

Tổng quan về sự phá hủy bê tông do nhiệt độ cao

■ TS. NGÔ THỊ THANH HƯƠNG; TS. TRẦN VĂN QUÂN

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Bê tông xi măng là vật liệu được sử dụng phổ biến nhất hiện nay để xây dựng các công trình cao tầng như nhà chung cư, khu thương mại, văn phòng - nơi có nhiều nguy cơ cháy nổ cao, dẫn đến bê tông phải chịu tác động của nhiệt độ cao sinh ra từ các đám cháy. Bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao có những trạng thái ứng xử rất phức tạp, dẫn đến sự phá hủy các cấu kiện bê tông khi nhiệt độ đám cháy tăng cao. Việc tái sử dụng các cấu kiện bê tông này đòi hỏi sự hiểu biết về cơ chế phá hủy của các cấu kiện dưới tác động của nhiệt độ cao. Bài báo sẽ đưa ra tổng quan của các nghiên cứu trên thế giới về trạng thái ứng xử của bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao thông qua lý thuyết truyền nhiệt và truyền chất, biến dạng của bê tông và cơ chế phá hủy kết cấu bê tông, từ đó đưa ra những nghiên cứu ban đầu về bê tông chịu tác động của nhiệt độ cao sinh ra từ đám cháy nổ tại Việt Nam.

TỪ KHÓA: Bê tông, nhiệt độ cao, cháy nổ, trạng thái ứng xử, sự phá hủy.

ABSTRACT: Concrete is actually the most commonly used material to build high buildings such as apartment buildings and commercial offices where there is a high risk of fire and explosion, leading to concrete being affected of high temperatures generated from fires. Concrete under the influence of high temperature has very complex behavior, leading to the destruction of concrete structures when the fire temperature increases. The reuse of these concrete structures requires an understanding of the degradation mechanism of these structures under the impact of high temperatures. The paper will give an overview of the literature studies on concrete behavior under the impact of high temperature through the theory of heat transfer and mass transfer, deformation of concrete and degradation mechanism concrete structure. Since then, the initial research on concrete is affected by high temperatures generated from fire and explosion in Vietnam.

KEYWORDS: Concrete, high temperature, fire explosion, behavior, degradation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Việt Nam hiện nay ngày càng nhiều nhà cao tầng được xây dựng bằng kết cấu bê tông cốt thép. Đã có rất nhiều vụ cháy lớn xảy ra gây thiệt hại lớn về người và tài sản. Các vụ cháy tương đối lớn như chung cư Carina ở TP. Hồ Chí Minh, nhiệt độ của các đám cháy tạo ra là rất lớn, khoảng 600°C. Nhiệt độ có thể cao hơn phụ thuộc vào vật liệu bị cháy. Nếu có gỗ, nhiệt độ đo trong không khí có thể lên tới 1.027°C [1]. Các kết cấu bê tông như dầm, cột và sàn chịu tác động của các nhiệt độ cao này trong suốt thời gian đám cháy. Cầu hỏi được đặt ra liệu sau khi đám cháy được dập tắt, các cấu kiện trên có đảm bảo điều kiện an toàn để sử dụng và nếu không đủ điều kiện sử dụng thì cần phải sửa chữa như thế nào. Để trả lời được hai câu hỏi trên, cần hiểu rõ về trạng thái ứng xử cũng như cơ chế phá hủy của cấu kiện bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về trạng thái ứng xử, cũng như quá trình phá hủy của bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao từ các đám cháy [2-11]. Nghiên cứu tại Việt Nam về trạng thái ứng xử của bê tông dưới tác động của nhiệt độ khi đổ bê tông khối lớn cho việc xây dựng đập thủy điện hay hồ chứa trong ngành thủy lợi [12-15], hay khối lớn phục vụ ngành GTVT [16]. Tuy nhiên, nhiệt độ lớn nhất có thể sinh ra trong bê tông khối lớn vào khoảng 70°C [17], nhiệt độ này là rất nhỏ so với nhiệt độ của một đám cháy 1.027°C. Do vậy, bài báo sẽ đưa ra những tổng quan nghiên cứu của các nghiên cứu trên thế giới về trạng thái ứng xử cũng như quá trình phá hủy của bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao. Tổng quan này là bước đầu cơ bản cho các nghiên cứu chuyên sâu hơn về kết cấu bê tông chịu lửa cũng như nhiệt độ cao trong xây dựng công trình tại Việt Nam.

