

Nghiên cứu thực nghiệm cường độ chịu nén của bê tông khi giảm nhiệt tức thời trong điều kiện nhiệt độ cao

The experimental study on compressive strength of concrete under immediately heat reduction of high temperature

> THS LÊ VĂN ĐỒNG¹, TS PHAN VĂN HUỆ¹, TS VÕ VĂN NAM¹; KS VÕ TẤN THI²

¹Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

Email: levandongkxd@muce.edu.vn; phanvanhue@muce.edu.vn; vovannam@muce.edu.vn

²HVCH, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá sự thay đổi của cường độ chịu nén của mẫu bê tông xi măng khi tiếp xúc với nhiệt độ cao và bị hạ nhiệt đột ngột bằng nước (nhiệt độ phòng) với thời gian tiếp xúc nhiệt khác nhau (0.5 giờ, 1.0 giờ và 2.0 giờ). Nghiên cứu tiến hành với bê tông mác 250, là loại bê tông phổ biến sử dụng cho các trình xây dựng. Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của bê tông mác 250 giảm rõ rệt khi tiếp xúc nhiệt từ 400°C trở lên và giảm khi thời gian tiếp xúc nhiệt tăng.

Từ khóa: Bê tông; cường độ chịu nén; nhiệt độ cao.

ABSTRACT

This study aims to estimate the change in compressive strength of concrete when they are in high temperature environment condition with different durations (0.5h, 1.0h, and 1.5h) but dramatically are cooled by water to room temperature. The study used conventional concrete with 250 grade concrete which is common in practical construction projects. The experimental results reveals that the compressive strength of 250 grade concrete clearly decreases as exposed to temperature of above 400°C as well as a longer exposure duration.

Keywords: Concrete, compressive strength, high temperature.

1. GIỚI THIỆU

Trong các công trình xây dựng hiện nay, vật liệu được sử dụng trong quá trình thi công và hoàn thiện rất đa dạng và phong phú: Bê tông, bê tông cốt thép, thép, gạch xây, gạch men, gỗ, nhựa.... Nhưng tất cả các vật liệu được sử dụng phải được kiểm tra để đảm bảo kỹ thuật trước khi đưa vào sử dụng. Hiện nay, trong lĩnh vực xây dựng vật liệu bê tông xi măng được sử dụng khá phổ biến và

có thể chiếm đến hơn 50% loại vật liệu sử dụng trong quá trình thi công của công trình vì bê tông là loại vật liệu có nhiều ưu điểm: giá thành kinh tế tương đối phù hợp, dễ dàng trong công tác thi công với các loại công trình khác nhau (bê tông dầm, bê tông tự lèn, bê tông đầm lăn,...), có khả năng dễ tạo hình để tạo ra những điểm nhấn về mặt kiến trúc cũng như thẩm mỹ và có thể thi công trong các điều kiện phức tạp về mặt địa hình, thời tiết... Vật liệu bê tông sử dụng trong công trình theo thời gian sẽ bị suy giảm cường độ do chịu tác động của nhiều tác nhân: ăn mòn, môi trường, động đất, sóng thần, va đập, hoả hoạn... sẽ dẫn đến mức độ suy giảm khác nhau tùy vào mức độ tác động và thời gian tác động.

Một trong những yếu tố có thể dễ gặp và thấy được sự ảnh hưởng tới khả năng làm việc của bê tông đó là sự cố hỏa hoạn. Bê tông trong khi xảy ra hỏa hoạn tiếp xúc với nhiệt độ cao có thể hạ nhiệt từ trong môi trường không khí nhưng khi xử lý đám cháy có thể dùng nước để dập tắt đám cháy thì lúc này bê tông sẽ bị hạ nhiệt đột ngột, tính chất bê tông sẽ bị thay đổi so với nguội từ từ. Đây cũng là hướng nghiên cứu của nhóm, sự tiếp xúc nhiệt sẽ được thực nghiệm bằng những mẫu bê tông tiếp xúc với nhiệt độ khác nhau ứng với thời gian khác nhau thông qua thiết bị lò nung và được hạ nhiệt đột ngột bằng nước.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hệ nguyên liệu và cấp phối bê tông [11]

Nghiên cứu thực nghiệm sử dụng hệ vật liệu tại địa phương để chế tạo bê tông xi măng. Thành phần vật liệu được thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý cơ bản bao gồm: Xi măng Nghi Sơn PCB40; Cát (Modul độ lớn = 2.6); Đá dăm 10 - 20 ($D_{max} = 20$ mm); Nước và không sử dụng phụ gia.

Nghiên cứu thực nghiệm sử dụng cấp phối bê tông mác 250 có thành phần cấp phối như Bảng 1. Mẫu thí nghiệm có dạng hình lập phương cạnh 100 mm để phù hợp với thiết bị lò nung của phòng thí nghiệm.

