô phỏng khuếch tán ô nhiễm; tính toán động học thủy khí; khói hàn; hàn hồ quang tay

1. Giới thiệu

Hàn là một quá trình công nghiệp phổ biến. Các mối nguy hiểm liên quan đến khói hàn gây ra những ảnh hưởng cấp tính và mãn tính lâu dài. Hàn là nguyên nhân của các mối nguy như tiếng ồn, khói, khí kim loại, nhiệt độ cao và bức xạ tia cực tím [1]. Hàn cũng là một trong những nguyên nhân gây ra bụi siêu mịn, có tác động đến chất lượng không khí ở nơi làm. Hàn tạo ra ít nhất 33 khói kim loại nguy hiểm và độc hại [2]. Khói hàn là các hạt rắn có nguồn gốc từ vật liệu hàn, kim loại hàn và lớp phủ trên kim loại hàn. Khi hàn, nhiệt độ cực cao của hồ quang làm bay hơi lớp phủ kim loại hàn và điện cực. Kim loại bay hơi ngưng tụ thành các hạt nhỏ gọi là khói hàn. Thợ hàn tiếp xúc với khói hàn, chủ yếu là sự kết hợp của mangan, crom, niken và sắt [3]. Khi mới được tạo thành, hầu hết các hạt kim loại trong khói hàn có đường kính nhỏ hơn 1µm. Theo thời gian, kích thước của chúng tăng lên do sự kết tụ [4]. Thợ hàn tiếp xúc với khói hàn và các sản phẩm phụ của quá trình hàn rất nguy hiểm đối với sức khỏe của họ. Khói hàn đi vào vùng thở của thợ hàn có thể bị hít vào phổi, kết tụ và lắng đọng trên đường hô hấp do hiệu ứng nhiệt [5]. Có gần 90% chất

Abstract - Assessing metal fume generated during the welding process is typically performed through experimental measurements. However, practical constraints often hinder the measurement process. This paper presents simulation results of metal fume emissions from the shielded metal arc welding (SMAW) procedure. A metal chamber was designed to measure the pollutant concentration in metal fumes generated by SMAW. These results were then used as input data for simulations employing computational fluid dynamics (CFD) with the assistance of ANSYS 2021 R1 software. The effects of various aerodynamic conditions on pollutant distributions were analyzed. The research findings indicate that, welding fumes can infiltrate the welder's breathing zone in the absence of adequate ventilation solutions. The simulation results were compared with experimental data conducted at the X50 Naval Factory. The deviations between the simulation and experimental data for Fe, Zn, and Cr concentrations in a stationary air environment without ventilation were 10%, 7%, and 2%, respectively.

Key words - Air pollution; pollutants diffusion simulation; computational fluid dynamics; welding fume; shielded metal arc welding

gây ô nhiễm từ quá trình hàn là do vật liệu hàn, trong khi 10% còn lại là do kim loại hàn [6]. Sự hình thành và thành phần của khói hàn phụ thuộc vào một số yếu tố. Những yếu tố này bao gồm công nghệ hàn, khí bảo vệ (sử dụng trong một vài công nghệ hàn), loại và thành phần của điện cực, điện áp và dòng điện hàn, chất trợ dung, cấu trúc của chi tiết hàn và giải pháp thông gió.

Đến năm 2019, khoảng 500.000 công nhân làm công việc hàn và các công việc liên quan đến hàn ở Hoa Kỳ mỗi năm [7]. Trong khi đó, thống kê ở Châu Âu năm 2014 có khoảng 730.000 thợ hàn và 5,5 triệu người làm nghề liên quan đến hàn [8].

Trong số khoảng 80 công nghệ hàn đang được sử dụng hiện nay, hàn hồ quang tay (SMAW) là một trong những công nghệ được sử dụng phổ biến nhất trên thế giới. SMAW là phương pháp hàn hồ quang thủ công trong đó, nguồn điện được kết nối với que hàn và chi tiết gia công. Hồ quang sinh ra tại đầu điện cực khi mạch điện khép kín làm nóng chảy lớp phủ điện cực và các chi tiết gia công ở nhiệt độ 4000°C, hình thành mối hàn. Mặc dù, khói hàn tạo ra ở mọi công nghệ hàn, nhưng công nghệ hàn hồ quang

¹ The University of Danang, Vietnam (Bui Van Ga)

² Vietnam National Institute of Occupational Safety and Health, Vietnam (Nhan Hong Quang, Truong Thi Thuy Quynh)

³ Quy Nhon University, Vietnam (Nguyen Van Dong)

tay tạo ra lượng khói cao nhất. Hơn nữa, đối với thợ hàn, công nghệ SMAW được thực hiện trong điều kiện làm việc được coi là khó khăn nhất.

Ngày nay, việc tiếp xúc với khói hàn đang trở thành mối quan tâm chính của các chuyên gia về an toàn và sức khỏe nghề nghiệp. Cơ quan Nghiên cứu Ung thư Quốc tế (IARC) đã phân khói hàn là loại B2, có khả năng gây ra ung thư. IARC và Liên minh Châu Âu (EU) cũng xác định khói hàn có thể gây ung thư cho con người. Những kim loại có trong khói hàn có thể gây ung thư bao gồm crom hóa trị sáu, berili, cadmium và một số oxit niken hoặc coban [9].

Trong lĩnh vực cơ học chất lỏng, động lực học chất lỏng tính toán (CFD) sử dụng các thuật toán và phương pháp số để phân tích và giải quyết các vấn đề liên quan đến dòng chảy. Để nghiên cứu mô hình phát thải khói hàn, có thể sử dụng phương pháp CFD [10]. CFD cung cấp các giải pháp trường không phụ thuộc thời gian cho các biến số như nhiệt độ và vận tốc cũng như dự đoán sự phân bố chất ô nhiễm trong không gian dòng chảy khảo sát. Các nhà nghiên cứu sử dụng mô hình phát tán chất ô nhiễm để phát triển các phương pháp kiểm soát ô nhiễm không khí, đặc biệt thông qua việc xem xét cách các thông số khác nhau ảnh hưởng đến việc hình thành và phát tán chất gây ô nhiễm. Cụ thể hơn, ứng dụng CFD cho phép dự đoán chất lượng không khí, tiện nghi nhiệt và sự lan truyền của chất ô nhiễm trong không gian khảo sát.

