

Nghiên cứu nguyên nhân nứt kết cấu bê tông và giải pháp khắc phục

Vũ Quốc Vương^{1*}

¹ Trường Đại học Thủy lợi

TỪ KHOẢ

Phân loại nứt
Xử lý vết nứt
Vật liệu epoxy
Polyurethane
Xi măng polimer
Bơm áp lực cao
Sợi gia cường
Bê tông tự hàn gắn

TÓM TẮT

Vết nứt bê tông là hiện tượng phổ biến và gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến độ bền, khả năng chịu lực và độ kín nước của công trình. Bài viết này tổng hợp các nguyên nhân chủ yếu gây nứt, phân loại vết nứt, và trình bày các công nghệ, vật liệu tiên tiến đang được sử dụng trong việc xử lý vết nứt. Các giải pháp bao gồm vật liệu trám bít gốc epoxy, polyurethane, xi măng polymer, công nghệ bơm áp lực cao, sợi gia cường, và đặc biệt là bê tông tự hàn gắn. Bài viết cũng đề cập các tiêu chuẩn áp dụng và xu hướng phát triển công nghệ xử lý vết nứt trong xây dựng hiện đại.

KEYWORDS

Crack classification
Crack treatment
Epoxy materials
Polyurethane
Polymer cement
High pressure pumping
Reinforcing fibers
Self-healing concrete

ABSTRACT

Concrete cracks are a common phenomenon and seriously affect the durability, load-bearing capacity and watertightness of the structure. This article summarizes the main causes of cracks, classifies cracks, and presents advanced technologies and materials currently used in crack treatment. Solutions include epoxy-based sealants, polyurethane, polymer cement, high-pressure injection technology, reinforcing fibers, and especially self-healing concrete. The article also mentions applicable standards and development trends in crack treatment technology in modern construction.

1. Đặt vấn đề

Nứt trong kết cấu bê tông là hiện tượng khá phức tạp và có thể xảy ra do nhiều nguyên nhân khác nhau. Nguyên nhân nứt kết cấu bê tông thường gặp: Do bê tông co ngót, nứt do lún móng công trình, nứt do khuyết tật bên trong bê tông, nứt do thay đổi tải trọng của công trình và khả năng chịu lực, nứt do khí hậu thay đổi, nứt do chất lượng bê tông, và nứt do cốt thép...

Trong quá trình sử dụng và khai thác công trình bê tông, các vết nứt nhỏ đến lớn đều có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến kết cấu và khả năng làm việc của công trình. Việc phát hiện sớm và xử lý đúng kỹ thuật các vết nứt sẽ giúp kéo dài tuổi thọ công trình, tiết kiệm chi phí sửa chữa và bảo trì.

2. Nguyên nhân gây nứt trong bê tông

Người ta đã thống kê các nguyên nhân gây ra vết nứt trong bê tông, có thể tự thân thành phần của bê tông, phương pháp thi công, dưỡng hộ cũng như quá trình khai thác vận hành công trình, quy trình bảo dưỡng, môi trường khí hậu của công trình xây dựng.

Các công trình khác nhau cũng có các loại vết nứt trong các cấu kiện, bộ phận khác nhau. Công trình nhà cửa xây dựng dân dụng và công nghiệp thì nứt có thể xuất hiện ở kết cấu mái, khung dầm cột, móng. Công trình giao thông cầu hầm thì nứt ở dầm, mố cầu, kết cấu

tường chắn,... Công trình thủy lợi thì nứt xuất hiện ở nhiều hạng mục công trình chắn nước, chứa nước, dẫn nước, cống cầu, trạm bơm...

Mỗi loại công trình có đặc thù riêng và nguyên nhân gây nứt cũng rất đa dạng, nhưng có thể kể đến các nguyên nhân chủ yếu sau đây.

• Nứt do co ngót (*Shrinkage Cracks*)

Bê tông với các thành phần khác nhau gồm xi măng, cốt liệu cũng như phụ gia đều có hiện tượng co ngót. Co ngót nhựa xảy ra trong vài giờ đầu sau khi đổ bê tông, do bốc hơi nước bề mặt nhanh (đặc biệt khi trời nắng, gió). Co ngót khô xuất hiện sau khi bê tông đã đông cứng, khi mất độ ẩm dần dần trong môi trường khô, gây co rút thể tích. Quy trình bảo dưỡng hợp lý có thể tránh và giảm khả năng gây nứt trong bê tông do co ngót.

