



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**

# **KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**Hà Nội, 12 - 11 - 2020**

**ERSD 2020**



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**  
**KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN**  
**VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**TIỂU BAN**  
**VẬT LIỆU VÀ KẾT CẤU**

## **ĐƠN VỊ TỔ CHỨC**

**Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)**

## **CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC**

**Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam**

**Tập đoàn Dầu khí Việt Nam**

**Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam**

**Tổng hội Địa chất Việt Nam**

**Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam**

**Hội Khoa học Công nghệ Mô Việt Nam**

**Hội Công trình ngầm Việt Nam**

**Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam**

**Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam**

**Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam**

**Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam**

**Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam**

**Viện Địa chất và Địa vật lý biển**

**Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản**

**Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai**

**Trường Đại học Đông Á**

**Trường Đại học Thủ Dầu Một**

## **BAN TỔ CHỨC**

### **Trưởng ban**

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

### **Phó Trưởng ban**

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

PGS.TS Trần Tuấn Anh, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

PGS.TS Đoàn Văn Cảnh, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Trần Xuân Hòa, *Hội Khoa học và Công nghệ Mô Việt Nam*

TS Hoàng Văn Khoa, *Tổng hội Địa chất Việt Nam*

TS Đỗ Hồng Nguyên, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam*

TS Nguyễn Văn Nguyên, *Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*

TS Lê Văn Quyền, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam*

TS Trịnh Hải Sơn, *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Bộ Tài nguyên và Môi trường*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Tập đoàn Dầu khí quốc gia Việt Nam*

TS Đặng Kim Triết, *Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai*

TS Trần Văn Trung, *Trường Đại học Thủ Dầu Một*

TS Đỗ Trọng Tuấn, *Trường Đại học Đông Á*

TS Nguyễn Thanh Tùng, *Viện Dầu khí Việt Nam*

## **BAN KHOA HỌC**

### **Trưởng ban**

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó trưởng ban**

PGS.TS. Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Võ Trọng Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Trương Xuân Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Trường Đại học Công nghệ GTVT*

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phùng Mạnh Đắc, *Hội KHCN Mở Việt Nam*

PGS.TSKH Hà Minh Hòa, *Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Văn Hưng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Hoàng Văn Long, *Viện Dầu khí Việt Nam*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Quốc Cường, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Tuấn Dũng, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện HL KH&CN Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thế Truyền, *Viện NC Điện tử, Tin học, Tự động hóa*

TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN BIÊN TẬP**

### **Trưởng ban**

TS Nguyễn Viết Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Trần Tuấn Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Bùi Ngọc Quý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Phạm Trung Kiên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN THƯ KÝ**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Trọng Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Quang Duyệt, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Ngọc Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*



## LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERSĐ được Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG) và các đối tác tổ chức 2 năm một lần để các nhà chuyên môn trong và ngoài nước tụ hội, giới thiệu những kết quả và hướng nghiên cứu khoa học mới, thảo luận về các xu thế phát triển, thách thức và cơ hội mới đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất, Tài nguyên và các ngành khác có liên quan.

Tiếp nối thành công của Hội nghị lần thứ nhất năm 2018 (ERSĐ 2018) và được sự cho phép của Bộ Giáo dục và Đào tạo, Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững lần thứ hai (ERSĐ 2020) được Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG) đăng cai tổ chức với sự phối hợp đồng tổ chức của nhiều đơn vị quản lý, nghiên cứu khoa học, đào tạo và sản xuất có uy tín trong nước gồm Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai, Trường Đại học Đông Á, Trường Đại học Thủ Dầu Một, Tổng hội Địa chất Việt Nam, Hội Khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam, Hội Công trình ngầm Việt Nam, Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam, Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam, Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam, Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam, Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam, và với sự tham gia của nhiều tổ chức và cá nhân khác.

Các chủ đề chính của Hội nghị lần này tập trung vào thảo luận các kết quả khoa học công nghệ và hướng nghiên cứu mới của Khoa học Trái đất và Tài nguyên thiên nhiên, Khai thác và sử dụng tài nguyên địa chất, Môi trường và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan như Cơ - Điện, Công nghệ Thông tin, Xây dựng, ... cũng như việc ứng dụng chúng vào phát triển bền vững đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của khoa học công nghệ, kinh tế và xã hội.

