

# Phân tích ảnh hưởng của ứng suất uốn đến mức độ ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm bê tông cốt thép

## Analysis of the influence of flexural stress on the degree of reinforcement corrosion in reinforced concrete beams

Võ Văn Nam

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email liên hệ: nam.vo@ut.edu.vn

### Tóm tắt:

Nội dung bài báo, trình bày quá trình nghiên cứu thực nghiệm mối quan hệ giữa ứng suất uốn trong kết cấu dầm bê tông cốt thép (BTCT) và mức độ ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm. Thực tế khi dầm làm việc trong điều kiện môi trường xâm thực, với các tác nhân gây ăn mòn cao, cộng thêm tác dụng của tải trọng, gây ra ứng suất uốn duy trì trong dầm là một vấn đề cần được lưu ý và xem xét khi tiến hành phân tích mức độ ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm với sơ đồ uốn 04 điểm, duy trì ứng suất uốn, trong suốt quá trình các mẫu dầm được ngâm trong môi trường ăn mòn diễn tiến nhanh, là một góc nhìn khác, nhằm đánh giá ảnh hưởng của ứng suất uốn duy trì đến mức độ ăn mòn cốt thép.

**Từ khóa:** Ăn mòn cốt thép; tải trọng tác dụng; mức độ ăn mòn, ứng suất uốn.

### Abstract:

The content of the article presents the process of empirical research on the relationship between flexural stress in reinforced concrete girder structures (reinforced concrete) and the degree of reinforcement corrosion in girder structures. The fact that when beams work in aggressive environmental conditions, with high corrosive agents, plus the effect of loads, causing sustained bending stress in the beams, is a problem that should be noted and considered. considered when analyzing the corrosion level of reinforcement in beam members. The results of experimental research with 4 point bending diagram, maintaining bending stress, during the process of beam samples being immersed in a rapidly evolving corrosive environment, is another perspective to evaluate the bending stress is maintained up to the level of reinforcement corrosion.

**Keywords:** Effect of load; bending stress; corrosion of reinforcement; degree of corrosion.

### 1. Giới thiệu

Ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm bê tông cốt thép (BTCT) diễn ra trên hầu hết các công trình cầu BTCT, đó là vấn đề nghiêm trọng ảnh hưởng đến khả năng vận hành, khai thác công trình một cách an toàn. Trong quá trình khai thác dưới tác dụng của môi trường xâm thực, đặc biệt là các khu vực ven biển, cốt thép trong cấu kiện dầm BTCT bị ăn mòn, là một quá trình lâu dài và liên tục [1]. Bên cạnh yếu tố môi trường xâm thực thì ăn mòn ứng suất là một vấn đề được rất nhiều nhà

khoa học quan tâm, dưới tác dụng của tải trọng, ứng suất xuất hiện trong dầm và điều này tác động đến quá trình ăn mòn cốt thép.

Trên thế giới, vấn đề ăn mòn cốt thép luôn là chủ đề gây nhiều chú ý. Vào năm 2016, nhóm tác giả thuộc trường Đại học Cairo, Ai Cập đã công bố kết quả nghiên cứu so sánh sự ăn mòn cốt thép trên dầm BTCT dự ứng lực và dầm BTCT thường, kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng ảnh hưởng của ăn mòn do môi trường xâm thực có tác dụng mạnh mẽ và làm giảm nhanh khả năng

kháng uốn đối với kết cấu dầm BTCT thường. Điều này tác động ít hơn đối với kết cấu dầm BTCT dự ứng lực (DUL) – cùng điều kiện môi trường thí nghiệm, nhóm cũng chỉ ra nguyên nhân BTCT DUL ít bị ảnh hưởng là do vết nứt trên bê tông phát triển ít hơn, thêm vào đó thép cường độ cao được bao bọc và bảo vệ bởi vữa bê tông và ống gen nên các tác nhân ăn mòn khó tiếp xúc để thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép [2]. Năm 2018 nhóm học viên cao học Hussain, H., & Miteva, D. thuộc trường Đại học Công nghệ Chalmers, Thụy Điển đã hoàn thiện luận văn nghiên cứu về ứng xử của cấu trúc BTCT bị ăn mòn bằng mô hình 3D FE, nhóm tác giả đã tiến hành đánh giá tính năng của dầm BTCT bị ăn mòn bằng các thí nghiệm và mô hình phần tử hữu hạn (FE), kết quả nghiên cứu đã kết luận quá trình ăn mòn làm giảm đường kính cốt thép chịu lực, giảm lực bám dính giữa bê tông và cốt thép qua đó làm giảm khả năng chịu tải của dầm BTCT [3].