• Nứt do nhiệt (*Thermal Cracks*)

Quá trình thủy hóa của xi măng luôn tỏa ra nhiệt lượng nhất định. Trong khối bê tông lớn, sự chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt sẽ gây ứng suất nhiệt, dẫn đến nứt, đặc biệt nghiêm trọng trong bê tông khối lớn (móng máy, đập...).

Nhiệt có thể do phản ứng hydrat hóa xi măng tạo nhiệt, hoặc do sự thay đổi nhiệt độ môi trường. Đã có các giải pháp làm mát khối bê tông để tránh ứng suất nhiệt gây nứt như đặt các ống làm mát trong bê tông khối lớn hoặc sử dụng xi măng ít tỏa nhiệt.

• Nứt do tải trọng (*Load-Induced Cracks*)

Trong quá trình khai thác vận hành, kết cấu bê tông có thể chịu tải trọng quá tải. Khi nội lực vượt quá khả năng chịu lực của bê tông thì sẽ xuất hiện các vết nứt. Vết nứt cũng có thể do bê tông chịu tải

*Liên hệ tác giả: vuongvxd@tlu.edu.vn

Nhận ngày 14/04/2025, sửa xong ngày 24/04/2025, chấp nhận đăng ngày 25/04/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.1025>

trong lặp lại và gây ra hiện tượng mỏi. Tải trọng lặp đi lặp lại trong thời gian dài như các công trình cầu đường, sàn máy công nghiệp. Do hiện tượng lún nền không đều, gây xoắn, kéo, nén lệch trong kết cấu móng công trình và kết cấu chịu lực.

- *Nứt do tác động hóa học (Chemical Cracks)*

Phản ứng kiềm – silica (ASR) trong bê tông làm bê tông trương nở, xuất hiện vết nứt mạng. Do Sulphate attack, gây nứt, phồng rộp, phá hủy cấu trúc do muối trong đất/ngầm tiếp xúc với bề mặt bê tông. Quá trình ăn mòn cốt thép trong các môi trường xâm thực cũng gây nứt dọc dầm, cột do thép giãn nở khi bị oxy hóa.

- *Nứt do sai sót thi công*

Quá trình thi công cũng có thể là nguyên nhân gây nứt trong bê tông. Đồ bê tông sai kỹ thuật như đầm không đều, thiếu bảo dưỡng, hoặc thi công trong thời tiết khắc nghiệt mà không có các biện pháp khắc phục. Không có các giải pháp khắc phục khe lạnh tiếp nối giữa các lớp bê tông của các khoảng đổ của khối bê tông lớn. Sắp đặt bố trí cốt thép sai vị trí hoặc không đủ lớp bảo vệ bê tông cũng có thể gây nứt bề mặt kết cấu bê tông.

- *Nứt do yếu tố môi trường*

Môi trường xây dựng cũng góp phần vào nguyên nhân gây nứt trong kết cấu bê tông. Biến động nhiệt độ lớn giữa ngày và đêm, gây co ngót và giãn nở, quá trình này gây nứt bề mặt bê tông. Thời tiết khí hậu ẩm - khô xen kẽ (mưa - nắng) cũng là nguyên nhân gây nứt. Ngoài ra đất nền với rễ cây to chèn ép kết cấu ngầm (bể nước...) cũng gây nứt và rất khó xử lý, tốn kém thời gian tiền bạc. Các yếu tố thiên tai như động đất, rung chấn giao thông... cũng gây nứt cho kết cấu bê tông.

- *Nứt do lún không đều*

Nguyên nhân gây nứt cuối cùng nhưng lại là yếu tố thường xuyên xảy ra đối với các công trình xây dựng trên mặt đất. Điều kiện địa chất không đồng đều, nền móng xử lý không đảm bảo dẫn đến kết cấu móng công trình đặt trên nền không đồng nhất bị lún không đều cũng gây ra nứt các kết cấu chịu lực như móng dầm cột, ảnh hưởng đến khả năng chịu lực và tuổi thọ công trình bê tông. Nguyên nhân này xuất phát từ khâu khảo sát, thiết kế, thi công... nên gây hậu quả rất nghiêm trọng và khó xử lý.