Nghiên cứu mô phỏng số quá trình hàn đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới trong những năm gần đây. Ở Nga, người ta đã sử dụng mô phỏng số nghiên cứu diễn biến sự phát triển kích thước hạt sơ cấp và thành phần hóa học trong quá trình hàn hồ quang kim loại có lớp khí bảo vệ. Nghiên cứu cũng xác định được mối quan hệ giữa kích thước, thành phần hóa học khói hàn và tốc độ giảm nhiệt độ của hỗn hợp hơi-khói hàn [11].

Mô phỏng số CFD cũng đã được sử dụng để dự đoán gián tiếp sự phân bố khói hàn trong xưởng sản xuất thông qua phân bố nồng độ CO₂ trong công nghệ hàn hồ quang dưới lớp khí bảo vệ. Mô phỏng dựa trên giả định rằng nếu các hạt có kích thước đủ nhỏ, chúng sẽ tuân theo mô hình khuếch tán của khí. Các thí nghiệm được thực hiện trong phòng có cửa mở và hệ thống tạo khói hàn để đo nồng độ CO₂ và độ khuếch tán khói. Kết quả cho thấy khả năng dự đoán cao nồng độ CO₂ trong khói hàn dựa trên mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD) với hệ số tương quan là 0,74 [12].

Từ năm 2002, ngành công việc đóng tàu của Việt Nam bắt đầu được đầu tư mạnh. Theo số liệu thống kê của Diễn đàn Thương mại và phát triển Liên Hiệp quốc, đội tàu Việt Nam đứng thứ 4 trong khu vực Đông Nam Á (ASEAN) và thứ 30 trên thế giới. Tính đến ngày 20/6/2021, tổng số đội tàu biển Việt Nam là 1.576 tàu, với tổng trọng tải khoảng 12 triệu DWT. Trong đó, số lượng tàu hàng rời và tổng hợp có 737 tàu, tàu chở dầu và hóa chất có 186 tàu; tàu chuyên dụng khí hóa lỏng có 19 tàu; đội tàu container có 38 tàu; tàu chở khách có 63 tàu.

Theo nhu cầu phát triển kinh tế, ngày càng có nhiều nhà máy đóng tàu cùng với nhiều mẫu tàu với tải trọng lớn được thiết kế và đóng mới. Trong các nguyên công đóng tàu, hàn là nguyên công cực kỳ quan trọng, nó chiếm phần lớn khối

lượng công việc và thời gian của toàn bộ quy trình công nghệ đóng tàu. Vì trên suốt chiều dài con tàu thì hàn kim loại được sử dụng là chủ yếu của quá trình lắp ghép. Tuy nhiên, ở Việt Nam hiện nay, việc sử dụng mô phỏng số trong đánh giá dự báo ô nhiễm khói hàn vẫn còn hạn chế. CFD là một trong những công cụ quan trọng để thiết kế và định hướng giải pháp giảm thiểu rủi ro do ô nhiễm không khí trong nhà một cách hiệu quả. Bằng cách cung cấp các mô hình phát thải chất gây ô nhiễm, phương pháp này có thể giúp cải thiện hệ thống thông gió tại nơi làm việc của thợ hàn. Do đó, mục đích của nghiên cứu này là mô phỏng sự hình thành và phát thải khói kim loại ra khu vực làm việc của thợ hàn tại các cơ sở đóng tàu.

2. Phương pháp nghiên cứu

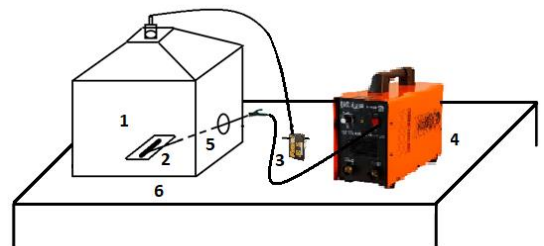
2.1. Nghiên cứu thực nghiệm

2.1.1. Bố trí thí nghiệm

Mục đích của đo đạc thực nghiệm nhằm xác định các thông số chủ yếu của mô hình phát tán khói hàn như lượng khói hàn phát sinh tại nguồn; nồng độ chất ô nhiễm ban đầu hàn sinh ra tại nguồn khi hàn liên tục một que hàn, chúng tôi chế tạo một buồng kích thước (dài × rộng × cao) là (30cm × 30cm × 20cm) bằng thép mạ kẽm như trình bày trên Hình 1. Buồng đo để xác định lưu lượng và nồng độ khói phát sinh trong quá trình hàn trước khi phát tán vào môi trường xung quanh. Bên thành buồng có khoét một lỗ tròn đường kính 5cm để đưa que hàn vào trong buồng. Trên đỉnh buồng có một lỗ tròn đường kính 5mm để bố trí đầu thu mẫu khói hàn sinh ra trong quá trình hàn. Bơm lấy mẫu cá nhân đã được hiệu chuẩn, model SKC Universal Air Sampling Pump 224-CTX8, sản xuất tại Anh với tốc độ lấy mẫu là 2,5 lít/phút. Phương pháp thu mẫu tiến hành theo NIOSH 7300. Một tấm sắt kích thước (dài × rộng × dày) bằng (24mm × 50mm × 10mm) đặt trong buồng làm kim loại hàn. Thực hiện hàn liên tục, thời gian hàn hơn một phút (phụ thuộc vào tốc độ hàn ở các trường hợp khác nhau) và quá trình thu mẫu kết thúc sau 5 phút kể từ khi bắt đầu hàn.

2.1.2. Các thông số hàn

Que hàn là loại Kim Tín (KT 421) đường kính 2,5mm. Cường độ hàn I = 100A. Chiều dài que hàn phần có thuốc là 300mm.



Hình 1. Bố trí thí nghiệm

Chú thích: 1: Phòng hàn, 2: Vật liệu hàn (tấm sắt), 3: Bơm thu mẫu, 4: Máy hàn, 5: Que hàn, 6: Bàn

2.1.3. Tiến hành thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành 6 lần với cùng loại que hàn và cùng thợ hàn. Quá trình hàn diễn ra trong buồng kín, thời gian hàn hết một que hàn được ghi lại.