Bảng 1. Thành phần cấp phối bê tông mác 250

Xi măng (kg)	Cát(kg)	Đá (kg)	Nước (lít)	Phụ gia (ml)
320	790	1080	195	x

Quá trình tạo mẫu được thực hiện theo quy chuẩn: Trộn bê tông mác 250 theo cấp phối đã nghiên cứu → Xác định độ sụt → Đúc mẫu → Dưỡng hộ trong khuôn 24 giờ → Tháo khuôn dưỡng hộ trong môi trường nước.



Hình 1. Kiểm tra độ sụt và chế tạo mẫu thí nghiệm

2.2. Thực nghiệm khảo sát sự thay đổi các tính chất cơ lý của bê tông trong điều kiện nhiệt độ cao

Theo các tài liệu nghiên cứu về sự ảnh hưởng của nhiệt độ cao đến cường độ của bê tông thì cường độ bê tông sẽ bị suy giảm mạnh từ 500°C trở lên [1], [10]. Dựa trên những nghiên cứu trên, chúng tôi tiến hành khảo sát thực nghiệm sự thay đổi cường độ chịu nén của bê tông khi giảm nhiệt độ đột ngột bằng nước (nhiệt độ phòng) trong khoảng từ 100 đến 800°C.

Quá trình nghiên cứu thực nghiệm sử dụng bê tông mác 250, là loại bê tông được sử dụng phổ biến trong các công trình dân dụng hiện nay. Để đánh giá được sự ảnh hưởng của nhiệt độ cao đến khả năng chịu nén của bê tông thì nhóm nghiên cứu tiến hành nung mẫu trong lò nung đã được kiểm định về khả năng làm việc.

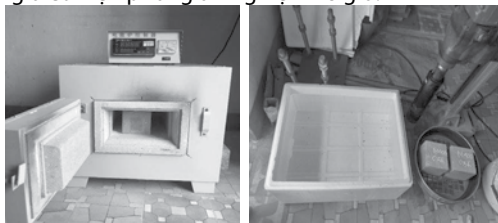


Hình 2. Lò nung thí nghiệm nung mẫu

Nhiệt độ khảo sát nung mẫu: 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C ứng với thời gian hằng nhiệt ở các nhiệt độ khảo sát: 0.5 giờ; 1.0 giờ, và 2.0 giờ.

Quy trình thực nghiệm:

- Bước 1: Mẫu bê tông thí nghiệm được chế tạo và dưỡng hộ theo tiêu chuẩn để đạt tuổi thí nghiệm tối thiểu là 28 ngày tuổi [2].
- Bước 2: Vớt mẫu và đem phơi mẫu để giảm độ ẩm trong mẫu. Sau khi phơi ráo mẫu trong điều kiện phòng thí nghiệm thì các mẫu trước khi đem gia nhiệt được đem sấy trong điều kiện nhiệt độ 100°C trong 1 giờ để đồng bộ hóa độ ẩm giữa các mẫu thí nghiệm.
- Bước 3: Tiến hành sắp xếp mẫu vào trong lòng lò nung. Mỗi lần 2 mẫu/ lần gia nhiệt → Tiến hành cài đặt nhiệt khảo sát và cài đặt thời gian muốn hằng nhiệt (0.5 giờ, 1.0 giờ và 2.0 giờ).
- Bước 4: Khi mẫu đã đủ thời gian hằng nhiệt ở nhiệt độ khảo sát thì tiến hành gấp mẫu trong lòng lò nung và cho vào môi trường nước trong thời gian 3 phút rồi vớt mẫu ra → Dưỡng hộ mẫu trong điều kiện phòng thí nghiệm 48 giờ.



Hình 3. Mẫu bê tông trong lòng lò nung sau khi hằng nhiệt và chuẩn bị hạ nhiệt bằng nước

- Bước 5: Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của mẫu và xử lý số liệu.

Quá trình tăng nhiệt được theo tiêu chuẩn ASTM E119 [3].

3. ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ ĐẾN CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA BÊ TÔNG KHI HẠ NHIỆT ĐỘ ĐỘT NGỘT BẰNG NƯỚC

Khi bê tông chịu sự ảnh hưởng của nhiệt độ thì sẽ xảy ra khi biến đổi về mặt hóa lý bê tông trong bê tông, sự thay đổi về mặt hóa lý phụ thuộc vào nhiệt độ tiếp xúc và thời gian bê tông tiếp xúc với nhiệt. Sự thay đổi về mặt hóa lý và hiện tượng nứt bê tông là nguyên nhân chính dẫn đến sự thay đổi tính chất cơ lý của bê tông mà điển hình nhất là làm thay đổi cường độ chịu nén của bê tông.