Tại Việt Nam nhiều tác giả đã công bố kết quả nghiên cứu trên nhiều tạp chí và diễn đàn khoa học. Nghiên cứu ảnh hưởng của hiện tượng ăn mòn cốt thép đến kết cấu bê tông cốt thép, bằng việc đề xuất mô hình 3D-RBSM, tác giả Nguyễn Công Luyện đã phân tích và mô phỏng cụ thể ảnh hưởng của sự ăn mòn cốt thép đến lực dính bám giữa bê tông và cốt thép [4]. Ảnh hưởng của ăn mòn đến ứng xử liên kết và cường độ chịu uốn của dầm bê tông cốt thép cho thấy độ bền uốn của dầm bị ăn mòn giảm khi gia tăng ăn mòn cốt thép [5]. Sử dụng mô hình để chẩn đoán cường độ chịu uốn cho kết cấu dầm bê tông cốt thép bị ăn mòn với sự tham dự của các thông số xác định, tính chất ngẫu nhiên. Mô hình được sử dụng rõ ràng có thể tạo ra một hành vi đồng nhất dựa trên hai hành vi cơ bản (bề mặt thép/bê tông và cốt thép) [6].

Thời gian qua, các tác giả chủ yếu nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép đến khả năng ứng xử của cấu kiện dầm [3], [4], [6]; bài báo với cách tiếp cận khác, qua việc phân tích

ảnh hưởng của ứng suất uốn duy trì đến mức độ ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm bê tông cốt thép. Tác giả sẽ tiến hành thực nghiệm và kết quả sẽ đưa ra một số kết luận liên quan đến ảnh hưởng của ứng suất uốn duy trì đến mức độ ăn mòn cốt thép trong dầm.

## 2. Chế tạo mẫu

### 2.1. Vật liệu chế tạo mẫu

Bê tông C30 có cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày dự kiến là  $f_c' = 30$  MPa Thành phần cấp phối của bê tông (mẻ trộn 500 l) được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI211.1-91 [7].

Trong đó:

$f_c'$ : Cường độ chịu nén của bê tông.

C30: Ký hiệu bê tông mác 30MPa.

**Bảng 1.** Thành phần cấp phối cho 0.5m<sup>3</sup> bê tông.

Loại vật liệu	Đá	Cát	Xi măng	Nước
<b>Khối lượng (Kg)</b>	547.5	367.5	183.5	96

Cường độ chịu nén trung bình của bê tông khi nén kiểm tra mẫu: 38.6 (MPa). Thép được sử dụng chế tạo dầm: D10, tròn trơn,  $f_y = 240$  MPa.

Trong đó:

D10: Ký hiệu đường kính cốt thép.

$f_y$ : Cường độ chịu kéo của thép.

### 2.2. Thiết bị phục vụ chế tạo mẫu, quá trình thực nghiệm

- Máy nén San 3000 là loại máy nén điện tử, điều khiển bằng máy tính có thể giữ được lực theo thời gian;

- Load cell loại 1000kN dùng để đo lực;

- Strain gages 3 mm dùng để xác định ứng suất thông qua biến dạng;

- Máy đầm bê tông;

- Một số thiết bị khác...



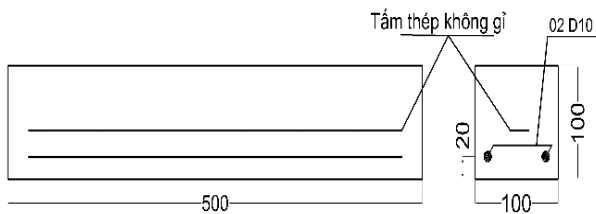
Hình 1. Máy trộn vữa bê tông.