Trong quá trình tổ chức Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự quan tâm của đông đảo các nhà khoa học, chuyên môn và quản lý trong và ngoài nước, trong đó có hơn 300 báo cáo khoa học liên quan tới các chủ đề của Hội nghị đã được gửi tới Ban biên tập. Trên cơ sở đó, 255 báo cáo có chất lượng đã được lựa chọn và xuất bản trong Tuyển tập tóm tắt các báo cáo và Tuyển tập các báo cáo toàn văn của Hội nghị. Báo cáo toàn văn được tập hợp thành 16 tập, mỗi tập ứng với một chủ đề khoa học sau:

1. *Địa chất khu vực*
2. *Địa chất công trình - Địa chất thủy văn*
3. *Tài nguyên địa chất và phát triển bền vững*
4. *Môi trường trong khai thác tài nguyên và phát triển bền vững*
5. *An toàn mỏ*
6. *Công nghệ và thiết bị khai thác*
7. *Thu hồi và chế biến khoáng sản*
8. *Công trình ngầm và Địa kỹ thuật*
9. *Vật liệu và kết cấu*
10. *Kỹ thuật dầu khí tích hợp*
11. *Trắc địa*
12. *Bản đồ, Viễn thám và Hệ thống thông tin địa lý*
13. *Khoa học Cơ bản trong lĩnh vực Khoa học Trái đất và Môi trường*
14. *Cơ khí, điện và Tự động hóa*
15. *Công nghệ thông tin*
16. *Phân tích dữ liệu và học máy*

Toàn bộ thông tin khoa học về hội nghị, trong đó có Tuyển tập các báo cáo toàn văn, được đưa lên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd2020.humg.edu.vn/>.

Ban tổ chức xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Mở - Địa chất, với tư cách là đơn vị đăng cai tổ chức Hội nghị, cùng các đơn vị đồng tổ chức đã hợp tác và góp phần quan trọng vào sự thành công của Hội nghị này. Cảm ơn các nhà khoa học đã đóng góp các công bố khoa học có giá trị cho Hội nghị. Ban tổ chức cũng đánh giá cao sự nỗ lực của Ban biên tập và các chuyên gia biên tập để nâng cao chất lượng của các báo cáo khoa học cũng như sự cố gắng lớn của Ban thư ký trong việc chuẩn bị và tổ chức hội nghị này.

Ban tổ chức mong muốn tiếp tục nhận được sự hợp tác chặt chẽ và góp ý chân thành của các đơn vị và cá nhân đối với việc chuẩn bị, tổ chức, biên tập, và xuất bản các báo cáo khoa học, nhằm nâng cao chất lượng của các hội nghị tiếp theo, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của các hoạt động nghiên cứu khoa học, chuyển giao công nghệ thuộc các lĩnh vực Khoa học Trái đất và Tài nguyên và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan.

**TRƯỞNG BAN TỔ CHỨC**

**GS.TS Trần Thanh Hải**

## Nghiên cứu xác định chiều sâu ăn mòn cốt thép khi bắt đầu xuất hiện nứt bê tông trong môi trường biển

Nguyễn Văn Mạnh<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mỏ - Địa chất

---

### TÓM TẮT

Khi kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển sẽ xuất hiện hiện tượng ăn mòn cốt thép do sự xâm nhập của ion clorua (ion  $\text{Cl}^-$ ) có trong nước biển. Khi ion  $\text{Cl}^-$  khuếch tán xuyên qua chiều dày lớp bê tông bảo vệ sẽ tích tụ trên bề mặt thanh cốt thép đến giá trị tới hạn sẽ bắt đầu ăn mòn cốt thép. Cốt thép trong bê tông bị ăn mòn sẽ tạo ra gỉ sắt làm tăng thể tích tạo ra áp lực lên bê tông, dẫn tới gây nứt bê tông và phá hủy kết cấu bê tông cốt thép. Bài báo trình bày phương pháp tính toán chiều sâu ăn mòn cốt thép tại thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên trong kết cấu trên cơ sở tính toán thể tích gỉ thép tạo ra do ăn mòn và áp lực gây nứt bê tông. Kết quả tính toán chiều sâu ăn mòn cốt thép là cơ sở để xác định tuổi thọ của cấu kiện bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển.