2. BIẾN DẠNG

2.1. Biến dạng do nhiệt độ

Giống như hầu hết các vật liệu, bê tông trải qua biến dạng nhiệt khi chịu sự thay đổi nhiệt độ. Biến dạng nhiệt của bê tông là sự tổng hợp của các biến dạng của ma trận xi măng của các khoáng thủy hóa và cốt liệu trong quá trình gia nhiệt. Các vật liệu composite tổng hợp, ví dụ như bê tông, phụ thuộc mạnh vào các thuộc tính của các thành phần này, đặc biệt là bản chất và số lượng các thành phần.

2.1.1. Biến dạng của hồ xi măng do nhiệt độ

Hồ xi măng cứng bắt đầu giãn nở trong thời gian đầu từ nhiệt độ khoảng 150°C [11] (độ giãn nở tối đa

quan sát được là 0,2%). Sau đó, hồ xi măng chịu một sự co ngót lớn từ việc giảm sức căng mao dẫn của nước bị hấp phụ trong hồ xi măng trong quá trình gia nhiệt và xuất hiện áp suất mao dẫn do hồ xi măng bị mất nước. Các thông số sẽ ảnh hưởng đến sự phát triển của hệ số giãn nở của hồ xi măng:

- Nhiệt độ, thay đổi dấu của hệ số giãn nở nhiệt, phụ thuộc vào tốc độ gia nhiệt. Khi tốc độ tăng nhiệt độ dưới 10°C/phút, nhiệt độ này vào khoảng 150 - 200°C. Tăng tốc độ làm nóng, nhiệt độ thay đổi cũng tăng. Đối với hồ xi măng được làm nóng đến 35°C/phút, nhiệt độ thay đổi là khoảng 300°C [10].

- Sử dụng một phần muối silic thay thế xi măng cũng làm tăng sự co ngót của hồ xi măng.

- Hơn nữa, hệ số giãn nở bị ảnh hưởng rất nhiều bởi độ ẩm tương đối ban đầu của hồ xi măng. Tuổi của hồ xi măng cũng ảnh hưởng đến giá trị của hệ số giãn nở nhiệt của chúng. Cả hai hiệu ứng đều được trình bày trong Bảng 2.1.

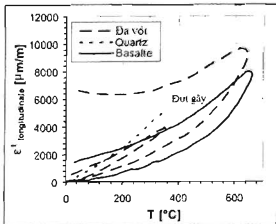
Bảng 2.1. Thay đổi của hệ số giãn nở nhiệt của hồ xi măng theo thời gian ở nhiệt độ môi trường với độ ẩm tương đối [9]

Tuổi của hồ xi măng	6 tháng			16 năm
	Độ ẩm tương đối [%]	25	70	100
Hệ số giãn nở nhiệt α [°C ⁻¹]	11×10^{-6}	21×10^{-6}	9×10^{-6}	15×10^{-6}

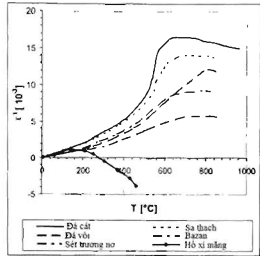
Do đó, biến dạng quan sát được của hồ xi măng khi nhiệt độ tăng lên là kết quả của sự giãn nở của cốt liệu (được kiểm soát bởi hệ số giãn nở nhiệt) và sự co lại của hồ xi măng do sấy khô liên tục.

2.1.2. Biến dạng của cốt liệu do nhiệt độ

Sự giãn nở nhiệt của bê tông chủ yếu liên quan đến sự giãn nở của cốt liệu (chiếm khoảng 70% khối lượng bê tông). Do đó, có thể hạn chế sự biến dạng của bê tông ở nhiệt độ cao bằng cách thay đổi tính chất của cốt liệu, các hệ số giãn nở nhiệt của cốt liệu phụ thuộc vào hàm lượng nước trong đá, nếu các khoáng chất là tinh thể hoặc vô định hình. Biến thiên của biến dạng nhiệt, trong đó "biến dạng nhiệt" và "biến dạng nhiệt dư" khác nhau tùy thuộc vào đá các loại đá khác nhau được mô tả như Hình 2.1.