3.1. Sự thay đổi hóa lý bê tông khi tiếp xúc với nhiệt độ khác nhau [4], [5]

Khi nhiệt độ từ 30 đến 100°C bê tông sẽ mất trọng lượng do nước tự do bốc hơi từ các lỗ rỗng và dẫn đến nước liên kết hóa lý sẽ bị mất đi do sự bay hơi trong khoảng nhiệt độ từ 105 đến 110°C. Khi nhiệt độ từ 115 đến 125°C khoáng C-S-H ($x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$) sẽ bị phân hủy thành $\beta\text{-C}_2\text{S}$, $\beta\text{-CS}$ và H_2O . Khi nhiệt độ khoảng 130°C thì khoáng ettringite bắt đầu bị phân hủy.

Khi nhiệt độ nằm trong khoảng từ 140 đến 170°C thì thành phần đá thạch cao có trong xi măng sẽ bị phân hủy thành thạch cao ở dạng $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Khi nhiệt độ tiếp xúc của bê tông tăng lên thì $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ tiếp tục bị biến đổi tạo thành $\gamma\text{-CaSO}_4$ (197°C).

Khi nhiệt độ từ 200 đến 300°C nước trong bê tông tiếp tục mất đi do màng nước hấp phụ tách ra gây ra sự giảm trọng lượng nhẹ, trọng lượng giảm phụ thuộc nhiều vào độ ẩm trong bê tông cho tới khi tất cả các nước trong lỗ rỗng mất đi.

Khi nhiệt độ từ 400 đến 550°C. Xảy ra phản ứng: $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$, nước liên kết hóa học lúc này bay hơi làm cho cường độ của bê tông giảm một cách nhanh chóng. Khi nhiệt độ từ 525 đến 550°C khoáng belite sẽ bị thay đổi dạng thù hình $\beta\text{-C}_2\text{S} \rightarrow \gamma\text{-C}_2\text{S}$ kèm theo hiện tượng tăng thể tích so với $\beta\text{-C}_2\text{S}$ khoảng 10%. Đồng thời hợp chất hữu cơ hay tạp chất có lẫn vào trong bê tông trong quá trình chế tạo sẽ bị cháy hoàn toàn.

Khi nhiệt độ từ 550 đến 600°C, những hạt thạch anh trong cát và đá dăm bị phá hoại do cấu trúc tinh thể thạch anh thay đổi chuyển từ thạch anh tinh thể sang tridinit hình thành ở nhiệt độ 573°C.

Khi nhiệt độ vượt quá 600°C tiếp tục mất nước hoá học, MgCO_3 và CaCO_3 bắt đầu bị phân hủy do đó làm cho hỗn hợp không ổn định và làm mất trọng lượng một cách nhanh chóng (có thể đạt tới 10%), thậm chí khi nhiệt độ cao hơn do sự phá hủy và nứt vỡ thì trọng lượng của mẫu còn mất nhanh hơn và tại thời điểm 700°C thì nước hầu như đã thoát hoàn toàn.

Khi nhiệt độ từ 700 đến 900°C, Hydro silicat canxi mất nước tại 700°C. Bê tông bắt đầu bị phá hủy mạnh vì các khoáng đóng vai trò tạo cường độ cho bê tông C-S-H và các gel có cấu trúc giống khoáng C-S-H đóng vai trò là các khoáng phát triển cường độ của bê tông thì sẽ bị phân hủy mạnh. Đây là giai đoạn cường độ bê tông bị suy giảm rất mạnh.

Đôi khi nếu hỏa hoạn xảy ra trong thời gian dài thì nhiệt độ của bê tông sẽ lên tới khoảng 1200°C thì lúc này feldspar tan và các khoáng khác của xi măng bắt đầu chuyển dần sang trạng thái thủy tinh. Khi đó cấu trúc của bê tông bị thay đổi một cách nghiêm trọng, chính điều này nó sẽ kéo theo các yếu tố về mặt cơ lý bị thay đổi: cường độ và độ bền bị giảm xuống rất thấp hoặc mất đi dẫn đến việc cấu kiện không còn ổn định hoặc bị phá hủy.