*Từ khóa:* Ăn mòn; ion  $\text{Cl}^-$ ; cốt thép; bê tông; môi trường biển.

---

### 1. Đặt vấn đề

Do đặc thù điều kiện khí hậu nóng ẩm ở nước ta và môi trường biển có hàm lượng ion  $\text{Cl}^-$  cao nên kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) thường bị ăn mòn dẫn tới làm nứt vỡ và phá hủy, không đảm bảo tuổi thọ của công trình. Kết quả khảo sát thực tế cho thấy các công trình BTCT sau một thời gian sử dụng thường có dấu hiệu gỉ sắt ở mức độ khác nhau không đảm bảo tuổi thọ công trình (Cao Duy Tiến và nnk, 2003; Nguyễn Nam Thắng, 2007).

Hiện tượng ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển là do sự xâm nhập của ion  $\text{Cl}^-$  có trong nước biển. Khi ion  $\text{Cl}^-$  xâm nhập xuyên qua chiều dày lớp bê tông bảo vệ sẽ tích tụ trên bề mặt thanh cốt thép đến giá trị tới hạn sẽ bắt đầu ăn mòn cốt thép. Cốt thép trong bê tông bị ăn mòn sẽ tạo ra gỉ sắt làm tăng thể tích, dẫn tới gây nứt bê tông và phá hủy kết cấu bê tông cốt thép.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán chiều sâu ăn mòn cốt thép tại thời điểm xuất hiện vết nứt đầu tiên trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường có ăn mòn clorua với giả thiết bỏ qua ảnh hưởng của ion  $\text{Cl}^-$  đến bê tông.

### 2. Cơ chế ăn mòn cốt thép do nước biển

Quá trình giảm độ bền của kết cấu bê tông cốt thép do hiện tượng ăn mòn cốt thép của ion  $\text{Cl}^-$  có thể được chia ra thành 3 giai đoạn (Suwito and Xi, 2008):

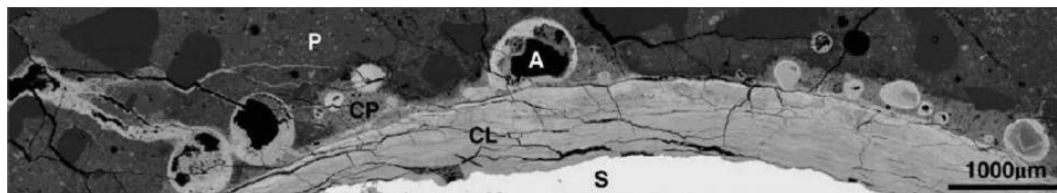
- Giai đoạn khuếch tán ion  $\text{Cl}^-$ : trong giai đoạn này, các ion  $\text{Cl}^-$  từ nước biển xâm nhập vào trong bê tông và lan tỏa đến bề mặt cốt thép trong bê tông làm phá vỡ màng bảo vệ trên bề mặt cốt thép. Khi nồng độ ion  $\text{Cl}^-$  đạt đến giá trị tới hạn, màng bảo vệ bị phá hủy và cốt thép bắt đầu bị ăn mòn. Giai đoạn khuếch tán ion  $\text{Cl}^-$  thường là khoảng thời gian dài nhất trong quá trình suy giảm khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép. Giai đoạn này có thể kéo dài trong nhiều năm, tùy thuộc vào chất lượng của bê tông và điều kiện môi trường xung quanh kết cấu. Các nghiên cứu thực nghiệm gần đây của tác giả Xi và các cộng sự cho thấy rằng phải mất từ 7 đến 20 năm để các ion  $\text{Cl}^-$  có thể đạt đến giá trị tới hạn và cốt thép bắt đầu bị ăn mòn. Khoảng thời gian này có sự biến động trong phạm vi lớn như vậy là do chất lượng bê tông khác nhau, điều kiện môi trường khác nhau ...