Hình 2.1: Biến thiên của biến dạng theo nhiệt độ của các loại đá cốt liệu khác nhau [2]



Hình 2.2: Biến dạng nhiệt của bê tông với các loại cốt liệu khác nhau [4]

2.1.3. Biến dạng của bê tông

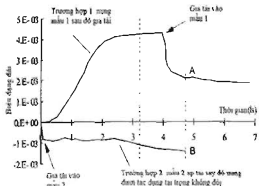
Phân tích các kết quả được trình bày trong Hình 2.2 cho thấy sự giãn nở nhiệt của bê tông phụ thuộc chủ yếu vào bản chất của cốt liệu. Kết quả nghiên cứu của Hager [10] cũng cho thấy biến dạng nhiệt của bê tông gần như không phụ thuộc vào hình dạng của hồ xi măng. Chúng ta có thể thấy rằng:

- Các biến dạng nhiệt của bê tông không phụ thuộc tuyến tính vào nhiệt độ.
- Yếu tố quan trọng nhất của sự giãn nở nhiệt là bản chất của cốt liệu.
- Ở nhiệt độ vượt quá 600 - 800°C, sự giãn nở nhiệt bị suy giảm và dừng lại.

2.2. Biến dạng nhiệt nhất thời

Đây là một ứng xử đặc biệt của vật liệu bê tông. Từ biến nhiệt nhất thời là tính chất của các bê tông tu biến dạng lớn khi các bê tông đồng thời chịu áp lực cơ học và tăng nhiệt độ.

Các biến dạng nhiệt nhất thời được tạo ra lớn hơn nhiều so với các biến dạng có nguồn gốc đàn hồi và từ biến bản thân. Trong khi ở nhiệt độ dưới 100°C, từ biến nhiệt nhất thời thường tiếp tục trong vài ngày, nó ở gần nhiệt độ tức thời. Trong thực tế, nó được coi là độc lập với thời gian và chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Đây là lý do tại sao thuật ngữ từ biến nhiệt nhất thời không thích hợp vì từ biến là một khái niệm phụ thuộc vào thời gian và do đó sẽ được thay thế bằng khái niệm biến dạng nhiệt nhất thời.



Hình 2.3: Biến dạng tổng đo được tại các mẫu bê tông bị nung nóng (dưới tải trọng $f_t = 0,45f_{c,td}$) [5]

Trong chu trình làm nóng và làm lạnh dưới tác động của tải trọng, kết quả thí nghiệm đã chỉ ra rằng sự giảm của biến dạng tổng không xuất hiện trong quá trình làm lạnh [2]. Ảnh hưởng thời gian gia nhiệt và gia tải được đưa ra được thể hiện trong Hình 2.3.

3. CƠ CHẾ PHÁ HỦY CẤU TRÚC BÊ TÔNG

3.1. Biến đổi hóa học

3.1.1. Phản ứng lý hóa

Tiếp xúc với nhiệt độ cao gây ra suy giảm hóa học dẫn đến trong bê tông. Các phản ứng lý hóa chính trong bê tông trong quá trình gia nhiệt được tóm tắt trong Bảng 3.1 [19]. Những thay đổi hóa học vi cấu trúc của vật liệu sẽ dẫn đến sự biến đổi các tính chất nhiệt, thủy lực và cơ học của bê tông diễn ra các phản ứng hóa học này.

Bảng 3.1. Các phản ứng lý hóa chính trong bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao [19]

Nhiệt độ	Các phản ứng lý hóa
30 - 120°C	Nước tự do và một phần nước hấp phụ bị bay hơi. Nước tự do bị loại bỏ hoàn toàn ở nhiệt độ 120°C
130 - 170°C	Hai phản ứng hóa học thu nhiệt diễn ra để phân tách khoáng gypse $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
180 - 300°C	Giai đoạn đầu của mất nước các khoáng bê tông. Các keo C-S-H bị đứt gãy. Nhiệt độ cao sẽ gây các C-S-H và tách rời các phân tử nước. Nước liên kết hóa học bắt đầu bay hơi khỏi bê tông.
250 - 370°C	Quan sát thấy một vài cực đại của phản ứng thu nhiệt chỉ ra các phản ứng phân tách và oxi hóa sắt oxit
450 - 550°C	Phân tách khoáng portlandit thành vôi tự do: $Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O$
Khoảng 570°C	Thay đổi cấu trúc quartz α thành quartz β , kéo theo sự tương nở (đối với cốt liệu với thành phần cát chủ yếu)
600 - 700°C	Phân tách khoáng C-S-H chuyển thành β - C_2S . Đây là giai đoạn thứ 2 của quá trình tách nước khỏi keo C-S-H
700 - 900°C	Đá vôi bị phân tách vào khoảng 800°C $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$, phản ứng thu nhiệt tạo ra khí cacbonic
1300 - 1400°C	Bê tông bắt đầu tan chảy ở dạng lỏng

