

# So sánh cường độ bám dính giữa cốt thép với bê tông trong môi trường tự nhiên và nhân tạo

Nguyễn Lê Thi<sup>1\*</sup>, Nguyễn Hải Châu<sup>1</sup>, Nguyễn Quang Tùng<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Phòng Nghiệp vụ 6, Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (QUATEST 3)

<sup>2</sup> Công ty Cổ phần Khoa học Công nghệ Việt Nam (BUSADCO)

## TỪ KHOÁ

Bê tông  
Cường độ bám dính  
Cốt thép  
Môi trường tự nhiên  
Lão hóa nhân tạo

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả thực nghiệm so sánh cường độ bám dính của cốt thép với bê tông cốt sợi phân tán bảo dưỡng trong điều kiện môi trường tự nhiên ven biển Bình Đại, Bến Tre; môi trường phòng thí nghiệm và môi trường lão hóa nhân tạo (528 giờ phun sương muối và 220 giờ lão hóa thời tiết). Kết quả nghiên cứu trong vòng 2 năm cho thấy cường độ bám dính của cốt thép với bê tông bảo dưỡng trong điều kiện tự nhiên ven biển gia tăng theo thời gian và có suy giảm tuy không nhiều so với mẫu đối chứng bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm. Trong nghiên cứu này, cường độ bám dính của mẫu cốt thép với bê tông sau khi được lão hóa nhân tạo 748 giờ sẽ tương đương với thời gian bảo dưỡng trong điều kiện môi trường tự nhiên ven biển khoảng 234 ngày.

## KEYWORDS

Concrete  
Bond strength  
Rebar  
Natural environment  
Artificial aging

## ABSTRACT

This paper presents experimental results comparing the bond strength of rebar in fiber concrete cured in natural coastal environment at Binh Dai, Ben Tre; laboratory environment and artificial aging environment (528 hours of salt spray and 220 hours of weather aging). Research results within 2 years show that the bond strength of rebar in fiber concrete cured in natural coastal conditions increases over time and has a decrease but not much compared to the control samples curing in the laboratory. In this study, the bond strength of rebar in fiber concrete after exposure to artificial aging for 748 hours will be equivalent to the curing time in the natural coastal environment of about 234 days.

## 1. Giới thiệu

Phần lớn kết cấu bê tông cốt thép bị hư hỏng trong môi trường biển là do cốt thép bị ăn mòn [1]. Sự hư hỏng thường được thể hiện qua các hiện tượng nứt lớp bê tông bảo vệ (do gỉ thép gây giãn nở), giảm tiết diện cốt thép chịu lực do bị ăn mòn và suy giảm liên kết bê tông – cốt thép, làm kết cấu bê tông cốt thép bị tổn thất khả năng chịu lực. Liên kết giữa cốt thép và bê tông thường được đặc trưng bởi giá trị cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông. Giá trị này trong môi trường ăn mòn như nước biển, có thể bị suy giảm do các cơ chế: giảm ma sát liên kết bê tông với cốt thép do gỉ hình thành trên mặt cốt thép, giảm diện tích tiếp xúc cốt thép với bê tông do lớp bê tông bảo vệ cốt thép bị nứt tách khỏi cốt thép và sự kết hợp của cả hai cơ chế trên.

Cường độ bám dính của cốt thép với bê tông thường được xác định bằng phương pháp kéo nhỏ (pull-out) [2]. Cường độ bám dính này đã được nhiều tác giả nghiên cứu trong các điều kiện khác nhau như: đặc tính cường độ bám dính của cốt thép phủ epoxy trong nước [3] hay môi trường biển [4]; Ảnh hưởng của các mức độ ăn mòn khác nhau đối với các thanh thép đến cường độ bám dính với bê tông [5]; Cường độ bám dính của bê tông cường độ cao với cốt thép cường độ cao [6]; Các

nghiên cứu tập trung trên các mẫu cốt thép bị ăn mòn khác nhau [7][8][9][10]. Nghiên cứu sự suy giảm độ bền liên kết của cốt thép bị ăn mòn với bê tông dựa trên các mô hình phần tử hữu hạn ba chiều và các kết quả thực nghiệm trong phòng thí nghiệm [9]. Các nghiên cứu cho thấy có tương quan giữa mức độ ăn mòn cốt thép và việc giảm độ bền liên kết. Ở Việt Nam, nghiên cứu cường độ bám dính cốt thép với bê tông M60 (với cốt sợi phân tán, silica fume, phụ gia siêu dẻo), chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép 45 mm trong thời gian 2 năm ở điều kiện tự nhiên ven biển đồng bằng Sông Cửu Long [11].

Thực tế, việc thực nghiệm trong điều kiện môi trường tự nhiên sẽ cho kết quả tin cậy nhất. Tuy nhiên, thời gian thử nghiệm này thường rất dài, nhất là liên quan đến độ bền lâu của sản phẩm. Do vậy, thường áp dụng việc thử nghiệm gia tốc để rút ngắn đáng kể thời gian nghiên cứu nhưng vẫn đảm bảo độ tin cậy.