- Giai đoạn tích lũy gỉ sắt: gỉ sắt bắt đầu hình thành khi có sự ăn mòn cốt thép. Các lớp gỉ tích tụ trong vùng chuyển tiếp giữa cốt thép và bê tông, đồng thời gỉ sắt cũng phân bố vào trong các lỗ rỗng của bê tông. Do thể tích của gỉ sắt lớn hơn cốt thép ban đầu nhiều lần, cho nên nó sẽ chiếm thể tích của bê tông. Khi các lỗ rỗng trong vùng bê tông tiếp xúc với cốt thép được lấp đầy bởi gỉ sắt sẽ tạo ra áp lực ở vùng tiếp xúc này. Áp lực vùng tiếp xúc sẽ tạo ra ứng suất kéo trong bê tông. Khi giá trị ứng suất kéo này đạt đến cường

\* Tác giả liên hệ

Email: nguyenvanmanh@humg.edu.vn

độ chịu kéo của bê tông thì bắt đầu hình thành các vết nứt trong bê tông. Giai đoạn này kết thúc khi xuất hiện các vết nứt đầu tiên trong bê tông.

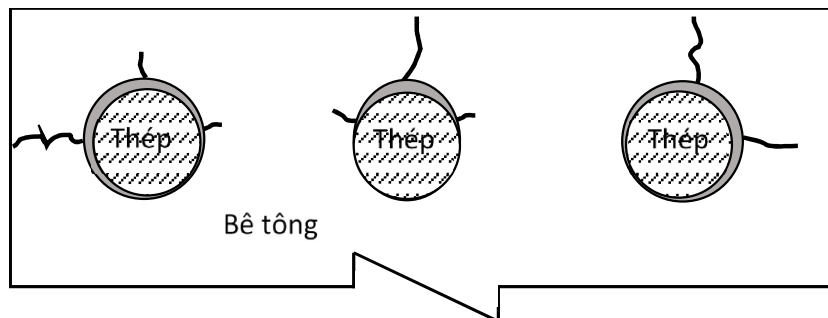


Hình 1. Sự xâm nhập của gỉ sắt trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông (Wong et. al., 2010)  
S: cốt thép; CL: lớp bị ăn mòn; CP: gỉ sắt lấp nhét vào lỗ rỗng; P: vùng bê tông; A: lỗ rỗng khí

- Giai đoạn phát triển nứt: khi bê tông bị nứt do sự trương nở thể tích của gỉ sắt sẽ làm giảm khả năng chịu tải của kết cấu. Quá trình ăn mòn vẫn tiếp tục diễn ra, khi khối lượng gỉ sắt tích tụ tăng dần lên sẽ làm cho vết nứt phát triển nhanh chóng và dẫn tới phá hủy nứt vỡ hoặc bong tách lớp bê tông làm cho kết cấu mất khả năng làm việc.

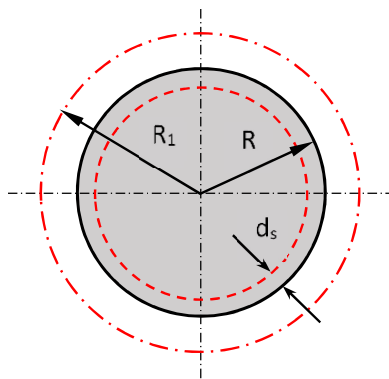
### 3. Xác định chiều sâu ăn mòn cốt thép khi bê tông bắt đầu bị nứt

Khi ăn mòn cốt thép bắt đầu xảy ra, giả thiết có đủ nguồn cung cấp clorua và oxy cho quá trình ăn mòn tiếp tục phát triển. Quá trình ăn mòn sẽ làm giảm lượng thép, nhưng sản phẩm ăn mòn sinh ra lại có thể tích lớn hơn lượng thép bị ăn mòn. Do đó nó tạo ra áp lực lên bê tông và khi đủ lớn sẽ gây nứt dẫn đến phá hủy kết cấu bê tông cốt thép như thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Vị trí cốt thép và dạng ăn mòn

