

# Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của độ sạch bề mặt thép đến khả năng bám dính của vật liệu cốt sợi cường độ cao (FRP) trong sửa chữa gia cường kết cấu thép

An experimental study the effect of rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and steel substrates on adhesive bonding of fibre reinforced polymer composite material

> THS LÊ THANH TÂM\*, THS VŨ NGỌC TRINH

Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải

\*Email: lethanhtam8689@utc.edu.vn

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của độ sạch bề mặt thép đến khả năng bám dính (cường độ kéo nhỏ) của vật liệu cốt sợi cường độ cao (FRP) và thép trong sửa chữa gia cường kết cấu. Cấp độ sạch bề mặt đánh giá theo Tiêu chuẩn ISO 8501-1 và thực nghiệm theo Tiêu chuẩn ASTM D4541-02. Kết quả thực nghiệm làm cơ sở cho việc tính toán thiết kế, nghiệm thu thi công sửa chữa gia cường kết cấu thép.

**Từ khóa:** Bám dính, bề mặt thép, cấp độ sạch, kết cấu thép, vật liệu cốt sợi cường độ cao, FRP.

## ABSTRACT

This paper present result of an experimental study the effect of rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and steel substrates on adhesive bonding of fibre reinforced polymer composite material. The rust grades The experimental made by standard ISO 8501-1 and ASTM 4541-02. This results basis for design, acceptance of construction, repair and reinforcement of steel structures.

**Keywords:** Adhesion bonding, steel substrates, rust grades, steel structure, fibre reinforced polymer, FRP.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, kết cấu thép được sử dụng rộng rãi và phổ biến trong nhiều ngành khác nhau như: Xây dựng, giao thông, thủy lợi, kiến trúc... Theo thời gian làm việc, kết cấu thép chịu nhiều tải trọng khác nhau (tải trọng tĩnh, tải trọng động, tác động của môi trường nhiệt độ, độ ẩm...). Các tác động này gây ra các hư hỏng dẫn đến làm suy giảm khả năng chịu lực cho kết cấu. Do đó, để kết cấu vẫn làm việc đảm bảo yêu cầu kỹ thuật cần có sự tính toán, thi công sửa chữa kịp thời và hợp lý. Hiện nay, có nhiều phương pháp sửa chữa gia cường kết cấu thép. Mỗi phương pháp có ưu điểm riêng. Bằng sự phát triển của khoa học công nghệ, nhiều loại vật liệu mới ra đời, trong đó phải kể đến là vật liệu composite cốt sợi cường độ cao (Fiber Reinforced Polymer - FRP). Vật liệu này có nhiều ưu điểm về mặt kỹ thuật: Cường độ chịu kéo, mô-đun đàn hồi cao, dễ dàng thi công, trọng lượng nhẹ.



Hình 1. Thi công dán sợi trong đường ống áp lực ở nhà máy thủy điện

Hiện nhiều dự án đã áp dụng vật liệu composite cốt sợi cường độ cao FRP vào trong sửa chữa gia cường kết cấu thép: Sửa chữa gia cường đường ống thép áp lực tại một số thủy điện A Lưới (Huế), thủy điện Xê ka man (Lào).

Việc ứng dụng vật liệu FRP vào sửa chữa các kết cấu thường áp dụng khi: Kết cấu bị lỗi từ khâu thiết kế; kết cấu bị lỗi trong quá trình thi công; thay đổi công năng của kết cấu và đặc biệt các kết cấu bị xuống cấp trong quá trình khai thác theo thời gian hoặc do quá tải...

Hiệu quả của giải pháp áp dụng vật liệu FRP trong sửa chữa tăng cường phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: Độ tin cậy của các phương pháp tính toán thiết kế, chất lượng của vật liệu FRP đầu vào, chất lượng của vật liệu kết cấu hiện hữu, chất lượng của quá trình thi công... Như vậy, nếu các yếu tố khác đã đảm bảo thì chất lượng của kết cấu sau sửa chữa phụ thuộc lớn vào chất lượng trong quá trình thi công. Chất lượng của quá trình thi công lại phụ thuộc vào nhiều yếu tố cũng như điều kiện tế như: Quá trình kiểm soát các bước thi công, điều kiện khí hậu khi thi công, điều kiện của bề mặt khi thi công như độ ẩm, độ sạch, độ nhám...