3. Phân loại vết nứt trong bê tông

Trên cơ sở các nguyên nhân gây nứt cho kết cấu bê tông, người ta phân loại các vết nứt theo các tiêu chí sau: do co ngót nhựa, co ngót khô, nứt nhiệt, tải trọng tác động, sai sót thi công, hoặc phản ứng kiềm-silica. Vết nứt thường được phân loại theo:

- *Theo nguyên nhân*

Bao gồm nứt do co ngót, nứt do nhiệt, nứt do tải trọng, nứt do hóa học, nứt do thi công, nứt do môi trường bên ngoài.

- *Theo thời điểm xuất hiện*

Gồm khe nứt sớm: Xảy ra trong vài giờ đến vài ngày đầu (nứt co ngót nhựa, nứt nhiệt sớm); Nứt muộn: Sau vài tuần, vài tháng hoặc nhiều năm (nứt hóa học, ăn mòn, lún nền).

- *Theo hình thái vết nứt*

Phân chia thành: khe nứt dọc: Theo chiều dài của kết cấu (thường do ăn mòn cốt thép), khe nứt ngang: thường do tải trọng hoặc môi, khe nứt hình mạng: Do phản ứng hóa học (ASR), hoặc co ngót; Nứt chân chim: Nứt nhỏ, không sâu, thường do bề mặt khô nhanh và nứt xiên: do tổ hợp nội lực (kéo - cắt), thường do lún không đều.

- *Theo mức độ ảnh hưởng*

Tùy theo mức độ ảnh hưởng của khe nứt đến kết cấu công trình mà vết nứt được phân thành: Nứt kết cấu: Làm giảm khả năng chịu lực; Nứt không kết cấu: Ảnh hưởng đến thẩm mỹ hoặc tính chống thấm; Nứt hoạt động (di động): Vết nứt có thể mở rộng thêm theo thời gian và Nứt không hoạt động: Vết nứt đã ổn định.

- *Theo độ rộng*

Vết nứt rất nhỏ: < 0,1 mm (khó nhìn thấy bằng mắt thường); nứt nhỏ: 0,1–0,2 mm (ảnh hưởng đến khả năng chống thấm); nứt trung bình: 0,2 – 1,0 mm (ảnh hưởng chịu lực, thấm nước) và vết nứt lớn: > 1.0 mm (ảnh hưởng nghiêm trọng đến sự làm việc của kết cấu, cần được xử lý).

4. Giải pháp, công nghệ và vật liệu mới xử lý vết nứt

Việc xử lý vết nứt trong bê tông đóng vai trò quan trọng nhằm bảo đảm độ bền, tính thẩm mỹ và khả năng chống thấm của công trình. Bài viết trình bày chi tiết các công nghệ xử lý vết nứt hiện nay, các bước thực hiện và giới thiệu các vật liệu mới tiên tiến như keo epoxy, polyurethane, vật liệu tự hàn gắn (self-healing materials), cùng các vật liệu nano ứng dụng trong thực tiễn.

Công nghệ xử lý các vết nứt phụ thuộc vào đặc thù công trình như xây dựng dân dụng, công trình giao thông, công trình ngầm hay công trình thủy lợi. Các giải pháp, phương pháp thi công và lựa chọn vật liệu... cũng cần được nghiên cứu chi tiết, áp dụng phù hợp.

Công nghệ, các bước xử lý vết nứt bê tông

Các bước xử lý vết nứt trong bê tông cho các công trình xây dựng gồm các bước cơ bản sau:

- Khảo sát, đánh giá vết nứt: Đo chiều rộng, chiều sâu, chiều dài vết nứt; Xác định nguyên nhân hình thành (nứt động hay tĩnh, nứt kết cấu hay không kết cấu); Kiểm tra bằng mắt, dụng cụ đo chuyên dụng hoặc thiết bị NDT (siêu âm, xạ gamma, chụp ảnh nhiệt...).