Qua hình 2 có thể thấy, tùy theo vị trí của thanh cốt thép ở góc hay ở giữa mà cơ chế ăn mòn khác nhau. Đối với các thanh thép ở giữa do sự xâm nhập của ion  $Cl^-$  từ phía biên gần nhất đến nên sẽ bị ăn mòn gần đúng theo biên  $\frac{1}{2}$  đường e-líp. Đối với các thanh cốt thép ở góc (tức là có 2 biên có thể bị ăn mòn) có thể xem như bị ăn mòn đều trên toàn bộ chu vi của thanh thép. Như vậy, để nghiên cứu cơ chế ăn mòn cốt thép nên chia thành 2 trường hợp như trên tùy thuộc vào vị trí của thanh cốt thép để đảm bảo mức độ chính xác.



Hình 3. Bán kính trương nở của gỉ sắt  $R_1$  và chiều sâu ăn mòn  $d_s$

Trong nghiên cứu này sẽ tập trung vào trường hợp thanh cốt thép ở góc của kết cấu, tức là coi thanh thép bị ăn mòn đều trên toàn bộ chu vi của nó. Giả thiết thanh thép có mặt cắt ngang là hình tròn bán kính  $R$  như trên hình 3. Sau khi bị ăn mòn chiều sâu  $d_s$ , bán kính thanh thép giảm đi còn  $(R - d_s)$ . Tuy nhiên, sản phẩm

do ăn mòn tạo ra lại có thể tích lớn hơn so với thể tích cốt thép bị ăn mòn. Vì thế nó sẽ tạo ra áp lực phân bố đều trên bề mặt tiếp xúc giữa thanh thép và lớp vữa xi măng xung quanh.

Với giả thiết toàn bộ gỉ sắt sinh ra trong quá trình ăn mòn sẽ gây ra áp lực phân bố đều lên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông. Khi áp lực trên mặt tiếp xúc gây ra ứng suất tiếp trên mặt tiếp xúc có giá trị lớn hơn độ bền kéo của bê tông thì vết nứt bắt đầu xuất hiện trong bê tông.

Giả sử bán kính ban đầu của thanh thép chưa bị ăn mòn là  $R$ ; sau một khoảng thời gian cốt thép bị ăn mòn sâu vào một khoảng là  $d_s$ .

Thể tích cốt thép ban đầu tính cho một đơn vị dài:

$$V_o = \pi R^2 \quad (1)$$

Thể tích thép bị ăn mòn tính cho một đơn vị dài:

$$V_1 = \pi[R^2 - (R - d_s)^2] = \pi(2Rd_s - d_s^2) \quad (2)$$

Nhưng do sản phẩm ăn mòn có tính trương nở thể tích, nên phần thể tích do sản phẩm ăn mòn tạo ra sẽ là:

$$V_s = n \cdot V_1 = n \cdot \pi(2Rd_s - d_s^2) \quad (3)$$

Với  $n$  là hệ số nở thể tích của sản phẩm ăn mòn. Giá trị của  $n$  phụ thuộc vào sản phẩm tạo ra khi bị ăn mòn. Theo tác giả Liu và Weyers (1998), hệ số nở thể tích dao động trong khoảng từ 1,7 đến 6,15 như trong Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị trương nở thể tích của sắt khi bị ăn mòn (Liu và Weyers, 1998)

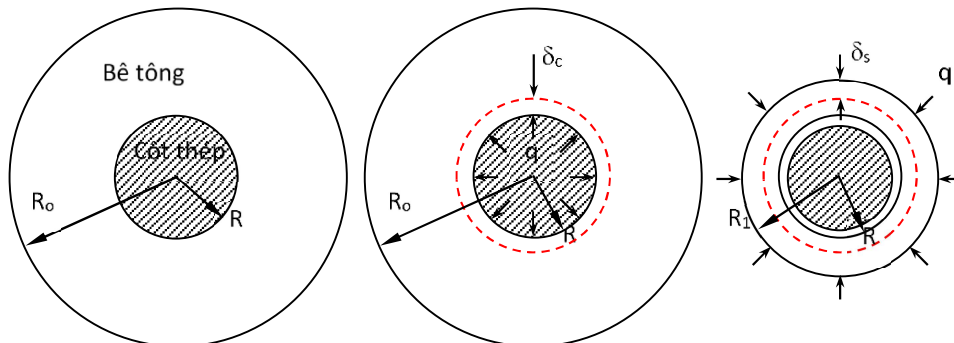
Sản phẩm do ăn mòn	Tỉ lệ trương nở thể tích (n)
FeO	1,70
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	2,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,10
Fe(OH) <sub>2</sub>	3,60
Fe(OH) <sub>3</sub>	4,00
Fe(OH) <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O	6,15