Đối với nghiên cứu ăn mòn bê tông cốt thép, sự ăn mòn của cốt thép trong các mẫu thường được gia tốc bằng cách tạo ra sự chênh lệch điện thế giữa các thanh cốt thép và một cực âm gần đó theo hướng dẫn của tiêu chuẩn NT Build 356 [12]. Phương pháp để đo mức độ ăn mòn cốt thép được tính theo lượng hao hụt của cốt thép sau khi được lấy ra khỏi mẫu thử so với mẫu ban đầu. Nghiên cứu

\*Liên hệ tác giả: thi.nl@quatest3.com.vn

Nhận ngày 26/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 15/01/2022

<https://doi.org/10.54772/jomc.01.2022.257>

[10] sử dụng chất điện phân là dung dịch loãng trong bê tông có chứa clorua natri (NaCl), được thêm vào ở giai đoạn trộn bê tông. Các ion Cl<sup>-</sup> từ clorua natri sau đó bị hút vào cực dương để tăng tốc độ ăn mòn. Nghiên cứu gia tốc ăn mòn cốt thép trong bê tông cốt thép gần đây ở Việt Nam [13][14] mô tả các mẫu bê tông cốt thép bắt đầu được thí nghiệm gia tốc khi đủ tuổi 28 ngày. Mẫu được ngâm trong dung dịch NaCl 3 % sao cho luôn giữ mực nước cách đỉnh mẫu là 3 cm, cốt thép được nối với cực dương của nguồn điện 1 chiều có điện thế không đổi 5V, cực âm nối với một điện cực khác bằng thép không gỉ cùng nhúng trong dung dịch. Dưới tác động của dòng điện, tốc độ khuếch tán ion Cl<sup>-</sup> vào trong bê tông tăng nhanh và quá trình ăn mòn cốt thép được gia tốc mạnh, tạo gỉ gây nứt trên mẫu bê tông.

Hiện nay, các nghiên cứu đánh giá biện pháp bảo vệ cho kết cấu thép như chiều dày lớp mạ, màng sơn thường sử dụng thử nghiệm khả năng chịu phun sương muối (mù muối) trong khi đánh giá tuổi thọ của vật liệu phi kim như nhựa, cao su, chất kết dính, thường sử dụng thiết bị lão hóa thời tiết, mô phỏng nhiệt độ, áp suất, nước... [15].

Môi trường lão hóa nhân tạo sử dụng trong nghiên cứu này là sự kết hợp liên quan đến tạo môi trường ăn mòn tương đối cho các mẫu kim loại và lão hóa thời tiết cho các mẫu phi kim đã nêu trên. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp thực nghiệm so sánh để tìm ra tương quan giữa cường độ bám dính của cốt thép với bê tông trong môi trường thực tế ven biển Bình Đại, Bến Tre so với mẫu đối chứng trong phòng thí nghiệm và mẫu lão hóa nhân tạo. Thời gian nghiên cứu ở hiện trường và trong phòng thí nghiệm khoảng 2 năm.

**2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu**

Sử dụng các loại nguyên vật liệu có sẵn, phổ biến tại khu vực phía Nam nói chung và đồng bằng sông Cửu Long nói riêng. Trong đó, có vật liệu mới qua áp dụng thực tế đã phát huy hiệu quả tốt như cốt sợi PP Forta Ferro. Xi măng sử dụng trong nghiên cứu (X) là xi măng PCB 40 phù hợp TCVN 6260:2009 [16]; cốt liệu nhỏ C (cát mịn là cát sông (Cs) – có mô đun độ lớn là 2,2 phối hợp với cát thô – cát đồi (C<sub>D</sub>) có mô đun độ lớn là 3,5) và cốt liệu lớn là Đá dăm (Đ)- D<sub>max</sub> = 20 mm, phù hợp TCVN 7570:2006 [17]; phụ gia khoáng hoạt tính silica fume (S<sub>i</sub>) phù hợp TCVN 8827:2011 [18], phụ gia hóa học siêu dẻo thế hệ 3, gốc cacboncyllate phù hợp TCVN 8826:2011 [19]. Cốt sợi polypropylene (PP) của Forta Ferro loại sợi 54 mm phù hợp theo ASTM C1119 [20]/ BS EN 14889-2 [21]/ TCVN 12392-2:2018 [22]. Cốt thép có đường kính danh nghĩa d = 10 mm, phù hợp theo TCVN 1651-2:2008 [23]. Tính chất cơ lý của cốt sợi phân tán PP và cốt Thép cho ở Bảng 1.

Tiêu chuẩn về phòng chống ăn mòn cho bê tông và bê tông cốt thép sử dụng trong môi trường biển TCVN 9346:2012 [24] thì cần sử dụng vật liệu tỉ lệ N/CKD < 0,45 với hàm lượng xi măng tối thiểu là 350 kg/m<sup>3</sup> bê tông. Nghiên cứu cố định hàm lượng phụ gia khoáng

hợp tính silica fume 5,0 %, phụ gia siêu dẻo 0,8 L/ 100 kg xi măng và hàm lượng sợi PP 6,0 kg/m<sup>3</sup> bê tông để bê tông cốt sợi có độ sụt (4 ± 2) cm. Chi tiết cấp phối bê tông cốt sợi cho ở Bảng 2.