Chất lượng của quá trình thi công được phản ánh qua chất lượng liên kết (độ bám dính) của kết cấu hiện hữu với vật liệu sửa chữa FRP. Nếu không xét đến đặc tính của vật liệu đầu vào thì độ

bám dính của vật tẩm vật liệu gia cường FRP với bề mặt kết cấu hiện hữu phụ thuộc vào các yếu tố trong quá trình thi công, một trong các yếu tố đó là độ sạch bề mặt của kết cấu trước khi thi công dán tẩm sợi FRP. Với đặc điểm các kết cấu sửa chữa thường là các công trình đã đưa vào sử dụng thì bề mặt kết cấu sau thời gian sử dụng đã bị bụi bẩn, phong hóa hoặc han gỉ (với bề mặt kết cấu thép). Việc thi công làm sạch chuẩn bị bề mặt trước khi thi công dán vật liệu FRP ảnh hưởng trực tiếp tới độ bám dính của hai vật liệu với nhau. Với các độ sạch khác nhau có thể dẫn đến chất lượng liên kết dính bám khác nhau.

Hiện nay, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu khả năng dính bám của vật liệu FRP và bề mặt kết cấu (bê tông, thép) với nhiều vật liệu FRP của các hãng khác nhau [1-5]. Tại Việt Nam, hiện nay chưa có nghiên cứu cụ thể nào về sự dính bám của vật liệu FRP và bề mặt kết cấu thép trong sửa chữa gia cường.

Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của độ sạch bề mặt thép đến khả năng bám dính (pull-off strength) của vật liệu cốt sợi cường độ cao (FRP) và bề mặt thép trong sửa chữa gia cường kết cấu thép. Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Sức bền vật liệu, Khoa Công trình, Trường Đại học GTVT.

**2. MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM**

**2.1. Mẫu thí nghiệm và vật liệu chế tạo**

Vật liệu thí nghiệm là thép Q460. Vật liệu gia cường là sợi cường độ cao Tyfo SCH51A, keo nền Tyfo WS, keo dán Tyfo S do hãng Fyfe sản xuất [6].

Thông số kỹ thuật của vật liệu thí nghiệm được thể hiện ở Hình 2:

Mác thép	Phẩm cấp	Giới hạn chảy (MPa) ≥				Độ bền kéo ổn (MPa)	Độ giãn dài ở (%)	Mô đun đàn hồi (Gpa)
		Chiều dày hoặc đường kính (mm)						
		≤ 16	> 16 ~ 35	35 ~ 50	50 ~ 100			
Q460	D	460	440	420	400	520 ~ 720	17	200-210

Hình 2. Thông số kỹ thuật của thép QC460

COMPOSITE GROSS LAMINATE PROPERTIES				TYPICAL DRY FIBER PROPERTIES	
PROPERTY	ASTM METHOD	TYPICAL TEST VALUE	DESIGN VALUE*		
Ultimate tensile strength in primary fiber direction, psi	D3039	83,400 psi (575 MPa) (4.17 kN/in. width)	66,720 psi (460 MPa) (3.3 kN/in. width)	Tensile Strength	470,000 psi (3,24 GPa)
Elongation at break	D3039	2.2%	1.76%	Tensile Modulus	10.5 x 10 <sup>6</sup> psi (72.4 GPa)
Tensile Modulus, psi	D3039	3.79 x 10 <sup>6</sup> psi (26.1 GPa)	3.03 x 10 <sup>6</sup> psi (20.9 GPa)	Ultimate Elongation	4.5%
Ultimate tensile strength 90 degrees to primary fiber, psi	D3039	3,750 psi (25.9 MPa)	3,000 psi (20.7 MPa)	Density	0.092 lbs./in. <sup>3</sup> (2.55 g/cm <sup>3</sup> )
Nominal Laminate Thickness		0.05 in. (1.3mm)	0.05 in. (1.3mm)	Minimum weight per sq. yd.	27 oz. (915 g/m <sup>2</sup> )