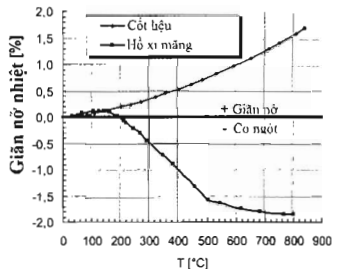
3.1.2. Ảnh hưởng tới độ dẫn nhiệt

Độ dẫn nhiệt: Độ dẫn nhiệt của bê tông giảm khi nhiệt độ tăng do sự suy giảm của vi cấu trúc. Các vi nứt cản trở sự truyền nhiệt. Hàm lượng nước, loại cốt liệu, loại xi măng và công thức bê tông là những loại các tham số chính ảnh hưởng đến sự thay đổi của độ dẫn nhiệt. Sự thay đổi độ dẫn nhiệt có thể đo được khi sự tăng nhẹ đầu tiên khoảng 15% trong khoảng từ 50 đến 90°C (liên quan đến sự tăng độ dẫn nhiệt của nước) trước khi giảm, vì bê tông bắt đầu mất nước do bốc hơi.

3.2. Sự không tương đồng giữa biến dạng hồ xi măng và cốt liệu

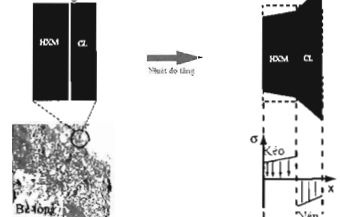
Sự biến thiên của biến dạng hồ xi măng và cốt liệu bê tông do nhiệt độ gây ra đã được trình bày ở phần

trên. Trong phần này, sự biến thiên của hồ xi măng và cốt liệu được mô tả trong Hình 3.1 dưới đây. Sự biến thiên hoàn toàn trái ngược được nhận thấy dễ dàng. Trong quá trình nhiệt độ tăng cao, cốt liệu giãn nở liên tục theo chiều tăng của nhiệt độ, tuy nhiên hồ xi măng có giãn nở trong thời gian đầu, sau đó co ngót mạnh sau khi nhiệt độ tăng cao.



Hình 3.1: Giãn nở và co ngót nhiệt của hồ xi măng và cốt liệu [8]

Giao diện tiếp xúc hồ xi măng/cốt liệu



Hình 3.2: Cơ chế phá hủy bê tông do sự không tương đồng biến dạng tại giao diện tiếp xúc của hồ xi măng/cốt liệu ở nhiệt độ cao

Hai sự biến thiên trái ngược này tạo ra sự không tương đồng biến dạng tại giao diện tiếp xúc của hồ xi măng và cốt liệu. Do vậy, tại giao diện mặt tiếp xúc xuất hiện ứng suất kéo tại hồ xi măng và ứng suất nén tại mặt cốt liệu (Hình 3.2).

4 KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra tổng quan tương đối chi tiết về trạng thái ứng suất cũng như sự phá hủy của bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao. Các biến dạng của bê tông trong môi trường nhiệt độ cao đã được phân tích thông qua biến dạng nhiệt của hồ xi măng, của cốt liệu cũng như biến dạng nhiệt của bê tông khi đồng thời chịu tác động của tải trọng cơ học. Bốn nguyên nhân chính gây phá hủy kết cấu bê tông dưới tác động của nhiệt độ cao, trong đó hai nguyên nhân quan trọng nhất

là gradient nhiệt và áp lực nước lỗ rỗng gây ra sự bong vỡ bề mặt các cấu kiện bê tông. Sự biến dạng không tương đồng giữa vữa xi măng: ứng suất kéo và cốt liệu, ứng suất nén, do vậy tạo sự biến dạng trong bê tông. Các phản ứng lý hóa chính trong bê tông cũng được mô tả khi nhiệt độ tăng cao. Các phản ứng mất nước chuyển hóa các pha rắn thay đổi cơ bản các thành phần khoáng mang tính cơ học như C-S-H, portlandit, từ đó làm suy giảm cường độ gây phá hủy kết cấu bê tông.