Hình 2. Máy nén San 3000.

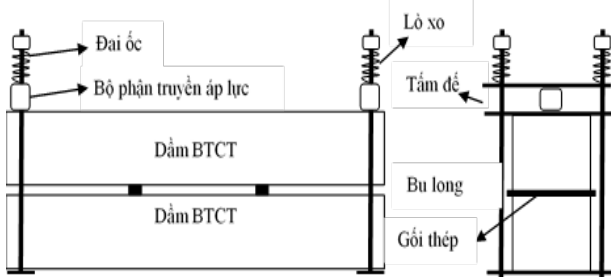
### 2.3. Kích thước, hình dạng và cấu tạo mẫu

Mẫu dầm chế tạo phục vụ thực nghiệm có kích thước 500x100x100 mm [1], [4], [8]. Số lượng 10 dầm.

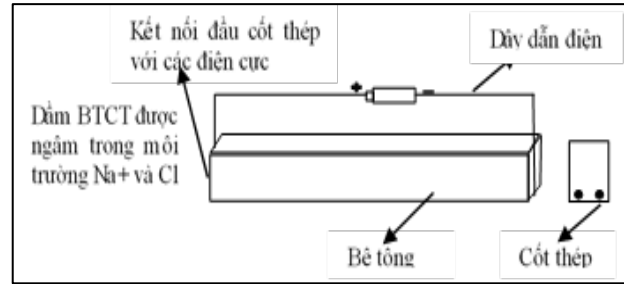


Hình 3. Kích thước và cấu tạo dầm thực nghiệm.

### 2.4. Mô hình tạo ứng suất và môi trường ăn mòn diễn tiến nhanh



Hình 4. Gông dầm tạo ứng suất.



Hình 5. Mô hình gia tốc ăn mòn điện ly.

### 2.5. Quá trình tiến hành thực nghiệm

Với mục tiêu của bài báo là phân tích ảnh hưởng của ứng suất uốn duy trì đến mức độ ăn mòn cốt thép trong dầm BTCT. Triển khai thực nghiệm trên 10 mẫu dầm BTCT có kích thước 500x100x100 mm, gông các mẫu dầm thành từng nhóm (02 dầm) với sơ đồ uốn 04 điểm (đảm bảo uốn thuần túy) và tiến hành gia tải ở các cấp tải trọng khác nhau nhằm tạo ra các mức ứng suất duy trì tương ứng lực tác dụng: 0,2, 0,6, 0,8  $P_{max}$ , sau đó ngâm mẫu vào môi trường dung dịch NaCl nồng độ (3-5%) kết hợp tạo điện cực kích hoạt môi trường ăn mòn điện ly nhằm thúc đẩy nhanh quá trình ăn mòn cốt thép, qua đó đánh giá ảnh hưởng của ứng suất duy trì đến quá trình ăn mòn cốt thép trong mẫu dầm.

Bảng 2. Số lượng mẫu xác định  $P_{max}$ .

Thí nghiệm	SL dầm	Ký hiệu	Lực tác dụng
Uốn xác định $P_{max}$	02	M0 <sub>1</sub> M0 <sub>2</sub>	$P_{max}$

Trong đó:  $P_{max}$  - lực tác dụng tại thời điểm dầm bị phá hoại.

Bảng 3. Số lượng mẫu dầm ứng các cấp gia tải.

Thí nghiệm	SL dầm	Ký hiệu	Lực tác dụng
Mẫu không gia tải	02	M1, M2	0
Thí nghiệm uốn 04 điểm	02	M3, M4	0,2. $P_{max}$
Thí nghiệm uốn 04 điểm	02	M5, M6	0,6. $P_{max}$

Thí nghiệm	SL dầm	Ký hiệu	Lực tác dụng
Thí nghiệm uốn 04 điểm	02	M7, M8	$0,8.P_{max}$

Các mẫu dầm được gông thành từng cặp, đảm bảo dầm chịu uốn thuần túy; các gối chia dầm ra làm 03 đoạn mỗi đoạn 150 cm, ứng suất duy trì trong các cặp dầm được tạo ra bằng cách sử dụng máy gia lực.