- Làm sạch và chuẩn bị bề mặt: Dùng bàn chải thép, máy thổi khí, hút bụi hoặc dung môi để làm sạch vết nứt.

- Chọn vật liệu phù hợp:

Tùy theo tính chất của vết nứt trong bê tông ở công trình cụ thể và tính chất của vật liệu dùng cho xử lý mà vật liệu được lựa chọn.

Keo epoxy: được dùng cho nứt kết cấu, cần phục hồi khả năng chịu lực;

Polyurethane (PU): được dùng cho nứt chống thấm, ngăn nước rò rỉ;

Vữa trám gốc xi măng: dùng cho vết nứt không kết cấu;

Vật liệu tự hàn gắn: dùng cho bê tông mới ứng dụng công nghệ tự phục hồi.

- Thi công xử lý:

Các phương pháp thi công cũng phụ thuộc vào công nghệ và vật liệu được lựa chọn:

- Phun áp lực thấp hoặc cao (injection) keo vào vết nứt.
- Trám bít bề mặt bằng vữa hoặc vật liệu đặc biệt.
- Gắn ống kim tiêm (nipple), bơm keo bằng máy chuyên dụng.
- Đóng rãnh nếu vết nứt rộng và sâu.

- Kiểm tra sau xử lý:

Để đảm bảo chất lượng và hiệu quả của xử lý vết nứt, công đoạn kiểm tra cũng rất quan trọng, bao gồm:

- Thử kín nước, thử tải nhẹ.
- Theo dõi lại vết nứt sau 7–28 ngày.

Tùy loại kết cấu, công nghệ áp dụng mà có các thiết bị hỗ trợ phù hợp, đảm bảo hiệu quả của phương pháp áp dụng. Công nghệ thiết bị hiện đại đi kèm các vật liệu tiên tiến ngày càng giúp cho việc xử lý các vết nứt trong bê tông hiệu quả, nhanh chóng và tiết kiệm hơn.

Vật liệu tiên tiến xử lý vết nứt bê tông

- Keo Epoxy (2 thành phần)

Bơm keo epoxy áp lực cao, keo epoxy có độ nhớt thấp được bơm vào vết nứt dưới áp lực để phục hồi khả năng chịu lực. Phù hợp với vết nứt kết cấu nhỏ đến vừa.

- Ưu điểm: Cường độ cao, độ kết dính lớn, dùng cho vết nứt nhỏ, chịu lực.

- Ứng dụng: Dầm, sàn, cột chịu lực, cầu bê tông.



Keo Epoxy



Polyurethane (PU)

- Polyurethane (PU)

PU phản ứng với nước tạo bọt kín nước, dùng cho vết nứt ngấm nước, trong tầng hầm, bể nước, mương kỹ thuật.

- Ưu điểm: Thẩm sâu, trương nở khi gặp nước, thích hợp chống thấm.
- Ứng dụng: Tường tầng hầm, hồ thang máy, mạch ngừng, khe co giãn.

- Vữa gốc xi măng cải tiến

Xi măng polymer dùng trám bít bề mặt các vết nứt không kết cấu, độ rộng lớn. Có độ bám dính tốt, dễ thi công ngoài trời hoặc nơi khô ráo.

- Có thêm polymer và phụ gia chống thấm.
- Dễ thi công, kinh tế.
- Dùng cho vết nứt không hoạt động hoặc bề mặt.



Xi măng Polimer



Vật liệu tự hàn gắn

- Vật liệu tự hàn gắn (Self-healing materials)

Bê tông hoặc vữa có khả năng tự sinh tinh thể hoặc kích hoạt vi khuẩn để lấp kín vết nứt khi tiếp xúc nước. Phù hợp công trình khó tiếp cận bảo trì.

- Sử dụng vi nang chứa chất hàn gắn (microcapsules) hoặc vi sinh vật tạo canxi cacbonat.

- Khi vết nứt hình thành, vi nang vỡ ra, phóng thích chất trám hoặc vi sinh vật hoạt động.

