

NGHIÊN CỨU HỢP KIM HÓA KIM LOẠI MỎI HÀN TỪ THUỐC HÀN THIÊU KẾT HỆ BAZƠ THẤP

RESEARCH ALLOYING WELD METAL FROM THE AGGLOMERATED
NEUTRAL FLUX FOR SUBMERGED ARC WELDING

TS. Vũ Huy Lâm
Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Công trình nghiên cứu chế tạo thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ thấp ($B \approx 1,1$) bằng nguyên vật liệu trong nước để hàn tự động dưới lớp thuốc các kết cấu thép cacbon thấp và thép hợp kim thấp, là vấn đề khá cấp thiết trong lĩnh vực sản xuất vật liệu hàn. Trong công trình này, dẫn ra các kết quả nghiên cứu sự hợp kim hóa kim loại mối hàn bằng các ferô hợp kim (Fe-Mn, Fe-Si) trong mẻ liệu thuốc hàn hệ bazơ thấp (nền tạo xỉ hàn Aluminate - Rutile - Basic) và các phương pháp xác định hàm lượng các ferô hợp kim (Fe-Mn, Fe-Si) hợp lý đưa vào mẻ liệu thuốc hàn. Các kết quả nghiên cứu đã được sử dụng thiết kế mẻ liệu thuốc hàn thiêu kết bazơ thấp tương đương loại F7A(P)2 theo tiêu chuẩn AWS A5.17-80.

Từ khóa: Tối ưu hóa; Thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ thấp; Thuốc hàn F7A(P)2-BK; Hợp kim hóa; Hàn tự động dưới lớp thuốc.

ABSTRACT

In this paper, the research on manufacturing the agglomerated neutral flux ($B \approx 1,1$) using domestic raw materials for submerged arc welding (SAW) for the production of low-carbon steel and low-alloy steel is currently an urgent inssue manufacturing welding materials. This paper presents the results of the research on the alloying by elements Mn and Si in the welding slag by Aluminate - Rutile - Basic type on chemical composition in welded metal and were determined optimized contens of alloying elements in the mixtures of the agglomerated basic flux F7A(P)2 according to AWS A5.17-80.

Keywords: Optimization; Agglomerated basic flux; flux F7A(P)2-BK; Alloying; submerged arc welding (SAW).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, ở nước ta, nhiều lĩnh vực công nghiệp chế tạo kết cấu thép ứng dụng rộng rãi công nghệ hàn tự động dưới lớp thuốc. Tuy nhiên, thuốc hàn còn phải nhập khẩu. Để đáp ứng nhu cầu cấp thiết của thực tế và phát triển sản xuất thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ để hàn các kết cấu thép yêu cầu chất lượng cao, bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu hợp kim hóa kim loại mối hàn trong nền tạo xi hàn hệ thuốc hàn hệ bazơ thấp.

Mục tiêu và nội dung nghiên cứu:

Công trình sẽ nghiên cứu sự dịch chuyển của các nguyên tố hợp kim thông dụng (Mn, Si) từ thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ thấp ở dạng các ferô hợp kim (Fe-Mn, Fe-Si) vào kim loại mối hàn. Để thực hiện mục tiêu nghiên cứu trên, nội dung nghiên cứu sẽ giải quyết hai vấn đề lớn sau đây:

- + Nghiên cứu mối quan hệ giữa tỷ lệ các ferô hợp kim (Fe-Mn, Fe-Si) đưa vào mẻ liệu thuốc hàn và hàm lượng Mn và Si trong kim loại mối hàn.
- + Tối ưu hóa tỷ lệ các ferô Fe-Mn, Fe-Si đưa vào thành phần mẻ liệu thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ thấp đảm bảo hàm lượng Mn và Si trong kim loại mối hàn yêu cầu.

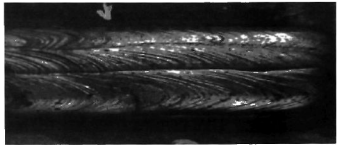
2. ĐỐI TƯỢNG, VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu sự dịch chuyển của các nguyên tố hợp kim thông dụng (Mn, Si) từ thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ thấp, tương đương với loại thuốc hàn F7A(P)2 theo tiêu chuẩn của Hiệp hội Hàn Mỹ AWS A5.17-80 được ký hiệu qui ước là F7A(P)2-BK kết hợp với dây hàn EL8.