Để hiểu rõ hơn và phân tích rõ hơn ảnh hưởng của từng nguyên nhân gây phá hủy kết cấu bê tông cần phải thực hiện những nghiên cứu chuyên sâu hơn về mô phỏng mô hình cũng như thực hiện các mô hình vật lý. Tổng quan này là bước đầu cơ bản cho các nghiên cứu chuyên sâu hơn về kết cấu bê tông chịu lửa cũng như nhiệt độ cao tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1]. D. Hopkins and J. G. Quintiere (1996), *Material fire properties and predictions for thermoplastics*, Fire Saf. J., vol.26, no.3, pp.241-268.
- [2]. G. A. Khoury, B. N. Grainger, and P. J. E. Sullivan (1985), *Strain of concrete during first heating to 600°C under load*, Mag. Concr. Res., vol.37, no.133, pp.195-215.
- [3]. Z. P. Bažant, M. F. Kaplan and Z. P. Bazant (1996), *Concrete at High Temperatures: Material Properties and Mathematical Models*, Addison-Wesley.
- [4]. J. Piasta (1984), *Heat deformations of cement paste phases and the microstructure of cement paste*, Mater. Struct., vol.17, no.6, pp.415-420.
- [5]. Y. Anderberg and S. Thelandersson (1973), *Stress and Deformation Characteristics of Concrete at High Temperatures. I. General Discussion and Critical Review of Literature*.
- [6]. T. C. H. and L. Eriksson, *Temperature Change Effect on Behavior of Cement Paste, Mortar, and Concrete Under Load*, J. Proc., vol.63, no.4.
- [7]. Y. Collet (1977), *Etude des propriétés du béton soumis à des températures élevées entre 200 et 900°C*, Ann. des Trav. Publics Beiges, vol.4, pp.332-338.
- [8]. P. Kalifa and M. Tsimbrovska (1998), *Comportement des BHP à hautes températures, Etat de la question et résultats expérimentaux*, Cah. CSTB, p.3078.
- [9]. S. L. Meyres (1950), *Thermal expansion characteristics of hardened cement paste and of concrete*, in Proceedings of the Highway Research Board, pp.193-203.
- [10]. I. Hager (01 Jan 2004), *Comportement a haute temperature des betons a haute performance - evolution des principales proprietes mecaniques*.
- [11]. G. A. Khoury (1995), *Strain components of nuclear-reactor-type concretes during first heat cycle*, Nucl. Eng. Des., vol.156, no.1, pp.313-321.
- [12]. V. M. Trần và L. T. Nguyễn, *Nghiên cứu đặc trưng nhiệt của bê tông sử dụng hàm lượng tro bay lớn*.
- [13]. Q. T. Lê, T. Te Vũ và H. H. Vũ (2015), *Xây dựng bài toán tính nhiệt và ứng suất nhiệt trong đập bê tông trọng*

lực đầm lăn ở Việt Nam bằng phần mềm Ansys, Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, tập 50, tr.9-15.

[14]. K. H. Phương (2003), *Tính năng, kết cấu và vật liệu của bê tông đầm lăn*, Đại học Vũ Hán.

[15]. V. L. Đỗ (2008), *Nghiên cứu sự phát triển nhiệt độ và ứng suất nhiệt để ứng dụng vào công nghệ thi công đập bê tông trọng lực ở Việt Nam*, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật.

[16]. H. T. Trần (2017), *Biện pháp kiểm soát và theo dõi nhiệt độ với cấu kiện bê tông khối lớn*, Tạp chí GTVT.

[17]. S. Ahmad, T. Taxila, S. Iqbal, T. Taxila, I. A. Bukhari and T. Taxila (2009), *Controlling temperatures in mass concrete*.

[18]. U.-M. Jumppanen (1989), *Effect of strength on fire behaviour of concrete*, vol.8.

[19]. U. Diederichs, U.-M. Jumppanen and V. Penttala (1989), *Behavior of high strength concrete at high temperatures*.

Ngày nhận bài: 25/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 03/02/2020

Người phản biện: TS. Đào Phúc Lâm

TS. Đặng Thủy Chi