- Hiệu quả cho bê tông mới, trong cấu kiện ngầm hoặc khó tiếp cận.

- Vật liệu nano và composite mới

Gia cố vùng nứt lớn bằng dải sợi carbon (CFRP), sợi thủy tinh, giúp phục hồi khả năng chịu lực và hạn chế mở rộng vết nứt.

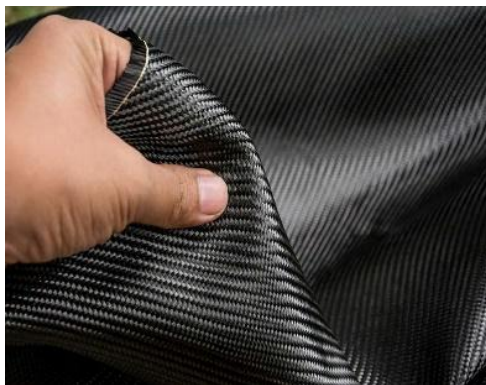
- Nano silica, nano alumina tăng khả năng bịt kín lỗ rỗng.

- Composite sợi carbon (CFRP) hoặc thủy tinh (GFRP) gia cường vết nứt.

- Dùng để phục hồi kết cấu cầu, nhà cao tầng, kết cấu quan trọng.



Vật liệu nano



Sợi carbon (CFRP)

Một số sản phẩm của Công ty cổ phần VMAT phục vụ cho công việc xử lý nứt trong công trình xây dựng, giao thông đã được sử dụng trong thời gian gần đây, mang lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật. Các chỉ tiêu kỹ thuật của vật liệu có thể tham khảo trên trang web của VMAT (www.vmat.vn).



Vữa tự chảy Vmat Grout



Phụ gia Vmat Latex HC



Bột tăng cường Vmat Harden Top

Một số tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan

- TCVN 9391:2012 – Hướng dẫn đánh giá và sửa chữa kết cấu bê tông bị nứt
- ACI 224R-01 – Control of Cracking in Concrete Structures
- EN 1504 – Products and systems for the protection and repair of concrete structures

5. Xu hướng phát triển

Với sự phát triển của công nghệ và vật liệu mới, các nghiên cứu và ứng dụng công nghệ xử lý vết nứt trong bê tông đang tập trung vào các vật liệu tự phục hồi thông minh, vật liệu sinh học, cảm biến theo dõi vết nứt và giải pháp không phá hủy (NDT) kết hợp AI để đánh giá vết nứt từ xa sẽ góp phần mang lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật cho ngành xây dựng trong các khâu thiết kế thi công cũng như xử lý các vết nứt trong bê tông.

6. Kết luận

Xử lý vết nứt trong bê tông là công việc kỹ thuật phức tạp, cần xác định đúng nguyên nhân, loại vết nứt và chọn giải pháp tương ứng.

Việc cập nhật các công nghệ và vật liệu mới sẽ giúp nâng cao độ bền và chất lượng công trình xây dựng trong điều kiện biến đổi khí hậu và yêu cầu vận hành cao.

Việc xử lý vết nứt bê tông cần được thực hiện theo quy trình kỹ thuật chặt chẽ, lựa chọn đúng vật liệu phù hợp với nguyên nhân và mục đích. Sự xuất hiện của các vật liệu tiên tiến như epoxy, PU, self-healing, nano... đã mở ra hướng đi hiệu quả và bền vững cho công tác sửa chữa, gia cường công trình.

Công nghệ và vật liệu mới sẽ tạo điều kiện cho việc xử lý các vấn đề xuất hiện trong các công trình bê tông ngày càng hiệu quả về kỹ thuật và kinh tế.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete. Pearson Education.
- [2]. ACI 224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures.
- [3]. EN 1504: Protection and Repair of Concrete Structures.
- [4]. Nguyễn Văn Tuấn (2019). Công nghệ sửa chữa kết cấu bê tông. NXB Xây Dựng.
- [5]. TCVN 9391:2012 – Hướng dẫn sửa chữa bê tông bị nứt.
- [6]. Tạp chí Xây dựng (2022). Ứng dụng vật liệu mới trong xử lý nứt bê tông tại Việt Nam.