2.2. Vật liệu và thiết bị nghiên cứu

- Mẫu hàn là thép kết cấu hàn SM400B theo JIS G3106, kích thước theo ANSI/AWS B4.0.
- Nguyên liệu dùng để chế tạo thuốc hàn chủ yếu sử dụng nguồn nguyên liệu trong nước, trong đó gồm cả các ferô Fe-Mn, Fe-Si.
- Dây hàn EL8 theo tiêu chuẩn AWS A5.17-80, tên thương mại PREMIERWELD EL8 của hãng Lincoln, đường kính dây d=4,0 mm.



Hình 1. Mẫu hàn kiểm tra thành phần hóa học kim loại mối hàn

- Thiết bị nghiên cứu chủ yếu là máy hàn tự động dưới lớp thuốc của hãng Dosun DZ1000.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp nghiên cứu kết hợp nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm.
- Ứng dụng quy hoạch thực nghiệm để xây dựng quan hệ toán học giữa chỉ tiêu thành phần hóa học (%Mn, %Si) trong kim loại mối hàn phụ thuộc vào tỷ lệ các ferô Fe-Mn, Fe-Si đưa vào mẻ liệu thuốc hàn.
- Giới thiệu các phương pháp các định hàm lượng các ferô Fe-Mn, Fe-Si hợp lý đưa vào mẻ liệu thuốc hàn.

- Mô hình nghiên cứu có dạng tổng quát:

$$Y_i = f(X_j), i = 1 - k$$

Trong đó:

- + X_j - Các biến đầu vào là tỷ lệ các ferô Fe-Mn, Fe-Si trong thuốc hàn, %.

+ Y_1 – Hàm mục tiêu là hàm lượng Mn, Si trong kim loại mỗi hàn, %.

+ k – Số biến số đầu vào, trường hợp này $k=2$.

Như vậy, trong trường hợp này có thể mô tả như sau:

$$(\%Mn, \%Si) = f(\%Fe-Mn, \%Fe-Si) \quad (1)$$

Để xây dựng các phương trình thực nghiệm (1) cần lựa chọn mô hình và xác định các hệ số của phương trình hồi quy.

3. KẾ HOẠCH THỰC NGHIỆM

3.1. Lựa chọn dạng phương trình hồi quy:

- Theo các tài liệu [2, 6], các mô hình trên có dạng đa thức bậc 2 như sau:

$$Y_i = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k b_{ij} X_i X_j \quad (2)$$

Trong đó:

- X_i và X_j là giá trị của các biến đầu vào;

- Y_i là các hàm mục tiêu;

Y_1 - Mn trong kim loại mỗi hàn, %;

Y_2 - Si trong kim loại mỗi hàn, %.

3.2. Tính toán sơ bộ tỷ lệ ferô hợp kim

❖ Nguyên tắc tính toán:

Việc tính toán sơ bộ tỷ lệ các ferô Fe-Mn, Fe-Si dựa theo các chức năng và yêu cầu cơ bản sau đây:

- Hàm lượng Mn, Si đưa vào đủ để khử lượng ôxi sinh ra từ vật liệu hàn và khử các tạp chất có hại như lưu huỳnh.

- Hàm lượng Mn, Si đưa vào với chức năng hợp kim hóa kim loại mỗi hàn, đảm bảo đạt giá trị về thành phần hóa học và cơ tính kim loại mỗi hàn yêu cầu.

- Chọn các Fe-Mn, Fe-Si có hiệu quả và thông dụng ở Việt Nam.

❖ Tính toán tỷ lệ sơ bộ:

- Tỷ lệ và loại các chất tạo xỉ hàn dựa theo số liệu nghiên cứu tối ưu hóa các chất nền tạo xỉ thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ thấp ở công trình đã công bố. Dựa vào đó dự tính được lượng ôxi tối đa sinh ra từ thuốc hàn, trong trường hợp này chủ yếu từ phản ứng phân hủy của $CaCO_3$ (hoặc đolômit) trong thuốc hàn, sẽ tính được hàm lượng Fe-Mn và Fe-Si làm chất khử, sơ đồ tính toán chất khử theo tài liệu [1].