**Hình 6.** Hình ảnh gia tải tạo ứng suất.

Quá trình uốn dầm theo sơ đồ uốn 04 điểm xác định  $P_{max}$  - lực tác dụng, thông qua load cell, đồng thời kiểm soát qua việc xác định ứng suất của thép bằng cách gắn các điện trở trên tấm thép cấu tạo trong dầm [1], [7].



**Hình 7.** Hình ảnh uốn dầm xác định  $P_{max}$ .

Giá trị lực tác dụng cực đại gây uốn phá hoại và ứng suất thép tương ứng tại thời điểm xuất hiện các vết nứt phá hoại trên bê tông tại vị trí giữa nhịp được thống kê tại bảng sau:

**Bảng 4.** Bảng thống kê giá trị  $P_{max}$ .

Mẫu	$P_{max}$ (KN)	$\sigma$ (Mpa)
M0 <sub>1</sub>	$P_{max1} = 28$	$\sigma_1 = 150$
M0 <sub>2</sub>	$P_{max2} = 27,66$	$\sigma_2 = 148,2$
TB	$P_{maxTB} = 27,83$	$\sigma_{TB} = 149,09$

Trong đó:

$\sigma_1, \sigma_2$ : Ứng suất tương ứng.

$\sigma_{TB}$ : Giá trị ứng suất trung bình.

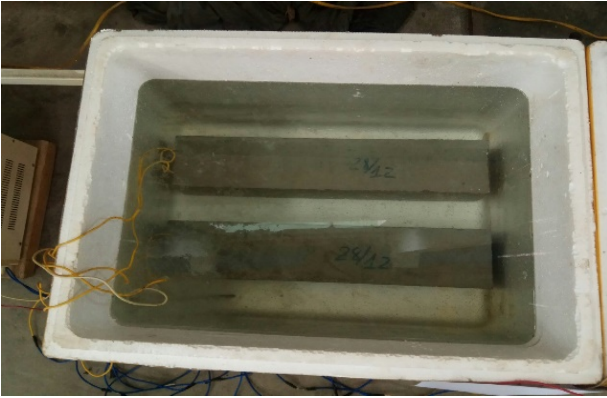
$P_{max1}, P_{max2}$ : lực tác dụng tại thời điểm các mẫu dầm tương ứng bị phá hoại.

$P_{maxTB}$ : Giá trị  $P_{max}$  trung bình.

**Bảng 5.** Bảng giá trị ứng suất TB tương ứng.

Ký hiệu Mẫu	Lực gông gia tải(KN)	Ứng suất TB (Mpa)
M1	0	0
M2	0	0
M3	5,6	35,8
M4	5,6	35,8
M5	16,7	90,85
M6	16,7	90,85
M7	22,3	122,8
M8	22,3	122,8

Các cặp mẫu dầm sau khi gông gia tải theo các cấp tải trọng được ngâm trong môi trường diễn tiến ăn mòn nhanh. Thời gian ngâm là 30 ngày liên tục. Trong thời gian ngâm, khi xảy ra sự cố làm gián đoạn thì mẫu đã được ngâm bù khoảng thời gian tương ứng.



**Hình 8.** Hình ảnh ngâm dầm không gia tải.



**Hình 9.** Hình ảnh dầm ngâm có gia tải.



**Hình 10.** Thiết bị kích hoạt ăn mòn điện ly.

### 3. Kết quả thực nghiệm

#### 3.1. Mức độ ăn mòn cốt thép

Các mẫu dầm sau khi ngâm đủ 30 ngày sẽ được trực vớt, tiến hành đập bỏ lớp bê tông bảo vệ, các thanh thép được lấy ra và làm sạch phần gỉ thép bao quanh, bê tông bám vào thanh rồi tiến hành cân xác định khối lượng. Khối lượng thép hao

mòn được tính bằng chênh lệch khối lượng giữa các thanh thép trước và sau khi ngâm.