**Bảng 1.** Tính chất cơ lý của sợi PP và cốt Thép.

| TT | Tên chỉ tiêu              | Kết quả thử nghiệm |          |
|----|---------------------------|--------------------|----------|
|    |                           | PP                 | Cốt thép |
| 1  | Đường kính danh nghĩa, mm | 2,20               | 10       |
| 2  | Đường kính thực tế, mm    | 2,18               | 9,5      |
| 3  | Giới hạn bền kéo,MPa      | 570                | 599      |
| 4  | Độ giãn dài, %            | 16,5               | 21,0     |
| 5  | Mô đun đàn hồi, GPa       | 6,5                | 19,5     |

**Bảng 2.** Thành phần cấp phối bê tông cốt sợi phân tán.

| TT | Cấp phối | Thành phần cho 1 m <sup>3</sup> bê tông |                      |                      |         |        |                      |
|----|----------|---|----------------------|----------------------|---------|--------|----------------------|
|    |          | X<br>kg                                 | C <sub>D</sub><br>kg | C <sub>S</sub><br>kg | Đ<br>kg | N<br>L | S <sub>i</sub><br>kg |
| 1  | 5,0%     | 350                                     | 500                  | 340                  | 1040    | 144    | 17,5                 |

Mẫu thử cường độ bám dính với bê tông có kích thước (D=100, H = 100) mm hoặc (75x75x75) mm, được chuẩn bị bằng cách bọc sáp phần cốt thép [2][7] để giữ chiều sâu chôn khoảng 50 mm/ 35 mm (3 – 5d) cốt thép ngập trong bê tông để nghiên cứu bám dính. Chi tiết công tác chuẩn bị mô tả ở Hình 2.

Tiến hành đúc 08 tổ mẫu thử ở điều kiện môi trường tự nhiên, gồm 03 viên/ tổ mẫu, có kích thước mỗi mẫu (D=100, H = 100) mm, có chiều sâu chôn xấp xỉ 50 mm được đúc, bảo dưỡng 28 ngày trong phòng thí nghiệm. Sau đó được tiếp tục lưu giữ trong môi trường nước biển ven bờ tại Bình Đại – Bến Tre, nơi có mức độ ăn mòn điển hình của khu vực tự nhiên ven biển Đồng bằng Sông Cửu Long [11]. Các mẫu đối chứng có kích thước và cấp phối tương tự, được ngâm nước trong phòng thí nghiệm trong thời gian từ tháng 07/2018 đến 07/2020.

Tiến hành đúc 03 tổ mẫu thử ở điều kiện lão hóa nhân tạo, mẫu thử gồm 03 viên/ tổ mẫu, có kích thước mỗi mẫu (75 x 75 x 75) mm, có chiều sâu chôn xấp xỉ 35 mm. Sau 28 ngày tuổi, 02 tổ mẫu được đưa vào lão hóa trong môi trường sương muối. Sau khi lão hóa trong môi trường sương muối, 01 tổ mẫu được đem thử Cường độ bám dính, 01 tổ mẫu tiếp tục lão hóa thời tiết và sau đó được đem thử cùng tổ mẫu đối chứng bảo dưỡng trong điều kiện phòng thí nghiệm để so sánh. Sự khác nhau về kích thước của mẫu thử ở điều kiện lão hóa nhân tạo so với mẫu thử ở điều kiện môi trường tự nhiên là do hạn chế về kích thước của thiết bị lão hóa thời tiết.



Hình 1. Chuẩn bị mẫu thử cường độ nén và bám dính của cốt thép với bê tông.



Hình 2. Bảo dưỡng các mẫu thử tại Bình Đại, Bến Tre.

Môi trường lão hóa nhân tạo gồm: sương muối và lão hóa thời tiết bằng ánh sáng tia cực tím, nhiệt độ, độ ẩm, ngập nước chi tiết như sau:

- Điều kiện môi trường sương muối theo ASTM B117-16 [25], ISO 9227:2012 [26], TCVN 5405:1991 [27]: Thành phần dung dịch muối: clorua natri 5% và nước cất 95%; Độ pH của dung dịch muối: pH = 7; Nhiệt độ môi trường: (34 – 36) °C; Thể tích phun của dung dịch muối: 1,5 mL/h/ 80 cm<sup>2</sup> và áp suất phun 0,1 MPa; Thời gian lưu giữ: Có thể lựa chọn 24, 48, 96, 144, 240, 500 hoặc 720 giờ. Theo nghiên cứu trên mẫu cốt thép thanh vằn và tôn mạ kẽm, thời gian 528 giờ đủ để tạo cho cốt thép bị gỉ, tạo hiện tượng ăn mòn cốt thép. Thiết bị thử phun sương muối cho ở Hình 3.
- Điều kiện lão hóa thời tiết theo ASTM D 6551/D6551M-05(2019) [28], ASTM G155-13 [29]: giả lập điều kiện thời tiết tự nhiên: cường độ ánh sáng, nhiệt độ, độ ẩm, ngập nước. Thiết bị này thường dùng để khảo sát ảnh hưởng của thời tiết lên tính chất vật liệu phi kim loại như nhựa, cao su, chất bịt kín, vật liệu lợp