- Tỷ lệ Fe-Mn và Fe-Si để hợp kim hóa kim loại mỗi hàn sẽ kết hợp với loại dây hàn.

Các thí nghiệm được thực hiện trên nền tạo xỉ:



Bảng 1. Tỷ lệ các nhóm chất tạo xỉ của thuốc hàn F7A(P)2-BK

Hàm lượng các chất nền tạo xỉ, %			
CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂	TiO ₂ + SiO ₂
20÷24	24÷28	8÷10	30÷34

Sử dụng loại Fe-Mn với Mn≈80% và Fe-Si với Si≈45%, đã tính toán được hàm lượng sơ bộ ở mức cơ sở của các ferô hợp kim như sau:

+ Fe-Mn: 6%.

+ Fe-Si: 4%.

Các chất còn lại được giữ cố định khoảng 8%.

3.3. Chọn kế hoạch thực nghiệm:

Để nghiên cứu mô hình: Thành phần – tính chất với tổng lượng các biến đầu vào không vượt quá 20% có thể cho các yếu tố biến thiên độc lập, các chất còn lại trong mẻ liệu thuốc hàn được giữ với tỷ lệ cố định.

Kế hoạch thực nghiệm được chọn là kế hoạch trực giao hai mức tối ưu (bảng 3), sự tương thích của các phương trình hồi quy được đánh giá theo chuẩn số Fisher và thể hiện qua hệ số tương quan R² [4].

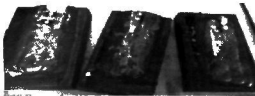
Giá trị và khoảng biến thiên của các yếu tố theo bảng 2. Còn thông số chế độ hàn thực hiện như bảng 3.

Bảng 2. Khoảng biến thiên của các yếu tố

Các biến số	Biến thực, %		Biến mã hoá	
	Fe-Mn Z ₁	Fe-Si Z ₂	X ₁	X ₂
Mức trên	8	6	+1	+1
Mức cơ sở	6	4	0	0
Mức dưới	4	2	-1	-1
Khoảng biến thiên ΔZ _i	2	2		

Bảng 3. Các thông số chế độ hàn

Đường kính dây hàn, mm	Giá trị các thông số chế độ hàn				
	Cường độ dòng điện hàn I _h , A	Điện áp hàn U _h , V	Vận tốc hàn V _h , ipw/ph	Tầm với điện cực, mm	Góc nghiêng g điện cực
4,0	700	32	20	30	0



Hình 2. Mẫu hàn kiểm tra bằng quang phổ

Bảng 4: Kế hoạch thực nghiệm và kết quả thí nghiệm

Số thí nghiệm	Giá trị biến thực, %		Giá trị biến mã hoá		Hàm mục tiêu, %	
	Fe-Mn, Z ₁	Fe-Si, Z ₂	X ₁	X ₂	Mn, Y ₁	Si, Y ₂
1	4	2	-1	-1	0.513	0.435
2	8	2	+1	-1	1.188	0.705
3	4	6	-1	+1	0.684	1.173
4	8	6	+1	+1	1.387	1.431
5	4	4	-1	0	0.667	0.813
6	8	4	+1	0	1.293	1.005
7	6	2	0	-1	0.756	0.498
8	6	6	0	+1	1.107	1.451
9	6	4	0	0	1.002	0.904
10	6	4	0	0	0.986	0.896
11	6	4	0	0	1.023	0.934

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Xây dựng phương trình hồi quy

Các số liệu thí nghiệm được xử lý bằng phần mềm chuyên dụng, cho phép xác định được các hệ số phương trình hồi quy và nhận được các hàm mục tiêu như sau:

$$Mn = 0,9758 + 0,2571X_1 + 0,0929X_2 - 0,0185X_1X_2 + 0,0129X_1^2 - 0,0257X_2^2$$

Với hệ số tương quan R² = 0,974.

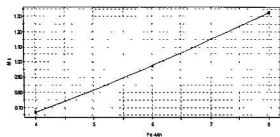
$$Si = 0,8487 + 0,1027X_1 + 0,2941X_2 + 0,0294X_1X_2 + 0,0382X_1^2 + 0,0526X_2^2$$

Với hệ số tương quan R² = 0,940.