**Hình 11.** Mẫu sau khi ngâm đủ 30 ngày.



**Hình 12.** Cốt thép bị ăn mòn sau khi ngâm.

Giá trị thép hao mòn đối với từng cặp mẫu ở mỗi mức ứng suất duy trì được xác định theo giá trị trung bình và được lập thành bảng thống kê làm dữ liệu cho công tác phân tích.

Qua kết quả thí nghiệm ngâm các mẫu dầm trong 30 ngày với các cấp ứng suất khác nhau, dưới tác dụng của môi trường ăn mòn diễn tiến nhanh NaCl (3-5%) và kích hoạt ăn mòn điện cực, có thể thấy tốc độ ăn mòn cốt thép gia tăng khi ứng suất duy trì trong dầm tăng.

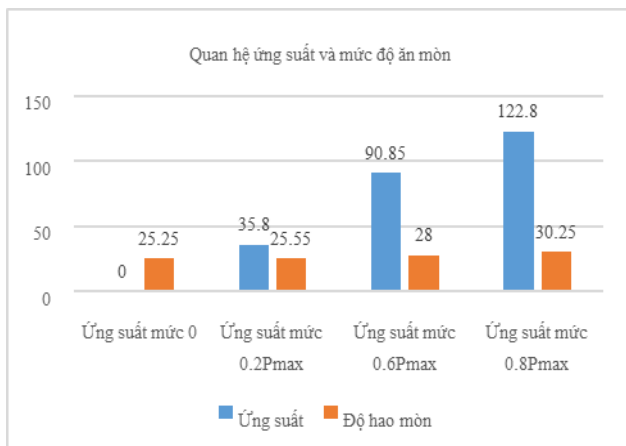
Khi ứng suất tăng đến mức  $0.8P_{max}$  mức độ ăn mòn cốt thép tăng rõ rệt. Điều này có thể thấy ảnh hưởng của việc gia tăng ứng suất duy trì trong dầm đã dẫn đến việc phát triển vết nứt qua đó thúc đẩy quá trình ăn mòn cốt thép.

**Bảng 6.** Độ hao mòn cốt thép các mẫu dầm (%).

Ký hiệu mẫu	Ứng suất duy trì TB (Mpa)	KL thép ban đầu (g)	KL thép sau ngâm (g)	KL thép hao mòn (g)	Thép hao mòn (%)	Giá trị hao mòn TB (%)
M1	0	562	420	142	25.3	25,25
M2		560	418.5	141.5	25.2	
M3	35,8	560	417	143	25.5	25,55
M4		555	413	142	25.6	
M5	90,85	556.5	402	154.5	27.8	28
M6		550.5	395.5	155	28.2	
M7	122,8	554.5	386.5	168	30.2	30,25
M8		552.5	385	167.5	30.3	

### 3.2. Quan hệ ứng suất duy trì và mức độ ăn mòn cốt thép

Dựa trên kết quả thống kê tại bảng 6 tiến hành vẽ biểu đồ quan hệ giữa ứng suất duy trì trong dầm và mức độ ăn mòn cốt thép. Trên cơ sở dữ liệu thu thập được từ kết quả thực nghiệm, tác giả chọn biểu đồ cột nhằm thể hiện từ tổng quát đến chi tiết mối quan hệ giữa ứng suất và mức độ ăn mòn cốt thép, đồng thời so sánh mức độ gia tăng tốc độ ăn mòn cốt thép giữa các cấp ứng suất trong dầm.