Bảng 1. Kết quả đo lượng khói hàn tại nguồn

	Thực nghiệm 1		Thực nghiệm 2		Thực nghiệm 3	
Thời gian hàn	1'12''84		1'03''75		1'08''22	
Que hàn	Chiều dài (mm)	Trọng lượng (g)	Chiều dài (mm)	Trọng lượng (g)	Chiều dài (mm)	Trọng lượng (g)
Trước khi hàn	300	17,53990	300	17,56556	300	17,59172
Sau hàn	48,0	2,30578	44,6	2,13226	41,8	2,01529
Tám sắt (g)						
Trước khi hàn	88,16059		90,62905		91,23541	
Sau hàn	96,37519		98,84064		99,48623	
Xi hàn (g)						
Trước khi hàn	0		0		0	
Sau hàn	6,20976		6,38634		6,48284	
Khối hàn (g)	0,80976		0,83537		0,84277	
	Thực nghiệm 4	Thực nghiệm 5	Thực nghiệm 6			
Thời gian hàn	1'10''45		1'14''36		1'08''14	
Que hàn	Chiều dài (mm)	Trọng lượng (g)	Chiều dài (mm)	Trọng lượng (g)	Chiều dài (mm)	Trọng lượng (g)
Trước khi hàn	300	17,49502	300	17,61227	300	17,52446
Sau hàn	44,2	2,11253	41,5	1,97642	44,0	2,09139
Tám sắt (g)						
Trước khi hàn	91,49236		91,41341		91,34825	
Sau hàn	99,68623		99,78645		99,55958	
Xi hàn (g)						
Trước khi hàn	0		0		0	
Sau hàn	6,50723		6,83226		6,37602	
Khối hàn (g)	0,78139		0,92555		0,84572	

Trước khi tiến hành thực nghiệm, tiến hành hàn thử liên tục 01 que hàn để xác định sơ bộ tốc độ hàn. Sau khi lắp đặt các thiết bị đo, điều chỉnh dòng điện hàn, thợ hàn bắt đầu thực hiện hàn trên tấm kim loại có sẵn trong buồng hàn. Thợ hàn di chuyển que hàn sao cho quá trình hàn diễn ra liên tục (không bị tắt lửa) với tốc độ hàn xác định khoảng một phút/que hàn. Mỗi hàn nằm hoàn toàn trên tấm sắt để thuận lợi cho quá trình định lượng sau này. Sau mỗi lượt hàn, khối lượng que hàn, khối lượng tám sắt trước và sau khi hàn cùng với lượng xi hàn tạo thành được xác định bằng cân có độ chính xác $\pm 10^{-5}$ nhằm xác định lượng khói hàn sinh ra tại nguồn. Kim loại trong khói hàn được lấy mẫu bằng bom lấy mẫu cá nhân lưu lượng 2,5 lít/phút. Thiết bị quang phổ hấp thụ ngọn lửa AA7000 Shimadzu được sử dụng để xác định nồng độ vết kim loại sinh ra trong khói hàn tại nguồn. Thời gian thu mẫu là 5 phút. Để mô phỏng sự phát thải của khói hàn, kết quả thực nghiệm được đưa vào phần mềm CFD.

2.1.4. Kết quả thực nghiệm

Kết quả đo lượng khói hàn được trình bày trên Bảng 1. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi hàn liên tục một que hàn trong điều kiện đề cập trên đây, lượng khói hàn phát sinh tại nguồn trung bình là 0,84009 mg (dao động từ 0,78139 mg đến 0,92555 mg). Tải lượng phát thải trung bình 0,012 mg/s. Kết quả phân tích nồng độ vết một số kim loại trong khói hàn được trình bày trên Bảng 2.

Bảng 2. Nồng độ vết một số kim loại trong khói hàn tại nguồn

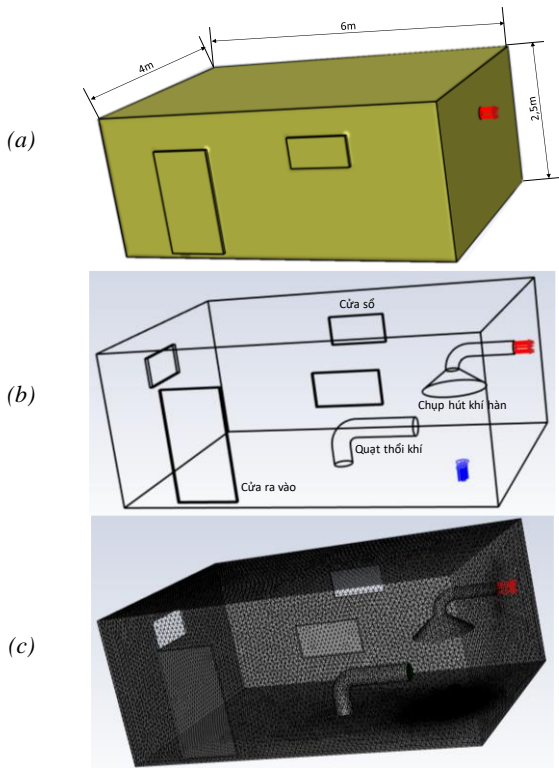
Kim loại	Thực nghiệm 1		Thực nghiệm 2		Thực nghiệm 3	
	Khối lượng (mg)	Nồng độ (ppm)	Khối lượng (mg)	Nồng độ (ppm)	Khối lượng (mg)	Nồng độ (ppm)
As	0,02516	0,10269	0,02212	0,09023	0,02591	0,10572
Cd	0,01456	0,03958	0,01446	0,03931	0,01043	0,02836
Ni	0,12884	0,66275	0,14284	0,73563	0,18058	0,93213
Pb	0,22956	0,33846	0,16099	0,23731	0,23111	0,34074
Cu	0,35103	1,68277	0,29254	1,40147	0,31698	1,51902
Mn	0,15872	0,87965	0,18593	1,03100	0,14672	0,81291
Cr	0,35430	2,07559	0,36758	2,15369	0,50233	2,94574
Zn	3,23900	15,61108	4,31100	20,78038	4,57450	22,05100
Fe	7,61100	41,33066	8,43584	44,67450	6,55400	35,54597
Tổng	12,11218	62,72323	13,93329	71,14351	12,54257	64,28159
	Thực nghiệm 4	Thực nghiệm 5	Thực nghiệm 6			
As	0,02315	0,09445	0,02602	0,08493	0,02313	0,09434
Cd	0,01458	0,03963	0,01163	0,02530	0,01217	0,03308
Ni	0,14426	0,75117	0,18211	0,75863	0,13752	0,71610
Pb	0,16218	0,23922	0,20135	0,23760	0,17324	0,25553
Cu	0,30222	1,45364	0,31258	1,20279	0,31264	1,50377
Mn	0,18665	1,03832	0,14736	0,65583	0,17635	0,98106
Cr	0,36624	2,15269	0,51214	2,40823	0,38543	2,26550
Zn	4,24015	20,44645	4,51235	17,40722	4,26327	20,55794
Fe	8,35889	45,74601	8,03246	35,16764	8,55412	46,81445
Tổng	13,79831	71,96158	13,93801	57,94817	14,03787	73,22178