mái, chất kết dính, bao bì... Sử dụng đèn Xenon; công suất chiếu 550 W/m<sup>2</sup>; nhiệt độ (63 ± 3) °C; chu kỳ: 48 phút chiếu đèn, 12 phút chiếu đèn và phun nước; Thời gian chiếu đèn lưu giữ 220 giờ tương ứng với 220 chu kỳ. Thời gian này xấp xỉ 2 năm nếu tính theo lượng tia UV [15] đủ để tạo cho vật liệu sợi bị lão hóa khi để ngoài trời tương tự như điều kiện làm việc trong môi trường tự nhiên ở vùng nước có thủy triều lên xuống. Thiết bị thử lão hóa thời tiết mô tả ở Hình 4.

Thiết bị sử dụng thử độ bám dính có thang đo 100 kN, vạch chia 0,1 kN, độ chính xác 1% và bộ gá để thử độ bám dính được mô tả ở Hình 5.

Chỉ tiêu cần nghiên cứu đánh giá, so sánh là cường độ bám dính giữa cốt thép với bê tông khi ngâm trong môi trường thực tế tại hiện trường ven biển (HT) và môi trường lão hóa nhân tạo (LH). Cường độ bám dính  $\tau$  được tính theo công thức sau [30]:

$$\tau = \frac{F}{\pi dL}$$

Trong đó: F là lực kéo phá hủy, d là đường kính làm việc thực tế và L là chiều sâu làm việc của cốt thép.





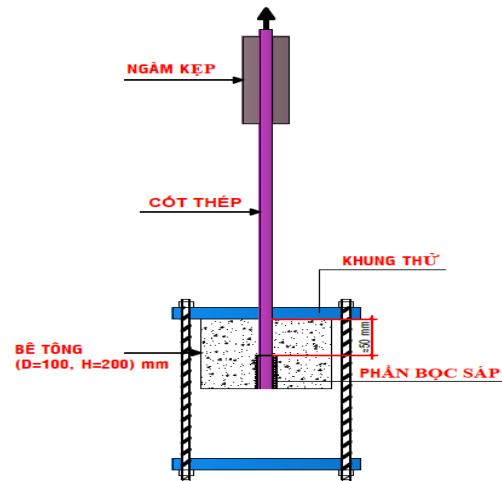
**Hình 3.** Thiết bị thử phun sương muối  
- Model S1000, hãng Ascott, Mỹ.



**Hình 4.** Thiết bị thử lão hóa thời tiết  
- Model 1500E, hãng COFOMEGRA, Italia.



**Hình 5.** Thiết bị thử cường độ bám dính của cốt thép với bê tông.



### 3. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

#### 3.1 Kết quả thực nghiệm

##### 3.1.1 Cường độ bám dính giữa cốt thép với bê tông ở môi trường tự nhiên và đối chứng

Mẫu điển hình sau khi thử độ bám dính giữa cốt thép với bê tông ở Hình 6 cho thấy dạng phá hủy liên kết giữa cốt thép với bê tông là do mất liên kết của lực bám dính. Ngoại quan mẫu cho thấy phần cốt thép nằm trong bê tông chưa chưa có dấu hiệu bị ăn mòn và phần cốt thép phía bên ngoài có dấu hiệu bị gỉ sét nhẹ.

Kết quả thử cường độ bám dính của cốt thép trên mẫu bảo dưỡng trong điều kiện thực tế, mẫu đối chứng và chênh lệch kết quả cho ở Bảng 3 và được minh họa ở Hình 7 và Hình 8. Kết quả ở Bảng 3

được trích từ kết quả nghiên cứu dựa trên quy hoạch thực nghiệm ứng với các tuổi nghiên cứu 32, 360 và 688 ngày bảo dưỡng [11].

Theo Hình 7, tương quan giữa cường độ bám dính ( $\tau_{HT}$ ) và thời gian (x) trong điều kiện môi trường tự nhiên ven biển cho ở với phương trình:

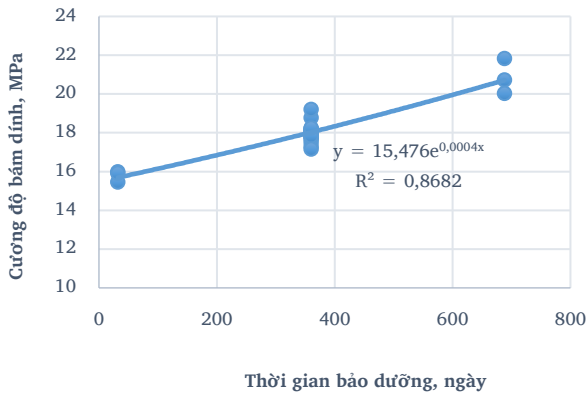
$$\tau_{HT} = y = 15,476 e^{-0,004x} \quad (2)$$



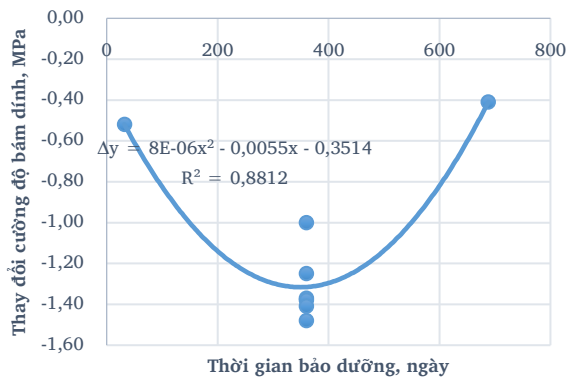
**Hình 6.** Ngoại quan thanh cốt thép của mẫu thử độ bám dính sau khi thử.