**Hình 13.** Biểu đồ quan hệ ứng suất duy trì và mức độ ăn mòn

### 4. Kết luận, kiến nghị

Qua kết quả thực nghiệm và phân tích đánh giá kết quả, nhóm nghiên cứu có một số kết luận và kiến nghị như sau:

- Cốt thép trong mẫu dầm có ứng suất uốn duy trì ăn mòn nhanh hơn so với mẫu dầm không có ứng suất;
- Khi gia tăng ứng suất duy trì; ta thấy từ mức 0 lên mức tương ứng  $0.2P_{max}$ , khối lượng ăn mòn có sự chênh lệch, tuy nhiên không đáng kể (chênh lệch 0.3%). Nhưng nếu ứng suất tiếp tục tăng, ta thấy mức độ ăn mòn bắt đầu tăng nhanh hơn, sự chênh lệch thể hiện rõ nét hơn: Cụ thể mức  $0.6P_{max}$  (2,75%), mức  $0.8P_{max}$  (5%);
- Qua đó có thể thấy mức độ ăn mòn cốt thép tỉ lệ thuận với ứng suất uốn duy trì trong dầm;
- Các thí nghiệm trong quá trình nghiên cứu phần nào đánh giá được mức độ ăn mòn cốt thép trong cấu kiện dầm BTCT, trường hợp dầm vừa chịu tải trọng tác dụng, vừa chịu tác động của môi trường ăn mòn trong suốt thời gian khai thác.
- Đề xuất nghiên cứu thêm quá trình hình thành và phát triển vết nứt trên dầm BTCT trong quá trình dầm làm việc với điều kiện bị ăn mòn cốt thép.

**Tài liệu tham khảo**

- [1] N. V. Trung, T. T. Truyền, H. X. Tú; “Thẩm và ăn mòn kết cấu bê tông cốt thép”. Hà Nội, Việt Nam: NXB Xây dựng; 2014.
- [2] M. Moawad, H. El-Karmoty, A. E. Zanaty; “Behavior of corroded bonded fully prestressed and conventional concrete beams”. HBRC Journal. 2016; 14 (2):137-149. DOI: 10.1016/j.hbrj.2016.02.002.
- [3] H. Hussain, D. Miteva; “Structural behavior of corroded reinforced concrete structures - A study based on detailed 3D FE analyses”. Gothenburg, Sweden: Master dissertation. Chalmers University of Technology; 2018.
- [4] N. C. Luyện; “Nghiên cứu ảnh hưởng của hiện tượng ăn mòn cốt thép đến kết cấu bê tông cốt thép bằng mô hình 3D-RBSM”. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường. 2018; 62:17-24.
- [5] H. T. Nguyen, C. C. Van , H. D. Nguyen, K. D. Dao; “Nghiên cứu sự suy giảm khả năng chịu uốn dầm bê tông cốt thép theo cấp độ ăn mòn”. Tạp chí Xây dựng. 2020; 624:128-132.
- [6] T. H. Nguyen, A. T. Le, D. D. Nguyen; “Bending strength diagnosis for corroded reinforced concrete beams with attendance of deterministic, random and fuzzy parameters”. Journal of SI & M. 2020; 5(3):183-189.
- [7] Tiêu chuẩn về Thiết kế cấp phối bê tông; ACI211.1; Viện Bê tông Mỹ (ACI); 1991.
- [8] T. D. Cao, K. V. Pham, H. Q. Le; “Báo cáo tổng kết dự án KT-KT Chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển”. Viện KHCN xây dựng; 2003.
- [9] V. N. Anh; “Ăn mòn cốt thép và ảnh hưởng của nó tới ứng xử của kết cấu bê tông cốt thép”; 2014. Available: <http://www.vncold.vn/Web/Content.aspx?distid=3686>. Ngày truy cập: 09/08/2021.
- [10] Y. Zhou, B. Gencturk, K. Willam, A. Attar; “Carbonation-induced and chloride-induced corrosion in reinforced concrete structures”. Journal of Materials in Civil Engineering. 2014; 27(9). Series 04014245 DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001209.
- [11] D. Coronelli, P. Gambarova., “Structural assessment of corroded reinforced concrete beams: Modeling guidelines”. Journal of Structural Engineering. 2004, 130(8):1214–1224. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:8(1214).
- [12] A. El-Hefnawy; “A New Statistical Approach for Predicting the Residual Capacity of Reinforced Concrete Beams Having Corroded Main Steel”. Ph.D. dissertation, Cairo University, Giza, Egypt, 2000.

**Ngày nhận bài: 15/10/2021**

**Ngày chuyên phản biện: 19/10/2021**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 08/11/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 15/11/2021**