2.2. Nghiên cứu mô phỏng

Khí thải trong khói hàn là một hỗn hợp phức tạp của các oxit kim loại, silicat, florua và các khí argon, helium, CO, CO₂... Khói hàn được hình thành chính từ sự bay hơi của kim loại và của chất hàn khi nóng chảy. Dựa trên kết quả phân tích ở Bảng 2 cho thấy, trong khí hàn hồ quang có 9 chất chính. Nồng độ đo được là mg/m³, tương đương với ppm theo khối lượng. Vì vậy, trong mô phỏng có thể giả định những chất này nằm trong hợp chất với khí mang (gas vector). Khí mang được chọn trong nghiên cứu mô phỏng này là khí trơ N₂.

Mô phỏng phát tán nồng độ các chất ô nhiễm trong khí hàn được thực hiện trong một không gian hàn có khối chữ nhật 6,0m × 4,0m × 2,5m. Phòng có 3 cửa sổ và một cửa ra vào. Phía trên vị trí hàn có chụp hút khí theo phương đứng và một quạt thổi khí theo phương ngang để nghiên cứu ảnh hưởng của những yếu tố khác nhau đến phân bố các chất ô nhiễm trong phòng hàn.

Trong tính toán mô phỏng, mô hình rối k-ε được sử dụng để khép kín hệ phương trình đối lưu-khuếch tán dòng chảy rối. Quá trình trao đổi chất được mô phỏng thông qua mô hình species transport với các chất trơ, không phản ứng. Điều kiện biên từ nguồn phát tán khí hàn chứa các chất ô nhiễm và nồng độ tương ứng được cho ở các Bảng 1 và Bảng 2. Lưu lượng không khí do quạt gió và các cửa sổ cấp vào phòng hàn được chọn bằng lưu lượng do quạt hút gió thải ra để đảm bảo áp suất khí trong phòng ổn định. Hình 2 trình bày mô hình không gian hàn sử dụng trong mô phỏng. Hình 2b trình bày bố trí các cửa, quạt thông gió và chụp hút. Nhiệt độ tại điểm hàn được giả định 2000K, nhiệt độ không khí trong phòng hàn được chọn 310K và áp suất khí quyển 1 atm. Kết quả chia lưới không gian tính toán được trình bày trên Hình 2c.

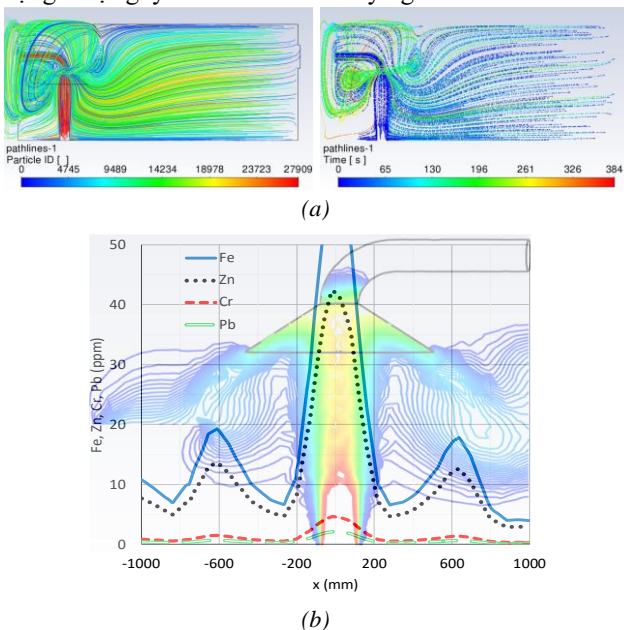


Hình 2. Phòng hàn (a), vị trí hàn, máy hút khí và quạt thổi khí (b) và chia lưới không gian tính toán (c)

3. Kết quả và bình luận

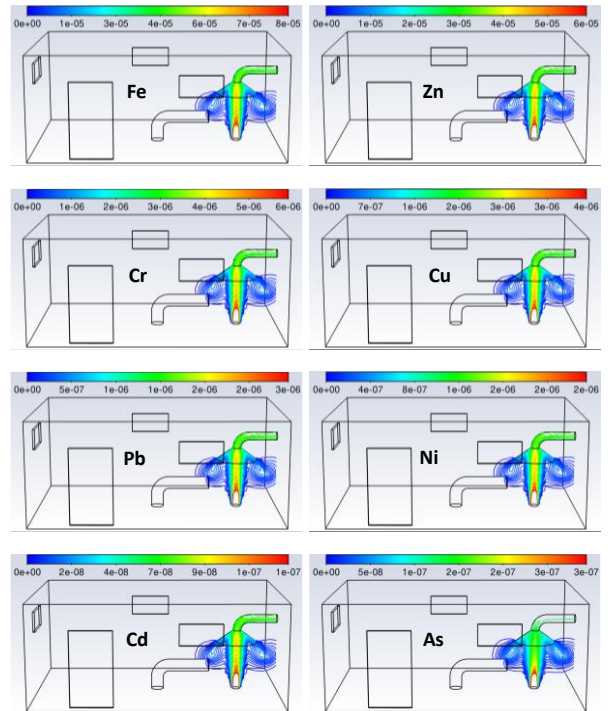
3.1. Kết quả mô phỏng

Hình 3 giới thiệu kết quả mô phỏng sự phát tán các chất ô nhiễm trong phòng hàn không khí yên tĩnh, không có các biện pháp thông gió và hút khí. Trong trường hợp này các chất ô nhiễm trong khí hàn sẽ phát tán rộng trong toàn bộ không gian phòng hàn. Phụ thuộc vào lưu lượng khí phát sinh tại khu vực hàn, thời gian nồng độ các chất ô nhiễm đạt giá trị nguy hiểm có thể dài hay ngắn.