**Bảng 3.** Kết quả thử Cường độ bám dính của cốt Thép.

| TT | Ký hiệu mẫu | Tuổi thử nghiệm, ngày | Cường độ bám dính, MPa                |        |        |            |               |                                  |         |
|----|-------------|-----------------------|---------------------------------------|--------|--------|------------|---------------|----------------------------------|---------|
|    |             |                       | Mẫu bảo dưỡng trong điều kiện thực tế |        |        |            | Mẫu đối chứng | Chênh lệch (thực tế - đối chứng) |         |
|    |             |                       | Viên 1                                | Viên 2 | Viên 3 | Trung bình |               | Trung bình                       | Giá trị |
| 1  | M10         | 32                    | 16,00                                 | 15,47  | 15,92  | 15,80      | 16,32         | -0,52                            | -3,19   |
| 2  | M13         | 360                   | 18,22                                 | 17,29  | 17,68  | 17,73      | 19,10         | -1,37                            | -7,17   |
| 3  | M14         | 360                   | 18,78                                 | 18,11  | 19,22  | 18,70      | 19,70         | -1,00                            | -5,08   |
| 4  | M15         | 360                   | 17,52                                 | 18,04  | 18,19  | 17,92      | 19,30         | -1,38                            | -7,15   |
| 5  | M16         | 360                   | 18,12                                 | 18,01  | 17,79  | 17,97      | 19,45         | -1,48                            | -7,61   |
| 6  | M17         | 360                   | 17,97                                 | 17,86  | 17,76  | 17,86      | 19,11         | -1,25                            | -6,54   |
| 7  | M18         | 360                   | 17,85                                 | 17,16  | 18,26  | 17,76      | 19,17         | -1,41                            | -7,36   |
| 8  | M9          | 688                   | 21,84                                 | 20,73  | 20,03  | 20,87      | 21,28         | -0,41                            | -1,93   |



**Hình 7.** Sự phát triển cường độ bám dính theo thời gian.



**Hình 8.** Sự thay đổi cường độ bám dính mẫu thực tế so với đối chứng.

Theo Hình 8, độ suy giảm cường độ bám dính ( $\Delta r$ ) của mẫu bảo dưỡng ở môi trường tự nhiên ven biển so với mẫu đối chứng trong phòng thí nghiệm theo thời gian (x) được biểu diễn qua phương trình:

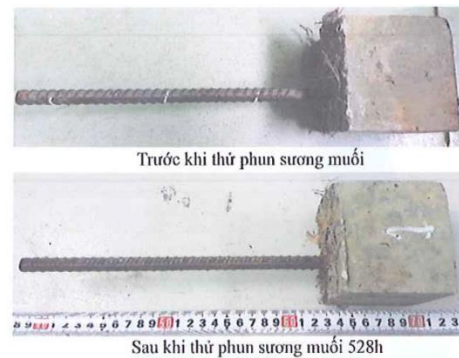
$$\Delta r = \Delta y = 8E-06x^2 - 0,0055x - 0,3514$$

Từ Bảng 3, có thể tính được giá trị trung bình, độ lệch chuẩn và hệ số biến động của các kết quả mẫu thử ở 360 ngày tuổi lần lượt là

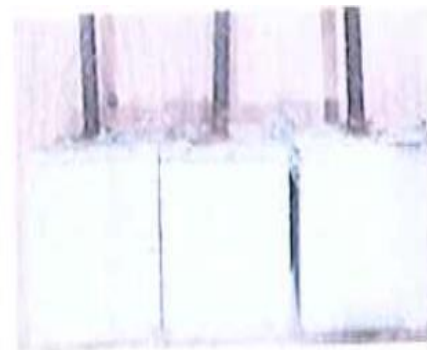
17,99 MPa, 0,48 MPa và 2,68 %. Mức biến động này nhìn chung thấp hơn so với sự thay đổi cường độ bám dính mẫu thực tế so với mẫu đối chứng, ngoại trừ kết quả ở 688 ngày tuổi.

**3.1.2. Cường độ bám dính giữa cốt thép với bê tông ở môi trường lão hóa nhân tạo**

Kết quả Cường độ bám dính cho ở Bảng 4 và chi tiết về ngoại quan của mẫu thử cho ở Hình 9 và Hình 10.