a) - Thông số cơ tính của sợi SEH51A đã tẩm keo TyfoS

b) - Thông số sợi SEH51A ở dạng khô

Hình 3. Thông số cơ tính của vật liệu sợi thủy tinh SEH51A do hãng Fyfe sản xuất

EPOXY MATERIAL PROPERTIES			EPOXY COMPONENT PROPERTIES	
Curing Schedule 72 hours post cure at 140° F (60° C)				
PROPERTY	ASTM METHOD	TYPICAL TEST VALUE*		
Tensile Strength, psi	D638 Type I	10,500 psi (72.4 MPa)	Color	Component A is white Component B is clear
Tensile Modulus, psi	D638 Type I	461,000 psi (3.18 GPa)	Viscosity	Component A at 77° F (25° C) is 7,000-10,000 cps Component B at 77° F (25° C) is 11 cps
Elongation Percent	D638 Type I	5.6%	Pot Life	3 to 6 hours at 68° F (20° C)
Flexural Strength, psi	D790	17,300 psi (123.4 MPa)	Viscosity of Mixed Product	Thick paste consistency
Flexural Modulus, psi	D790	452,000 psi (3.12 GPa)		
T <sub>g</sub>	D4065	180° F (82° C)		

Hình 4. Thông số cơ tính của keo nền Tyfo WS do hãng Fyfe sản xuất

- Độ sạch bề mặt thép được thực nghiệm theo tiêu của ISO 8501-1 [7] của Anh. Thí nghiệm kéo nhỏ thực nghiệm theo Tiêu

chuẩn ASTM D4541-02 [8].

- Mẫu thí nghiệm thép Q460: 5 mẫu có kích thước (200x300x10)mm có cấp độ gỉ B [7].

- Phương pháp làm sạch bề mặt thép: Thủ công (bằng tay) và phun bi. Tạo ra các cấp độ sạch: thủ công; SA1; SA2; SA2,5; SA3 [7].

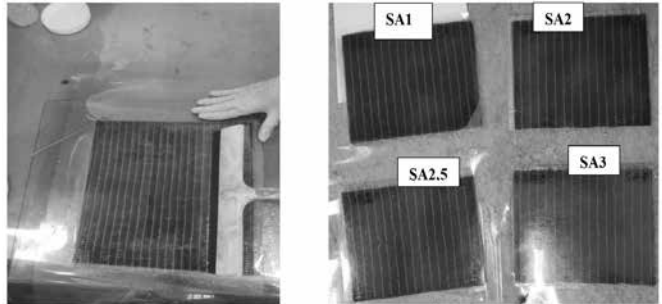


Hình 5. Bề mặt mẫu thép với các cấp độ sạch thí nghiệm

Tiến hành thi công dán sợi Tyfo SEH51A lên bề mặt thép bằng keo nền Tyfo WS và keo dán Tyfo S.



a) - Pha trộn keo theo tỷ lệ của nhà sản xuất b) - Tẩm keo nền Tyfo WS lên bề mặt thép



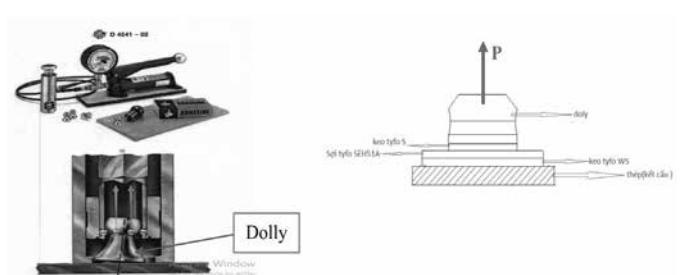
c) - Dán sợi Tyfo SEH51A lên bề mặt thép

d) - Mẫu thí nghiệm sau 8 ngày

Hình 6. Chế tạo mẫu thử nghiệm

**2.2. Sơ đồ thí nghiệm**

Theo Tiêu chuẩn D4541-02, nhóm nghiên cứu lựa chọn sơ đồ thí nghiệm được thể hiện trong Hình 7. Dầu được bơm (bằng tay) vào trong kích thủy lực và thông qua lưu lượng dầu có thể đo được lực kéo. Tiến hành thí nghiệm kéo đến đĩa nhôm (Dolly) hoặc vật liệu FRP tách ra hoàn toàn khỏi mẫu thử.