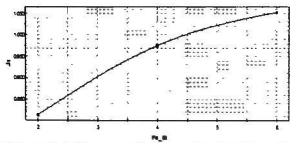
4.2. Biểu diễn các đường đặc tính

Dựa vào các phương trình hồi quy xây dựng được các đường đặc tính ở dạng 2D và 3D.

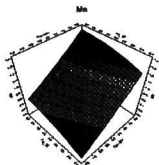
- Hàm lượng Mn trong kim loại mối hàn phụ thuộc vào tỷ lệ Fe-Mn, Fe-Si trong thuốc hàn:



Hình 3. Hàm lượng Mn trong kim loại mỗi hàn phụ thuộc vào %Fe-Mn trong thuốc hàn

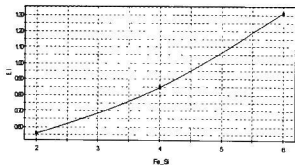


Hình 4. Hàm lượng Mn trong kim loại mỗi hàn phụ thuộc vào %Fe-Si trong thuốc hàn

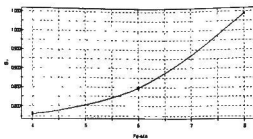


Hình 5. Hàm lượng Mn kim loại mỗi hàn phụ thuộc vào %Fe-Mn và %Fe-Si trong thuốc hàn

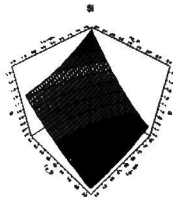
- Hàm lượng Si trong kim loại mỗi hàn phụ thuộc vào tỷ lệ Fe-Mn, Fe-Si trong thuốc hàn:



Hình 6. Hàm lượng Si trong kim loại mỗi hàn phụ thuộc vào %Fe-Si trong thuốc hàn



Hình 7. Hàm lượng Si trong kim loại mỗi hàn phụ thuộc vào %Fe-Mn trong thuốc hàn



Hình 8. Hàm lượng Si kim loại mỗi hàn phụ thuộc vào %Fe-Mn và %Fe-Si trong thuốc hàn

4.3. Thảo luận

Từ các kết quả thu được cho phép rút ra những kết luận quan trọng sau:

- Hàm lượng các nguyên tố Mn, Si trong kim loại mỗi hàn phụ thuộc nhiều vào các ferro Fe-Mn và Fe-Si trong mẻ liệu thuốc hàn.

- Mức độ phù hợp của các phương trình hồi qui cao, với các hệ số tương quan $R^2=0,94\div 0,97$.

- Đặc tính của các biểu đồ hệ số dịch chuyển của các nguyên tố hợp kim có sự khác nhau, đã phản ánh ảnh hưởng của độ hoạt tính hóa học của thuốc hàn – xi hàn bazơ thấp ($B \approx 1,1$) đến vai trò chất khử và hợp kim hóa kim loại mỗi hàn qua thuốc hàn của Mn và Si.

4.4. Xác định hàm lượng tối ưu

4.4.1. Các điều kiện ràng buộc và hàm tối ưu:

Việc xác định tỷ lệ các ferro hợp kim đưa vào mẻ liệu thuốc hàn bằng cách giải bài toán tối

ưu có ràng buộc thỏa mãn các tiêu chí kỹ thuật. Trường hợp này yêu cầu phải đảm bảo thành phần hóa học và cơ tính kim loại mối hàn.

- Điều kiện tương minh:
 $4\% \leq \text{Fe-Mn} \leq 8\%$;
 $2\% \leq \text{Fe-Si} \leq 6\%$.