Hình 3. Mô phỏng khuếch tán của các chất ô nhiễm (a) và phân bố nồng độ hơi Fe, Zn, Cr, Pb có mặt trong khí hàn (b) trong môi trường không khí yên tĩnh

Hình 3b giới thiệu phân bố nồng độ hơi Fe, Zn, Cr, Pb có mặt trong khí hàn trong môi trường không khí yên tĩnh. Trong khu vực thợ hàn tác nghiệp (khoảng 300mm-600mm so với điểm hàn) nồng độ hơi Fe, Zn có thể đạt 10-20ppm, nồng độ Cr, Pb có thể đạt 1ppm. Như vậy khi hàn, đặc biệt hàn trong không gian kín và thể tích khu vực hàn hạn chế chúng ta cần phải có những giải pháp kỹ thuật phù hợp để hạn chế sự phát tán khí hàn, đảm bảo an toàn cho công nhân và những hoạt động xung quanh.

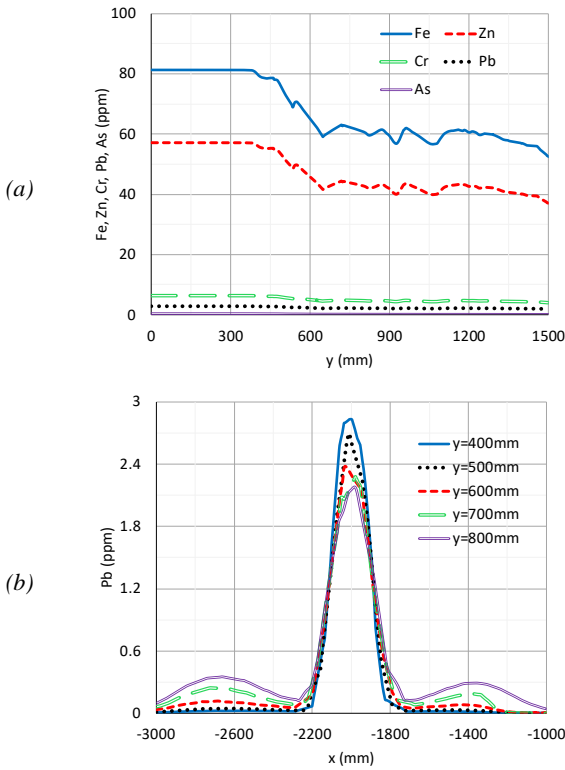


Hình 4. Phân bố các chất ô nhiễm trong không gian hàn (chỉ hút khí qua chụp hút)

Hình 4 giới thiệu phân bố nồng độ các chất ô nhiễm trong khí hàn trong phòng hàn khi chỉ có chụp hút khí hoạt động. Trong trường hợp này khí hàn có phân bố đối xứng quanh trục của nó. Nồng độ hơi Fe cao nhất tìm thấy ngay tại điểm hàn rồi lan rộng ra không gian xung quanh với nồng độ giảm dần. Sự phân bố các chất ô nhiễm khác cũng theo quy luật tương tự. Hình 5 cho thấy, trên trục dòng khí hàn khi chỉ có chụp hút khí hoạt động thì nồng độ các chất ô nhiễm ít thay đổi. Tuy nhiên, theo phương ngang thì nồng độ của chúng thay đổi rất nhanh theo khoảng cách đến vị trí hàn.

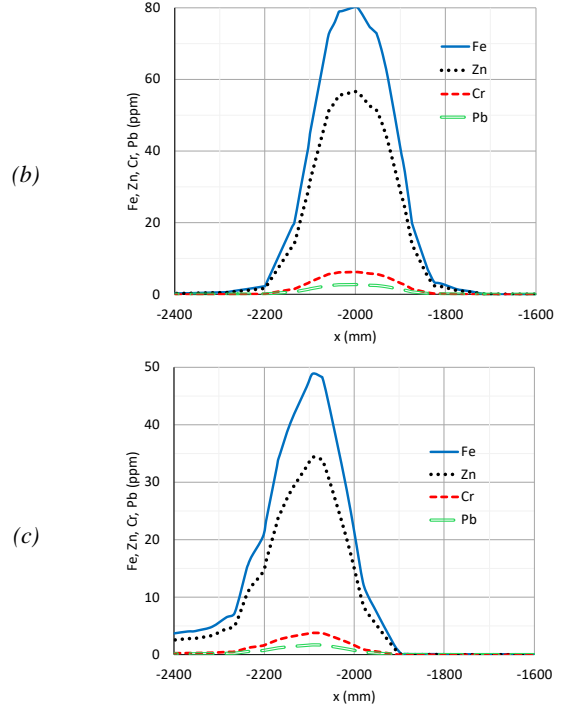
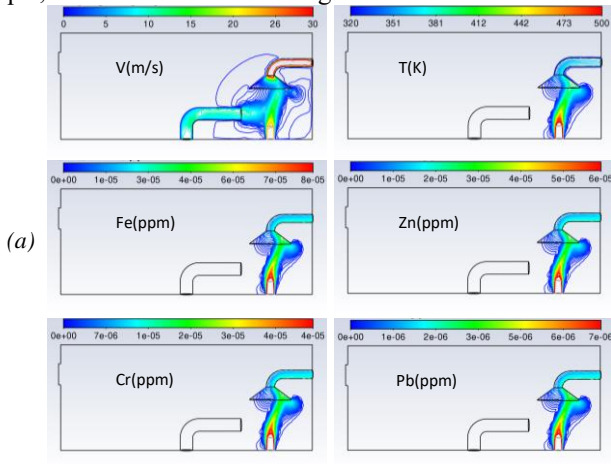
Trên Hình 5b, vị trí hàn ở x=2000mm. Tại đây nồng độ hơi chỉ dao động trong khoảng từ 2-3ppm tùy theo độ cao so với điểm hàn. Khi dịch ra khỏi vị trí hàn 300mm thì nồng độ hơi chỉ chỉ còn khoảng 0,3ppm. Kết quả này cho thấy chụp hút khí đóng vai trò quan trọng trong hạn chế phát tán ô nhiễm khí hàn trong không gian hàn.