Hình 7. Sơ đồ thí nghiệm kéo nhỏ

Máy thí nghiệm: Máy kéo nhỏ chuyên dụng Elcometer.

Lực kéo P được xác định trên đồng hồ đo của máy. Giá trị

cường độ kéo nhỏ xác định theo [9]:

Trong đó:

$$\sigma_{keonho} = \frac{4P}{\pi d^2}$$

- $\sigma_{keonho}$  - Ứng suất kéo nhỏ trung bình lớn nhất được áp dụng trong quá trình thử nghiệm (MPa);
- P - Lực thực tế tác dụng lên bề mặt thử nghiệm (đơn vị);
- d - Đường kính bề mặt thử (inch hoặc mm).

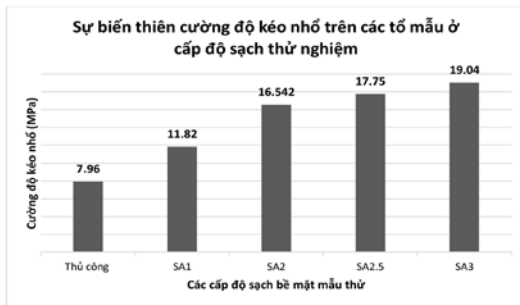
### 3. PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

#### 3.1. Kết quả thực nghiệm

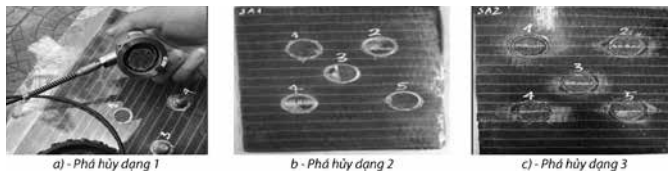
Bảng kết quả thí nghiệm như sau:

Bảng 1. Giá trị cường độ kéo nhỏ của các tổ mẫu ở các cấp độ sạch thử nghiệm

Mẫu số	Kích thước mẫu		Cường độ kéo nhỏ (MPa)				
	Đường kính (mm)	Diện tích (mm <sup>2</sup> )	Thủ công	SA1	SA2	SA2,5	SA3
1	20	314,16	7,93	12,64	15,64	17,80	18,90
2	20	314,16	5,95	12,65	19,34	16,28	18,77
3	20	314,16	9,73	12,65	15,70	17,37	19,60
4	20	314,16	8,46	11,37	16,36	19,00	17,77
5	20	314,16	7,73	9,79	15,67	18,30	20,16
<b>Trung bình</b>			<b>7,96</b>	<b>11,82</b>	<b>16,54</b>	<b>17,75</b>	<b>19,04</b>



Hình 8. Biến thiên cường độ kéo nhỏ ở các tổ mẫu với các cấp độ sạch thử nghiệm  
Dạng phá hủy bề mặt:



Hình 9. Các dạng phá hủy

Qua Hình 9, xuất hiện 3 dạng phá hủy:

- Dạng 1: Lớp sợi FRP bị tách ra khỏi bề mặt thép (Hình 9a).
- Dạng 2: Lớp sợi FRP bị xước (Hình 9b).
- Dạng 3: Lớp sợi FRP vẫn bám dính với bề mặt thép. Dolly bị tách ra khỏi tấm sợi FRP (hình 9c).

#### 3.2. Phân tích, đánh giá kết quả

Thông qua kết quả thực nghiệm, nhóm nghiên cứu rút ra một số nhận xét sau:

- Dựa vào biểu đồ thể hiện cường độ kéo nhỏ ở mỗi cấp độ sạch khác nhau (Hình 8). Có thể thấy ở cấp độ sạch càng cao thì cho ra giá trị cường độ kéo nhỏ càng lớn, tức là khả năng bám dính càng cao.

- Với bề mặt làm sạch bằng phương pháp thủ công thì cường độ kéo nhỏ trung bình thấp hơn so với làm sạch bằng phương pháp phun bi.