- Điều kiện ràng buộc và hàm mục tiêu đối với loại thuốc hàn F7A(P)2-BK cần đáp ứng các chỉ tiêu sau đây:

$$1,0 \leq \text{Mn} \leq 1,25 \%$$

$$0,40 \leq \text{Si} \leq 0,70 \%$$

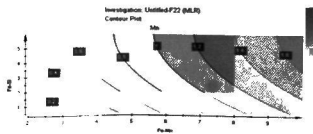
4.4.2. Kết quả tối ưu

- Xác định giá trị tối ưu bằng phần mềm chuyên dụng: Với các điều kiện ràng buộc như trên nhận được giá trị tối ưu và kết quả kiểm tra thực tế như sau:

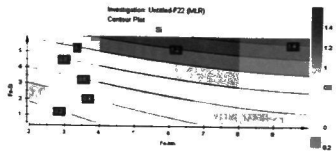
Bảng 5. Thành phần hóa học kim loại mối hàn

Giá trị theo các phương án	Giá trị các biến thực, %		Hàm lượng Mn, Si trong kim loại mối hàn, %	
	Fe-Mn	Fe-Si	Mn	Si
Tối ưu	7,5	2,0	1,113	0,661
Kiểm tra	7,5	2,0	1,018	0,488

- Xác định bằng giản đồ đẳng mức: Từ các phương trình hồi quy xây dựng các đường đẳng mức.



Hình 9. Giản đồ đẳng mức xác định % Mn.



Hình 10. Giản đồ đẳng mức xác định % Si

Giản đồ đẳng mức giúp các chuyên gia xác định nhanh tỷ lệ các fero Fe-Mn và Fe-Si đưa vào theo các hàm lượng Mn và Si yêu cầu.

Kết quả thử cơ tính kim loại mối hàn với thuốc hàn có thành phần các fero Fe-Mn và Fe-Si tối ưu hàn với dây EL8 như sau:

Bảng 6. Cơ tính kim loại mối hàn:

Độ bền chảy MPa	Độ bền kéo, MPa	Độ giãn dài tương đối, %	Công va đập, J ở -29°C
441,7	530,2	23,75	137

Các mẫu thử theo tiêu chuẩn ASTM E23:2002.

5. KẾT LUẬN

- Khi tỷ lệ Fe-Si đưa vào thấp, nhưng giá trị Si trong kim loại mối hàn vẫn khá cao. Điều này có thể được giải thích bởi mức độ hoàn nguyên đáng kể của Si từ SiO₂ trong xỉ hàn bazơ thấp với hàm lượng TiO₂ cao đã tăng cường cho quá trình này. Đây là điểm khác biệt so với xỉ hàn hệ bazơ trung bình và cao.

- Từ đồ thị %Mn=f(%Fe-Si) cho thấy sự hỗ trợ của Si trong vai trò chất khử có tác dụng giúp tăng hàm lượng Mn trong kim loại mối hàn. Điều này rất quan trọng khi sử dụng phối hợp hai nguyên tố trên để làm chất khử và hợp kim hóa kim loại mối hàn.

- Các kết quả nghiên cứu được sử dụng để thiết kế đơn thuốc hàn F7A(P)2-BK đạt thành phần hóa học kim loại mối hàn gần đúng với các hàm lượng Mn và Si dự tính theo các phương trình hồi quy.

- Các kết quả nghiên cứu trong báo cáo này có ý nghĩa bổ sung về hệ số dịch chuyển của các nguyên tố Mn và Si từ thuốc hàn vào kim loại mối hàn trong xi hàn bazơ thấp với hàm lượng TiO_2 cao.

- Giảm độ đắng mức giúp các chuyên gia xác định nhanh và thuận tiện tỷ lệ Fe-Mn và Fe-Si theo hàm lượng Mn, Si yêu cầu nghiên cứu và sản xuất thuốc hàn. ❖

Ngày nhận bài: 17/02/2016

Ngày phản biện: 16/3/2016

Tài liệu tham khảo:

- [1]. TS. Vũ Huy Lân, TS. Bùi Văn Hạnh (2010); *Giáo trình vật liệu hàn*, NXB. Bách khoa Hà Nội.
- [2]. Vũ Huy Lân, Nguyễn Công Vương, Phạm Thanh Lưu, Phan Văn Chinh; *Hiệu quả hợp kim hóa trong thuốc hàn thiêu kết hệ bazơ trung bình*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 10/2013, tr.34-39.
- [3]. GS,TSKH.Nguyễn Minh Tuyên (2005); *Quy hoạch thực nghiệm*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Петров Г. Л., (1972), Сварочные материалы. Машиностроение, Ленинград.
- [5]. Потапова Н.Н., (1989), Сварочные материалы для дуговой сварки. Машиностроение, Москва.