Khi tăng cường thêm quạt thổi khí thì khí hàn bị đẩy về phía hạ lưu của quạt và tạo nên dòng xoáy tại chụp hút khí (Hình 6a). Ở khoảng cách 400mm so với vị trí hàn, sự phân bố nồng độ các chất ô nhiễm theo phương hướng kính có tính đối xứng (Hình 6b). Tuy nhiên, khi lên cao thì ngọn khí hàn bị xô lệch nên phân bố nồng độ các chất ô nhiễm không còn đối xứng (Hình 6c). Kết quả này cho thấy, quạt thổi khí rất hiệu quả trong ngăn chặn sự phát tán chất ô nhiễm phía trước vị trí hàn.

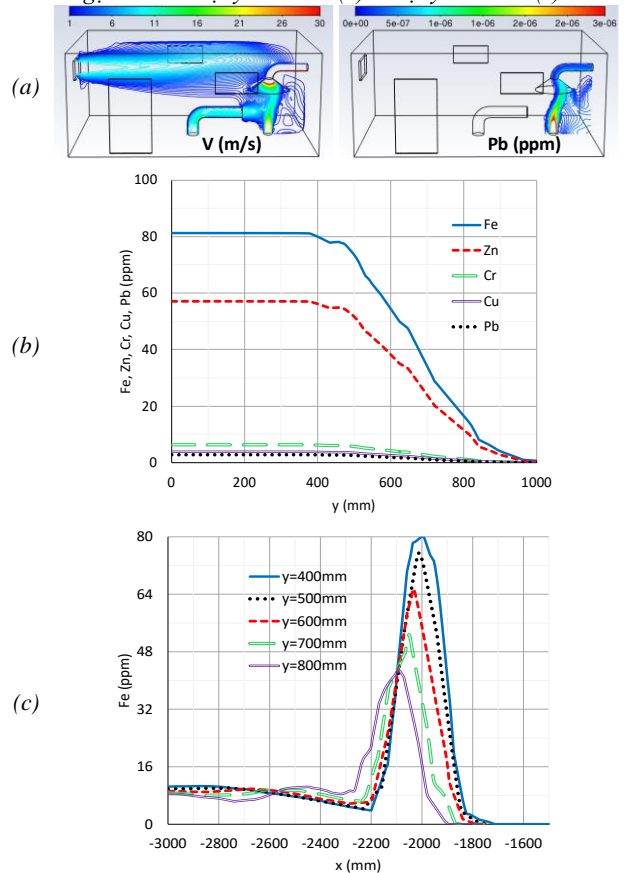


Hình 5. Phân bố nồng độ các chất ô nhiễm trên trục y của dòng khí hàn (a) và theo phương ngang ở các vị trí chiều cao khác nhau (b) (chỉ có chụp hút khí hoạt động)

Trong trường hợp quạt thổi khí trong phòng hàn hoạt động và cửa sổ cuối phòng hàn mở để thông gió thì sự phân bố vận tốc khí và nồng độ các chất ô nhiễm trong không gian hàn không còn đối xứng. Hình 7a cho thấy, khí hàn bị đẩy về phía tường, tạo ra hiện tượng xoáy lốc nhẹ ở khu vực chụp hút khí hàn. Do cột khí hàn không còn đối xứng nên nồng độ các chất ô nhiễm trên trục của nó thay đổi theo chiều cao (Hình 7b). Hình 7c cho thấy, nồng độ hơi Fe ở khoảng cách 200mm về phía thượng lưu quạt thổi hầu như bằng 0. Tuy nhiên, nồng độ chất ô nhiễm này về phía hạ lưu quạt thổi đạt khoảng 10ppm, cao hơn trường hợp không có quạt thổi (Hình 5b). Hình 7c cho thấy, trục của ngọn khí hàn bị đẩy về phía hạ lưu của quạt khí chiều cao tăng. So sánh Hình 5b và Hình 7c cho thấy, khi có quạt thổi khí thì nồng độ các chất ô nhiễm phía trước khu vực hàn có thể bỏ qua, đảm bảo an toàn cho công nhân hàn.

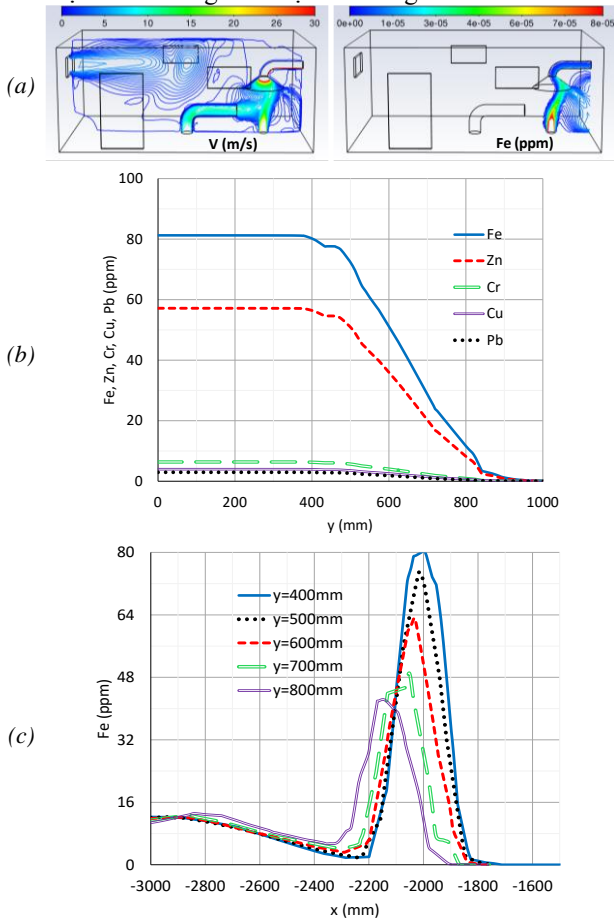


Hình 6. Đường đồng mức tốc độ, nhiệt độ khí hàn và phân bố nồng độ những chất ô nhiễm chính trong không gian hàn (a), biến thiên nồng độ Fe, Zn, Cr và Pb theo phương hướng kính ngọn khí hàn tại y=400mm (b) và tại y=800mm (c)



Hình 7. Phân bố tốc độ và nồng độ hơi chì trong không gian hàn (a), biến thiên nồng độ các chất ô nhiễm theo chiều cao cột khí hàn (b) và biến thiên nồng độ hơi sắt theo phương ngang ứng với các độ cao khác nhau (c) (Chụp hút khí, quạt thổi khí hoạt động và cửa sổ cuối phòng hàn mở)