**Hình 9.** Mẫu thử môi trường sương muối.



**Hình 10.** Mẫu thử sau lão hóa thời tiết

**Bảng 4.** So sánh Cường độ bám dính trước và sau lão hóa nhân tạo.

| TT | Ký hiệu mẫu | Cường độ bám dính trung bình, MPa |  |           |                                  |       |
|----|-------------|-----------------------------------|--|-----------|----------------------------------|-------|
|    |             | Lão hóa nhân tạo                  |  | Đối chứng | Chênh lệch (lão hóa - đối chứng) |       |
|    |             | Môi trường sương muối             | Môi trường sương muối và lão hóa thời tiết |           | Giá trị                          | %     |
| 1  | M1-M6       | 17,56                             | 16,93                                      | 18,13     | -1,20                            | -6,62 |

**3.2 Thảo luận**

**3.2.1 Ảnh hưởng của thời gian tới cường độ bám dính cốt thép với bê tông**

So sánh kết quả 3 thí nghiệm điển hình M10, 16 và 9 cho ở Bảng 5, ứng với tuổi mẫu 32/ 360/ 688 ngày, cường độ bám dính thực tế cốt thép với bê tông tương ứng 15,80/ 17,97 /20,87 MPa thì có thể thấy sự thay đổi theo thời gian của cường độ bám dính cốt thép với bê tông so với 32 ngày tuổi khá lớn và đạt như sau:

- ở tuổi 360 ngày, cường độ bám dính  $r_{HT}$  thực tế tăng 13,7 %;
- ở tuổi 688 ngày, cường độ bám dính  $r_{HT}$  thực tế tăng 32,0 %.

Như vậy, theo thời gian, cường độ bám dính cốt thép với bê tông có phát triển mạnh, ngay cả sau 360 ngày tuổi. Việc này có thể giải thích là do cấu trúc đá xi măng của bê tông trở lên đặc chắc hơn theo thời gian (khoáng mới tăng, lỗ rỗng giảm), bê tông co ngót hóa học phần nào và sự gia tăng ứng suất liên kết cục bộ do thanh thép bị ăn mòn ở mức độ thấp dẫn đến lực bọc ép mạnh hơn lên cốt thép làm ma sát và cường độ bám dính giữa chúng tăng.

**3.2.2 Mức suy giảm độ bám dính cốt thép với bê tông trong môi trường tự nhiên**

Từ Bảng 3 và phương trình (3) có thể thấy cường độ bám dính của tập hợp các mẫu trong môi trường ăn mòn ven biển ở các thời gian khác nhau có bị suy giảm, với mức suy giảm trung bình 0,98 MPa, tức 5,75 %, so với cường độ bám dính trung bình của toàn bộ tập mẫu đối chứng (19,18 MPa).

Ở thí nghiệm M10, ở 32 ngày tuổi, tức vừa kết thúc thời gian bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm khoảng 1 tháng, cường độ bám dính thép với bê tông đã bị suy giảm 3,19 %. Nếu so sánh 6 mẫu thí nghiệm M13, 14, 15, 16, 17, 18, mức suy giảm  $r_{HT}$  sau 360 ngày biến thiên từ 5,08 % đến 7,36 % (trung bình là 6,82 %), nhưng sau 2 năm theo kết quả mẫu thí nghiệm 9 lại chỉ còn 1,93 %. Kết quả thực nghiệm này cho thấy mức độ suy giảm lớn nhất là vào khoảng 360 ngày tuổi, sau đó giảm dần cho đến 688 ngày tuổi. Việc này có thể giải thích là yếu tố môi trường tự nhiên ven biển làm suy giảm cường độ bám dính cốt thép với bê tông khác nhau theo thời gian. Trước hoặc sau mốc 360 ngày tuổi, tốc độ ảnh hưởng này nhanh hơn hoặc chậm hơn mức độ gia tăng cường độ bám dính. Điều này có thể là do

sử dụng xi măng poóc lăng hỗn hợp kết hợp phụ gia khoáng silica fume làm cấu trúc đá xi măng của bê tông trở lên đặc chắc hơn ở tuổi dài ngày đồng thời có sự gia tăng ứng suất liên kết cục bộ do thanh thép bị ăn mòn ở mức độ thấp dẫn đến khả năng chống ăn mòn tốt và cường độ bám dính gia tăng nhanh ngay cả sau 360 ngày tuổi. Tuy nhiên, để rút ra kết luận cho vấn đề này, cần có các thực nghiệm định lượng bổ sung và các số liệu cần được nghiên cứu một cách đầy đủ, thời gian nghiên cứu cần dài hơn.

**3.2.3 Tương quan giữa cường độ bám dính cốt thép với bê tông trong môi trường lão hóa nhân tạo và tự nhiên**

Sử dụng phương trình (2) và (3), ứng với  $y = 16,93$ ;  $y = 18,13$  và  $\Delta y = -1,20$ , ta tính được  $x$  có giá trị lần lượt là  $x = 224$ ;  $x = 396$  và  $x = (234 ; 454)$ . Do giá trị của  $x$  ở phương trình (3) cần phải nhỏ hơn 396 nên ta có thể loại bỏ giá trị  $x = 454$ . Từ đó, tính được tương quan giữa Cường độ bám dính sau khi bảo dưỡng trong môi trường lão hóa nhân tạo 748 giờ (528 giờ phun sương muối và 220 giờ lão hóa thời tiết) và thời gian tương ứng trong điều kiện môi trường tự nhiên thực tế sẽ là 234 ngày. Kết quả tính toán cụ thể cho ở Bảng 5.