Giả thiết không có sự ngăn cản của lớp bê tông bảo vệ phía ngoài, khi đó phần thể tích gỉ sắt sẽ chiếm chỗ và tạo ra một thanh thép danh nghĩa có bán kính là:

$$R_1 = \sqrt{(R - d_s)^2 + n \cdot [R^2 - (R - d_s)^2]} = R\sqrt{(n - 1)\rho + 1} \quad (4)$$

Với  $\rho$  là tốc độ ăn mòn cốt thép.

Bài toán được quy về bài toán ống trụ thành dày chịu áp lực bên trong ( $q$ ). Trong đó chiều dày lớp bê tông phủ ( $a$ ) là chiều dày của thành ống; đường kính thanh cốt thép ban đầu ( $2R$ ) là đường kính trong của ống như trên hình 4 (với  $R_o = R + a$ ).



Hình 4. Các vùng biến dạng do áp lực phân bố đều của gỉ sắt

Dưới tác dụng của áp lực ( $q$ ), bê tông sẽ bị dãn ra một khoảng là  $\delta_c$ . Cần chú ý, do sản phẩm gỉ sắt có tính chất cơ học hoàn toàn khác so với hai vật liệu ban đầu là cốt thép và bê tông. Do đó phần vật liệu này cũng sẽ bị biến dạng co lại một khoảng là  $\delta_s$  (do sự cản trở của bê tông) như trên hình 4. Như vậy trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông chúng ta có:

$$R + \delta_c = R_1 - \delta_s \quad (5)$$

Theo lý thuyết đàn hồi, ứng suất trong ống trụ thành dày chịu áp lực bên trong  $q$  được tính như sau:



$$\sigma_r = \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (6)$$

$$\sigma_\theta = \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 + \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (7)$$

Với  $R_0 = R + a$ ;  $a$  là chiều dày lớp bê tông phủ cốt thép.  
Chuyển vị tiếp tuyến và pháp tuyến được tính như sau:

$$\varepsilon_r^e = \frac{1+\nu_c}{E_c} \cdot \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c - \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (8)$$

$$\varepsilon_\theta^e = \frac{1+\nu_c}{E_c} \cdot \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (9)$$

trong đó:

$E_c$  và  $\nu_c$  lần lượt là mô đun đàn hồi và hệ số Poát-xông của bê tông.

Vết nứt bắt đầu xuất hiện khi chuyển vị tiếp tuyến trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông đạt đến giá trị chuyển vị tiếp tuyến tới hạn của bê tông. Bởi vì có sự xuất hiện biến dạng dẻo trong bê tông trước khi đạt đến giá trị ứng suất kéo tới hạn, do đó mô đun đàn hồi  $E_c$  trong phương trình trên phải được thay thế bằng mô đun biến dạng ( $E'_c = 0,5 \cdot E_c$ ) tại thời điểm ứng suất kéo đạt giá trị tới hạn khi tính toán chuyển vị trên biên mặt tiếp xúc:

$$\varepsilon_r = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c - \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (10)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{r^2}\right) \quad (11)$$

Do chuyển vị là đạo hàm của biến dạng nên chúng ta có:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r} \quad (12)$$

$$\text{Suy ra: } u_r = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) \cdot r \quad (13)$$

Khi xảy ra nứt thì:

$$\varepsilon_\theta|_{r=R} = \varepsilon_t \quad (14)$$

Với  $\varepsilon_t = f_t/E'_c$  là giá trị biến dạng kéo tới hạn của bê tông;  $f_t$  là độ bền kéo của bê tông.