Hình 8a giới thiệu phân bố tốc độ dòng khí và nồng độ hơi Fe trong không gian hàn khi chụp hút khí, quạt thổi khí hoạt động, cửa sổ cuối phòng hàn và cửa sổ bên hông phòng hàn mở. Khi các cửa sổ phòng hàn mở thì trường tốc độ dòng khí trong phòng hàn ở vùng trước khu vực hàn mở rộng nhưng sự phân bố các chất ô nhiễm trong khu vực hàn hầu như không thay đổi nhiều so với khi chỉ thông gió qua một cửa sổ. Trong trường hợp này, khoảng cách nồng độ các chất ô nhiễm giảm về 0 đến điểm hàn rút xuống còn khoảng 170mm (gần điểm hàn hơn trường hợp chỉ thông gió qua một cửa sổ) (Hình 8c). Do khí hàn bị đẩy về phía hạ lưu quạt thổi cũng như của các dòng khí thông gió nên nồng độ của chúng ở phía sau khu vực hàn cao hơn trường hợp không có quạt thổi hay không thông gió qua các cửa sổ. Mặt khác, khi thông gió qua các cửa sổ thì không khí sạch được cấp tăng cường vào phòng hàn (Hình 8a) giúp cải thiện môi trường làm việc của công nhân.



Hình 8. Phân bố tốc độ và nồng độ hơi chì trong không gian hàn (a), biến thiên nồng độ các chất ô nhiễm theo chiều cao cột khí hàn (b) và biến thiên nồng độ hơi sắt theo phương ngang ứng với các độ cao khác nhau (c) (Chụp hút khí, quạt thổi khí hoạt động, cửa sổ cuối phòng hàn và cửa sổ bên hông phòng hàn mở)

3.2. So sánh mô phỏng và thực nghiệm

Thực nghiệm đo đặc nồng độ kim loại trong khói hàn được tiến hành tại Nhà máy X50 Hải Quân, Tổng Công ty Sông Thu. Quá trình thu mẫu tại hiện trường được thực hiện bằng bơm lấy mẫu cá nhân đã được hiệu chuẩn, model SKC Universal Air Sampling Pump 224-CTX8. Thời gian thu mẫu 8h. Vị trí đặt đầu thu mẫu cách vị trí hàn từ 0,3m đến 2,0m. Hình 9 mô tả qua trình thu mẫu khói hàn tại hiện trường.

Phân tích được tiến hành tại Phòng thí nghiệm của CNIOSH trên thiết bị quang phổ hấp thụ ngọn lửa AA7000 Shimadzu. Kết quả phân tích nồng độ một số kim loại trong khói hàn được trình bày trên Bảng 3.



Hình 9. Thu mẫu khói hàn tại hiện trường trong không gian kín ở khoảng cách 0,4m (từ đầu thu mẫu đến mỗi hàn)

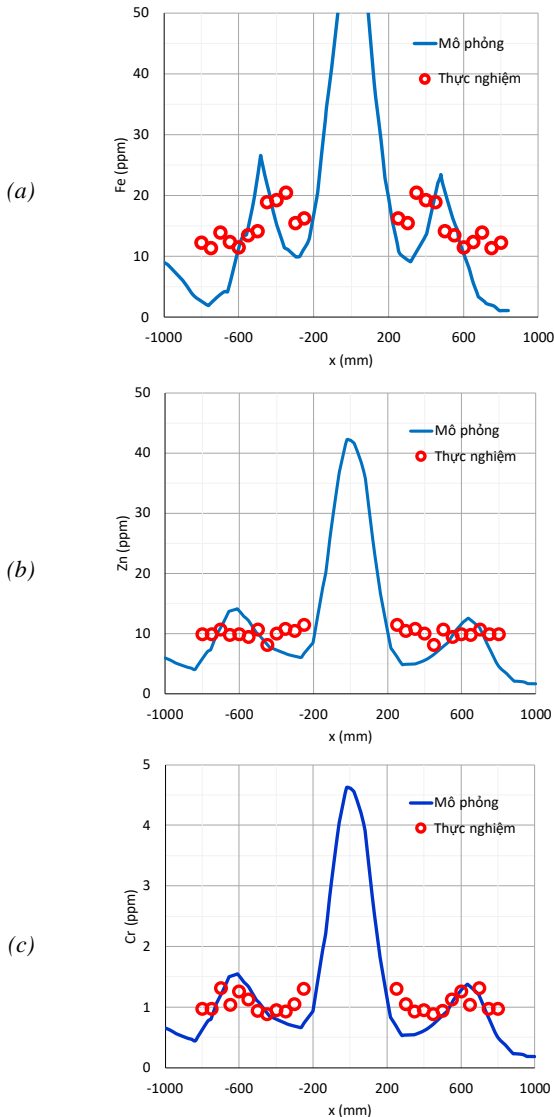
Bảng 3. Kết quả phân tích nồng độ vết một số kim loại trong khói hàn tại tại Nhà máy X50 Hải Quân

Kí hiệu	Cr (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Vị trí lấy mẫu (m)
K1	1,29291	11,43225	16,23775	Cách nguồn hàn từ 0,3 đến 0,5
K2	1,04267	10,40725	15,38025	
K3	0,91602	10,7735	20,40775	
K4	0,94270	10,0235	19,16275	
K5	0,88280	8,0935	18,88025	
K6	0,93666	10,676	14,13025	
K7	1,12286	9,4035	13,40525	Cách nguồn hàn từ 0,5-đến 1,0
K8	1,25290	9,90225	11,42525	
K9	1,02512	9,73475	12,27525	
K10	1,30815	10,636	13,89025	
K11	0,95569	9,826	11,26525	
K12	0,96602	9,9035	12,17525	
K13	0,84273	9,80225	15,39775	Cách nguồn hàn từ 1,0 đến 1,5
K14	0,90762	9,9035	13,92525	
K15	0,81081	11,0285	12,90025	
K16	0,99965	11,02725	12,65775	
K17	0,94063	10,70975	12,04025	
K18	0,90779	9,5185	11,15025	
K19	0,75552	10,89475	11,50775	Cách nguồn hàn từ 1,5 đến 2,0
K20	0,53101	8,13475	12,16525	
K21	0,62342	10,6435	9,18275	
K22	0,59267	12,1485	8,76025	
K23	0,64294	6,26975	8,65025	
K24	0,91267	9,26975	8,40525	

Trong khu vực tác nghiệp của thợ hàn (trong khoảng từ 300mm-800mm từ điểm hàn), giá trị thực nghiệm nồng độ trung bình của hơi Fe là 14,88ppm, nồng độ hơi Zn là 10,06ppm và nồng độ hơi Cr là 1,05ppm.