**Bảng 5.** Tính toán tương quan giữa môi trường lão hóa nhân tạo và tự nhiên.

| TT | Cường độ bám dính $y$ , MPa | Chênh lệch cường độ bám dính $\Delta y$ , MPa | Phương trình tương quan | Tuổi thử nghiệm $x$ , ngày |
|----|-----------------------------|---|-------------------------|----------------------------|
| 1  | 16,93                       | -   | (2)                     | 224                        |
| 2  | 18,13                       | -   | (2)                     | 396                        |
| 3  | -                           | -1,20   | (3)                     | 234; 454                   |

Kết quả tính toán ở trên cho thấy, ở môi trường sương muối 528 giờ và sau đó tiếp tục lão hóa thời tiết bằng ánh sáng tia cực tím 220 giờ sẽ tương đương dưỡng hộ thực tế 234 ngày ở vùng biển Bình Đại – Bến Tre. Điều này có ý nghĩa lớn trong việc sử dụng môi trường lão hóa nhân tạo nhằm gia tốc để nghiên cứu trong phòng thí nghiệm thay cho việc bảo dưỡng mẫu trong thời gian dài ở điều kiện thực tế. Ngoài ra, dạng phá hủy liên kết giữa cốt thép với bê tông ở trong các môi trường bảo dưỡng khác nhau đều giống nhau, chủ yếu là do mất liên kết giữa cốt thép với bê tông nền mà không có hiện tượng đứt gãy cốt thép. Điều này một phần do cường độ bê tông cao, thời gian bảo dưỡng thực tế chưa đủ dài và chiều dày lớp bê tông bảo vệ khá lớn nên cốt thép chưa bị ăn mòn, làm giảm tiết diện ngang của thanh thép.

Thực nghiệm này nghiên cứu trên một môi trường lão hóa nhân tạo giả định, được kiểm soát. Đây là sự kết hợp liên quan đến tạo môi trường ăn mòn tương đối cho các mẫu kim loại và lão hóa thời tiết

cho các mẫu phi kim. Cần lưu ý rằng, thông thường không có mối quan hệ trực tiếp giữa khả năng chịu sương muối và lão hóa thời tiết với khả năng chịu lão hóa nhân tạo trong các điều kiện thiết bị khác, bởi vì tính chất hóa học của các phản ứng, bao gồm sự hình thành màng và mức độ bảo vệ của chúng, thường thay đổi rất nhiều theo các điều kiện cụ thể khác nhau.

Ngoài ra, do sự hạn chế về kích thước của thiết bị nên hình dạng, kích thước mẫu thử trong điều kiện lão hóa nhân tạo và môi trường ven biển tự nhiên có khác nhau. Điều này có thể dẫn đến sai số do chiều dày lớp bê tông bảo vệ và chiều sâu chôn thép có khác nhau nên cần lưu ý tính tương đối trong quy đổi thời gian giữa hai môi trường. Vấn đề này cần được ghi nhận để cải tiến trong các nghiên cứu tiếp theo.

#### 4. Kết luận & kiến nghị

Từ kết quả thực nghiệm nghiên cứu trong khoảng thời gian 2 năm ở điều kiện môi trường ven biển của Bình Đại, Bến Tre, môi trường phòng thí nghiệm và môi trường lão hóa nhân tạo có thể rút ra các kết luận và kiến nghị như sau:

- a) Cường độ bám dính cốt thép với bê tông M60 – M70 cốt sợi phân tán trong môi trường biển gia tăng theo thời gian với mức tăng tương ứng ở 360 và 688 ngày tuổi so với 32 ngày tuổi lần lượt là 13,7 % và 32,0 %.
- b) Cường độ bám dính của mẫu cốt thép sau khi lão hóa nhân tạo 748 giờ (528 giờ phun sương muối và 220 giờ lão hóa thời tiết) sẽ tương đương với thời gian 234 ngày bảo dưỡng trong điều kiện môi trường ven biển Bình Đại – Bến Tre.
- c) Cường độ bám dính cốt thép với bê tông trong môi trường ăn mòn nhìn chung có dấu hiệu suy giảm đôi chút so với mẫu đối chứng bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, quy luật chưa thực sự rõ ràng và cần được nghiên cứu đầy đủ với thời gian dài hơn, nhất là trong điều kiện bê tông cốt thép làm việc lâu dài trong môi trường ven biển.
- d) Cần tiếp tục phân tích, đánh giá ảnh hưởng sự khác nhau về hình dạng, kích thước mẫu thử, đường kính, chiều sâu chôn, hình dạng vữa của cốt thép... đến cường độ bám dính của cốt thép với bê tông cốt sợi phân tán trong các nghiên cứu tiếp theo.
- e) Các kết quả nghiên cứu của đề tài có thể được tham khảo để mô phỏng môi trường lão hóa nhân tạo và áp dụng cùng tiêu chuẩn TCVN 9346:2012.