Giá trị áp lực trên mặt tiếp xúc giữa cốt thép và bê tông trước khi nứt được tính từ phương trình (11) như sau:

$$q = \frac{E'_c}{1+\nu_c} \cdot \frac{\varepsilon_t \cdot (R_0^2 - R^2)}{R^2} \cdot \frac{1}{1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}} \quad (15)$$

Biến dạng của bê tông trên mặt tiếp xúc ( $r = R$ ) theo phương trình (13) là:

$$\delta_c = u_r = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) \cdot R \quad (16)$$

Biến dạng của gi sắt do áp lực  $q$  gây ra (Zhao and Jin, 2016):

$$\delta_s = \frac{n(1-\nu_r^2)R}{E_r} \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}}{[(1+\nu_r)n-2]+2/\rho} q \quad (17)$$

trong đó:

$E_r$  và  $\nu_r$  là mô đun đàn hồi và hệ số Poát-xông của gi sắt.

Theo Zhao và Jin (2016) có:  $E_r = 100$  MPa,  $\nu_r = 0,25$ .

Thay các phương trình (4), (16) và (17) vào phương trình (5) được:

$$R + \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{q.R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) \cdot R = R\sqrt{(n-1)\rho+1} - \frac{n(1-\nu_r^2)R}{E_r} \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}}{[(1+\nu_r)n-2]+2/\rho} q \quad (18)$$

Từ phương trình cân bằng (18) tính được giá trị của  $q$  như sau:

$$q = \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}-1}{\frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right) + \frac{n(1-\nu_r^2)}{E_r} \frac{\sqrt{(n-1)\rho+1}}{[(1+\nu_r)n-2]+2/\rho}} \quad (19)$$

Đặt:

$$x = \sqrt{(n-1)\rho+1} \quad \text{suy ra: } \rho = \frac{x^2-1}{n-1} \quad (20)$$

$$A_1 = \frac{1+\nu_c}{E'_c} \cdot \frac{R^2}{R_0^2 - R^2} \left(1 - 2\nu_c + \frac{R_0^2}{R^2}\right)$$

$$A_2 = \frac{n(1-\nu_r^2)}{E_r}$$

$$A_3 = [(1+\nu_r)n-2]$$

Thay các giá trị trên vào phương trình (19) chúng ta được:

$$q = \frac{x-1}{A_1 + A_2 \cdot \frac{x}{A_3 + 2(n-1)/(x^2-1)}} \quad (21)$$

Biến đổi phương trình (20) được:

$$x^3(A_2q - A_3) + x^2(A_1A_3q + A_3) + x(A_3 - 2(n-1) - A_2q) + 2A_1q(n-1) + 2(n-1) - A_1A_3q - A_3 = 0 \quad (22)$$

Đặt:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= (A_1A_3q + A_3)/(A_2q - A_3) \\ \alpha_2 &= (A_3 - 2(n-1) - A_2q)/(A_2q - A_3) \\ \alpha_3 &= [2A_1q(n-1) + 2(n-1) - A_1A_3q - A_3]/(A_2q - A_3) \end{aligned}$$

Khi đó phương trình (21) sẽ trở thành:

$$x^3 + \alpha_1 \cdot x^2 + \alpha_2 \cdot x + \alpha_3 = 0 \quad (23)$$

Nghiệm của phương trình có dạng:

$$x = \frac{a}{3b} - b - \frac{\alpha_1}{3} \quad (24)$$

trong đó:

$$a = \alpha_2 - \frac{\alpha_1^2}{3} \quad (25)$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{c}{2} \pm \sqrt{\frac{c^2}{4} + \frac{a^3}{27}}} \quad (26)$$

$$c = \alpha_3 + \frac{2\alpha_1^3 - 9\alpha_1\alpha_2}{27} \quad (27)$$

Sau khi tìm được giá trị của x sẽ tính được tốc độ ăn mòn cốt thép  $\rho$  theo (20) và tính được chiều sâu ăn mòn cốt thép  $d_s$  như công thức sau:

$$d_s = R(1 - \sqrt{1 - \rho}) \quad (28)$$

#### 4. Kết luận

Quá trình ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển là một quá trình phức tạp bao gồm nhiều quá trình khác nhau: quá trình khuếch tán của ion  $Cl^-$  trong nước biển vào bê tông và tiếp cận tới cốt thép. Khi các ion  $Cl^-$  tiếp xúc với cốt thép sẽ xảy ra hiện tượng ăn mòn clorua. Quá trình ăn mòn cốt thép sinh ra gỉ sắt là các hợp chất có tính nở thể tích lớn nên gây ra áp lực tác động lên lớp bê tông phủ ngoài cốt thép. Sự tác động này sinh ra ứng suất kéo trong bê tông. Do cường độ chịu kéo của bê tông rất thấp so với cường độ chịu nén nên khi ứng suất kéo đạt tới giá trị cường độ kéo của bê tông sẽ gây nứt do kéo.

Với giả thiết toàn bộ thể tích của sản phẩm ăn mòn gây ra áp lực lên bê tông, bài báo đã sử dụng lời giải của bài toán ống thành dày chịu tải trọng phân bố đều bên trong để tính toán được chiều dày ăn mòn cốt thép  $d_s$  tại thời điểm gây nứt bê tông. Đây là cơ sở để tính toán được tuổi thọ làm việc của kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường có ăn mòn clorua.

#### Tài liệu tham khảo

- Cao Duy Tiến và nnk, 2003. *Báo cáo tổng kết dự án Chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển*. Viện Khoa học công nghệ Xây dựng.
- Nguyễn Nam Thắng, 2007. *Nghiên cứu ứng dụng canxi nitrit làm phụ gia ức chế ăn mòn cốt thép cho bê tông cốt thép trong điều kiện Việt Nam*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học công nghệ Xây dựng.
- C. Suwito and Y. Xi, 2008. The effect of chloride-induced steel corrosion on service life of reinforced concrete structures. *Structure and Infrastructure Engineering*. Vol. 4, No. 3, pp. 177-192.
- H.S. Wong et. al., 2010. On the penetration of corrosion products from reinforcing steel into concrete due to chloride-induced corrosion. *Corrosion Science*. Vol. 52, pp. 2469-2480.
- T.K. Kim, S.J. Choi, J.H. Choi and J.H. Kim, 2019. Prediction of chloride penetration depth rate and diffusion coefficient rate of concrete from curing condition variations due to climate change effect. *International journal of Concrete Structures and Materials*. Vol. 13, Article number 15.
- Y. Xi, N. Abu-Hejleh, A. Asiz and A. Suwito, 2004. Performance evaluation of various corrosion protection systems of bridges in Colorado, Colorado Department of Transportation. *Report No. CDOT-DTD-R-2004-1*.
- Y. Liu and R.E. Weyers, 1998. Modeling the time-to-corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures. *ACI Materials Journal*. Vol. 95, pp.675-680.
- Y. Zhao and W. Jin, 2016. *Steel corrosion - induced concrete cracking*. Published by Elsevier.

## ABSTRACT

### Study of the determining of the steel bars corrosion depth when the concrete cracks appear under marine environment

Nguyen Van Manh<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Hanoi University of Mining and Geology*

Chloride - induced corrosion is one of the most important deterioration mechanisms in reinforced concrete structure under marine environment. Chloride ions from seawater penetrate into concrete towards the surface of rebar. The concentration of chloride ions at the depth of rebar corrosion starts. The rust deposits in the interface transition zone between the rebar and the concrete. Since the rust normally has a volume greater than that of original steel and generate interface pressure. The interface pressure will also generate high tensile stress in concrete reaches the capacity of the tensile strength of concrete, the crack starts to form. This paper presents the method of calculating the steel bars corrosion depth at the time of the crack starts to form in the reinforced concrete structures based on the volume of rust and interface pressure. The result can then be used to estimate the service life of reinforced concrete structures.

*Keywords:* Corrosion; chloride ions; rebars; concrete; marine environment.

# KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG



ISBN 978-604762277-1



9 786047 622771