Hình 10 giới thiệu biến thiên nồng độ hơi các chất Fe, Zn, Cr theo khoảng cách đến điểm hàn cho bởi mô phỏng.

Cho thấy giá trị nồng độ trung bình của hơi Fe, Zn và Cr trong khoảng từ 300mm-800mm lần lượt là 13,36ppm, 9,37ppm và 1,03ppm. Như vậy, chênh lệch giữa kết quả thực nghiệm và kết quả mô phỏng đối với nồng độ hơi Fe, Zn, Cr lần lượt là 10%, 7% và 2%. Sai lệch này hoàn toàn có thể chấp nhận được do điều kiện mô phỏng và môi trường thực tế không hoàn toàn giống nhau lý tưởng.



Hình 10. So sánh nồng độ hơi Fe (a), Zn (b) và Cr (c) cho bởi mô phỏng và thực nghiệm

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra được những kết luận sau:

- Trong khí hàn hồ quang tay có nhiều hơi kim loại độc với nồng độ khác nhau. Trong khí hàn thì hơi sắt là chất có nồng độ cao nhất, đạt khoảng 80-100ppm, tiếp đến là hơi kẽm khoảng 45-50ppm, còn lại là những chất khác có nồng độ rất thấp, chỉ khoảng 1-2ppm.

- Trong không gian kín, không thông gió, khí hàn kèm theo các chất ô nhiễm, phát tán nhanh chóng trong khu vực hàn, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe thợ hàn.

- Khi thông gió bằng chụp hút bố trí phía trên khu vực

hàn thì cột khí hàn có dạng đối xứng trục, nồng độ các chất ô nhiễm giảm nhanh theo phương hướng kính và tiến tới 0 ở vị trí cách điểm hàn khoảng 300mm.

- Khi tăng cường thêm quạt thổi khí thì cột khí hàn bị đẩy về phía hạ lưu của quạt, tạo không gian an toàn cho thợ hàn. Trong trường hợp này, ở khoảng cách 100mm từ vị trí hàn về phía quạt thổi, nồng độ các chất ô nhiễm có thể bỏ qua.

- Khi bổ sung thông gió qua các cửa sổ, không khí sạch được chuyển đến khu vực hàn để cải thiện thêm môi trường làm việc của công nhân hàn. Tuy nhiên, sự phân bố các chất ô nhiễm không thay đổi đáng kể so với phương án không thông khí qua cửa sổ.

- Sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm nồng độ Fe, Zn, Cr khi hàn trong môi trường không khí đứng yên, không có biện pháp thông gió lần lượt là 10%, 7% và 2%.

Lời cảm ơn: Công trình này được thực hiện nhờ tài trợ của Tổng Liên đoàn Lao động Việt Nam thông qua đề tài: "Nghiên cứu đánh giá rủi ro An toàn vệ sinh lao động và đề xuất giải pháp cải thiện điều kiện làm việc cho người lao động hàn hồ quang điện trong các cơ sở đóng tàu khu vực miền Trung", Mã số: 2023/01/TLĐ-ATVSLĐ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Sajedifar, A. H. Kokabi, and S. F. Dehghan, "Evaluation of operational parameters role on the emission of fumes". *Industrial Health*, vol. 56, no.3, pp. 198–206, 2018.
- [2] M. R. Cezar-Vaz, C. A. Bonow, and J. C. Vaz, "Risk communication concerning welding fumes for the primary preventive care of welding apprentices in Southern Brazil". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12, no.1, pp. 986–1002, 2015.
- [3] J. Zhang, J. M. Cavallari, and S. C. Fang, "Application of linear mixed-effects model with lasso to identify metal components associated with cardiac autonomic responses among welders: A repeated measures study", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 74, no. 11, pp. 810–815, 2017.
- [4] N. Mansouri, F. Atbi, N. Moharamnezhad, D. A. Rahbaran, and M. Alahiari, "Gravimetric and analytical evaluation of welding fume in an automobile part manufacturing factory", *J.Res. Health Sci*, vol 8, pp. 1-8, 2008.
- [5] H. S. Ashby, "Welding fumes in the workplace: Preventing potential health problems through proactive controls", *Professional Safety*, vol. 2, pp. 55-60, 2022.
- [6] Y. Mehrifar, Z. Mohebian, and H. Bidel, "Exploring the risk of welders' exposure to the gases and metal fumes in a shipbuilding industry: A case study", *Journal of Health Safety at Work*, vol. 10, no. 2, pp.129-137, 2020.
- [7] S. F. Dehghan and Y. Mehrifar, "Occupational exposure to fumes and gases during different arc welding processes" *International Journal of Occupational Hygiene*, vol. 11, no. 2, pp. 136-142, 2019.
- [8] O. Popović, R. Prokić-Cvetković, and M. Burzić, "Fume and gas emission during arc welding: Hazards and recommendation", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37, pp. 509-516, 2014.
- [9] R. Persoons, D. Arnoux, and T. Monssu, "Determinants of occupational exposure to metals by gas metal arc welding and risk management measures: A biomonitoring study", *Toxicology Letters*, vol. 231, no. 2, pp. 135-141, 2014.
- [10] Y. Wang and A. Malkawi, "Annual hourly CFD simulation: New approach-an efficient scheduling algorithm for fast iteration convergence", *Building Simulation*, vol. 7, no. 4, pp. 401-415, 2014.
- [11] V. I. Vishnyakov, S. A. Kiro1, M. V. Oprya1, O. D. Chursina1, and A. A. Ennan, "Numerical and Experimental Study of the Fume Chemical Composition in Gas Metal Arc Welding", *Aerosol Science and Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 109-117, 2018.
- [12] S. Dahal, T. Kim, and K. Ahn, "Indirect Prediction of Welding Fume Diffusion inside a Room Using Computational Fluid Dynamics", *Atmosphere*, vol. 7, pp. 74-79, 2016.