- Cường độ kéo nhỏ trung bình ở cấp độ sạch SA1 là 11,82 MPa cao hơn 67,34% so với làm sạch bằng thủ công là 7,96 MPa. Cường độ kéo nhỏ trung bình ở cấp độ sạch SA2 là 16,54 MPa cao hơn 71,45% so với SA1 là 11,82 MPa và 48,12% so với thủ công là 7,96 MPa. Cường độ kéo nhỏ trung bình ở cấp độ sạch SA2.5 là 17,75 MPa cao hơn 93,2% so với SA2 là 16,54 MPa, 66,59% so với SA1 là 11,82 MPa và 44,85% so với thủ công là 7,96 MPa. Cường độ kéo nhỏ trung bình ở cấp độ sạch SA3 là 19,04 MPa cao hơn 93,22% so với SA2.5 là 17,75 MPa, 86,88% so với SA2 là 16,542 MPa, 62% so với SA1 là 11,82 MPa; 41,81% so với thủ công là 7,96 MPa.

### 4. KẾT LUẬN

- Qua kết quả nghiên cứu có thể thấy rằng, cấp độ sạch và phương pháp làm sạch ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng bám dính của vật liệu FRP với bề mặt kết cấu thép.

- Với phương pháp làm sạch bằng thủ công, mặc dù bề mặt được làm sạch cẩn thận tại phòng thí nghiệm với cấp độ sạch lớn nhất nhưng giá trị cường độ kéo nhỏ lớn nhất của tất cả các mẫu chỉ đạt 9,73 MPa < 9,79 MPa là giá trị cường độ kéo nhỏ nhỏ nhất ứng với cấp độ sạch SA1 (cấp độ sạch thấp nhất của phương pháp làm sạch bằng phun bi).

- Trong cùng một phương pháp làm sạch bề mặt thì cấp độ sạch càng cao thì khả năng dính bám của tấm vật liệu FRP lên bề mặt thép càng tốt. Cụ thể, với phương pháp này thì cường độ kéo nhỏ trung bình của các mẫu với cấp độ sạch cao nhất SA3 là 19,4 MPa, cao hơn 64% cường độ kéo nhỏ trung bình của các mẫu với cấp độ sạch thấp nhất SA1 là 11,82MPa.

- Do điều kiện và phạm vi nghiên cứu các số liệu của kết quả nghiên cứu chỉ có giá trị với vật liệu FRP (keo tyfo WS, keo tyfo S, sợi SEH 51A...) của hãng Fyfe.

- Vì lớp vật liệu liên kết giữa kết cấu thép sửa chữa và tấm FRP là keo EPOXY, do vậy có thể nghiên cứu thêm khả năng bám dính của lớp vật liệu FRP với kết cấu thép ở các mức nhiệt độ khác nhau.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. G.Sebastiani, S.Pfeifer, L.Rober, J.Katoh, Z.Yamaguchi, S.Takada (2019), Bonding Strength of FRP-Metal Hybrids, Technologies for Lightweight Structures 3(1), pp.1-8.
- [2]. Cicek Ozes and Nurhan Nesper (2015), Experimental Study on Steel to FRP Bonded Lap Joint in Marine Applications, Advances in Materials Science and Engineering.
- [3]. Pramanik, A. et al. (2017), Joining of carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites and aluminum alloys - A review, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 101, pp.1-29. doi: 10.1016/j.compositesa.2017.06.007.
- [4]. Monden, A. et al. (2014), Evaluation of surface modified CFRP-Metal hybrid laminates, In: Proceedings of the Euro Hybrid Materials and Structures, pp.32-40
- [5].Schimanski, K.etal.(2013), Failurebehaviorofdiffusionbondedtransitionstructures for integral FRP Aluminum compounds, Procedia Materials Science, 2, pp.189-196, doi: 10.1016/j.mspro.2013.02.023
- [6]. Chỉ dẫn kỹ thuật vật liệu FRP của hãng Fyfe.
- [7]. Standard ISO 8501-1:1988, Preparation of substrates before application of paint and related products.
- [8]. ASTM D4541-02, Standard Test Method for Pull-off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers.
- [9]. Vũ Đình Lai, Nguyễn Xuân Lựu, Bùi Đình Nghi (1999), Sức bền vật liệu, NXB. Giao thông vận tải, Hà Nội.