#### Lời cảm ơn

Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn đến BUSADCO & QUATEST 3 đã cho phép chúng tôi sử dụng số liệu nghiên cứu của đề tài “Ứng dụng giải pháp bê tông cốt phi kim nhằm tăng cường tính bền vững cho các công trình kè chắn sóng ven biển ở khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long dưới tác động của biến đổi khí hậu” để hoàn thành bài báo này.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Đặng Văn Phú, “Báo cáo tổng quan ăn mòn và bảo vệ các công trình xây dựng trong môi trường xâm thực”, *Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng*. Hà Nội, 7/1999.
- [2]. ACI 408R-03 (Reapproved 2012), “Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension”.
- [3]. Assaad, JJ & Issa, “Bond strength of epoxy-coated bars in underwater concrete”, *Construction and Building Materials*, CA 2012, vol. 30, pp. 667-674.
- [4]. Moetaz, M & El-Hawary, “Evaluation of bond strength of epoxy-coated bars in concrete exposed to marine environment”, *Construction and Building Materials*, 1999, Vol. 13, No. 7, pp. 357- 362.
- [5]. Fang, C, Lundgren, K, Chen, L & Zhu, “Corrosion influence on bond in reinforced concrete”, *Cement and Concrete Research*, China 2004, Vol. 34, No. 11, pp. 2159-2167.
- [6]. Hadi, “Bond of high strength concrete with high strength reinforcing steel”, *The Open Civil Journal*, MNS 2008, Vol. 2, pp. 143-147.
- [7]. Papa Niane Faye, Yinghua Ye, and Bo Diao, “Bond Effects between Concrete and Steel Bar Using Different Diameter Bars and Different Initial Crack Width”, *Advances in Civil Engineering*, Volume 2017, Article ID 8205081, 11 pages
- [8]. A. Aryanto & Y. Shinohara, “Bond Behavior between Steel and Concrete in Low Level Corrosion of Reinforcing Steel”. *15<sup>th</sup> WCEE*, Lisboa 2012.
- [9]. Marco Valente, “Bond Strength between Corroded Steel Rebar and Concrete”. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, October 2012, Vol. 4, No. 5.
- [10]. Mohammed Sonebi, Richard Davidson, David Cleland, “Bond between Reinforcement and Concrete – Influence of Steel Corrosion”, *International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Porto Portugal, April 12 -15th, 2011.
- [11]. Nguyễn Lê Thị, Nguyễn Hoàng Bảo Linh. “Sự phát triển cường độ bám dính của cốt thép với bê tông trong môi trường tự nhiên ven biển Đồng bằng sông Cửu Long”, *Tạp chí KHCN Xây dựng* – số 3/2020.
- [12]. NT Build 356 (11/1989), “Concrete, repairing materials and protective coating: embedded steel method, Chloride permeability”.
- [13]. Phan Văn Chương, Phạm Văn Khoan, Nguyễn Nam Thắng, “Nghiên cứu áp dụng phương pháp gia tốc để đánh giá mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông cát nhiễm mặn”, *Tạp chí KHCN Xây dựng* - số 4/2019.
- [14]. Nguyễn Ngọc Tân, “Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của cường độ bê tông đến khả năng hạn chế ăn mòn cốt thép trong môi trường clorua”, *Tạp chí KHCN Xây dựng* - số 3/2020.
- [15]. European Organisation for Technical Approvals (EOTA), “Exposure procedure for artificial weathering”, *Technical Report TR 010*, Edition May 2004.
- [16]. TCVN 6260:2009, “Xi măng poóc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật”.
- [17]. TCVN 7570:2006, “Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật”.
- [18]. TCVN 8827:2011, “Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa - Silicafume và tro trấu nghiền mịn”.
- [19]. TCVN 8826:2011, “Phụ gia hoá học cho bê tông”.
- [20]. ASTM C1116/C1116M – 10a (Reapproved 2015), “Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete”.
- [21]. BS EN 14889-2:2006, “Fibres for concrete - Part 2: Polymer fibres - Definitions, specifications and conformity”.
- [22]. TCVN 12392-2:2018, “Sợi cho bê tông cốt sợi - Phần 2: Sợi polymer”.
- [23]. TCVN 1651-2:2008, “Thép cốt bê tông – Phần 2: Thép thanh vằn”.

- [24]. TCVN 9346:2012, “Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển”.
- [25]. ASTM B117 – 16, “Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus”
- [26]. ISO 9227:2012, “Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests”.
- [27]. TCVN 5405:1991, “Bảo vệ ăn mòn, Kim loại, hợp kim - Lớp phủ kim loại và phi kim loại vô cơ, Phương pháp thử nhanh trong sương mù của dung dịch trung tính natri clorua (phương pháp NSS)”.
- [28]. ASTM D 6551/D6551M-05(2019), “Standard Practice for Accelerated Weathering of Pressure-Sensitive Tapes by Xenon-Arc Exposure Apparatus”.
- [29]. G 155 –13, “Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials”.
- [30]. ACI 440.1R-06, “Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars”.