3.2. Hiện tượng bong, nứt bê tông khi tiếp xúc nhiệt độ cao

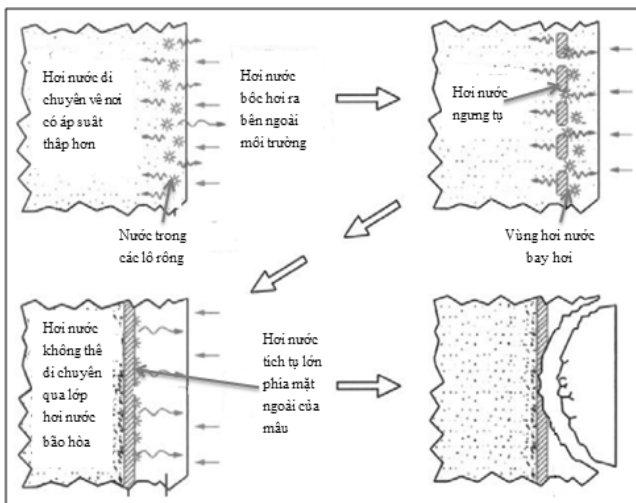
Khi công trình xảy ra hỏa hoạn thì lớp bê tông bảo vệ sẽ tiếp xúc với nhiệt độ cao thì trên bề mặt lớp bê tông bảo vệ sẽ xuất

hiện các vết nứt và các vết nứt sẽ lớn dần và kéo dài khi nhiệt độ và thời gian tiếp xúc tăng lên thì có thể làm bong lớp bê tông khỏi cấu kiện. Quá trình xuất hiện vết nứt có thể quan sát ở nhiệt độ khoảng 200°C. Tùy vào đặc điểm cấu tạo, vị trí, loại bê tông (bê tông thông thường, bê tông cường độ cao) và hệ nguyên liệu cấu tạo để chế tạo bê tông mà hiện tượng bong nứt bê tông thể hiện ở các mức độ khác nhau. Đối với vật liệu bê tông thuần túy khi tiếp xúc với nhiệt thì hiện tượng bong, nứt xảy ra có nhiều nguyên nhân nhưng chủ yếu do hai nguyên nhân chính:

- Áp lực của hơi nước tích tụ trong bê tông gây ra ứng suất nội bên trong lòng vật liệu bê tông.
- Sự giãn nở vì nhiệt của các thành phần vật liệu chế tạo bê tông, các thành phần khoáng bên trong bê tông

3.2.1. Áp lực hơi nước tích tụ trong bê tông

Áp lực hơi nước được hình thành trong lòng bê tông do sự chuyển hóa trạng thái vật lý từ trạng thái lỏng sang trạng thái hơi của nước tự do, nước hấp thụ khi tiếp xúc với nhiệt độ cao và không thể khuếch tán ra môi trường xung quanh, dẫn tới tạo ra ứng suất nội bên trong bê tông. Khi nhiệt độ và thời gian nung tăng, nước tự do bắt đầu bay hơi ở khoảng 100°C và nó sẽ dẫn đến áp suất các lỗ rỗng tăng lên. Nếu quá trình tăng nhiệt được tiếp tục áp suất hơi này tăng lên và làm cho ứng suất nội có thể vượt qua cường độ chịu kéo của đá xi măng và gây ra sự phá hủy và nứt vỡ bê tông cục bộ.



Hình 4. Cơ chế nứt và bong lớp bê tông bên ngoài do áp lực hơi nước [7]

3.2.2. Sự giãn nở vì nhiệt

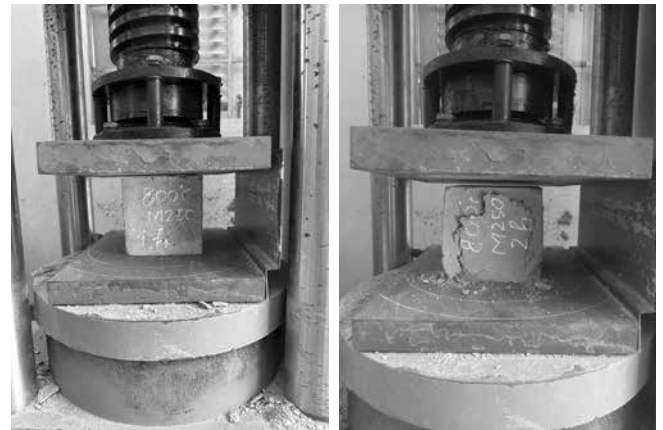
Thành phần cấu tạo nên đá bê tông bao gồm: Cốt liệu nhỏ, cốt liệu lớn, đá xi măng và lỗ rỗng. Thành phần cốt liệu nhỏ, cốt liệu lớn và đá xi măng làm việc đồng nhất tạo nên khả năng chịu lực của bê tông ở điều kiện thông thường. Tuy nhiên, khi làm việc trong điều kiện nhiệt độ cao thì các thành phần trên khả năng làm việc đồng bộ sẽ kém đi do sự giãn nở vì nhiệt khác nhau và khi nhiệt độ càng cao thì xảy ra sự chênh lệch giãn nở càng lớn và làm cho các thành phần này không còn dính kết với nhau. Làm cho bề mặt cũng như bên trong mẫu xuất hiện các vi nứt, khi nhiệt độ nung và thời gian nung càng lớn thì sự chênh lệch này càng lớn dẫn đến mẫu bị nứt càng nhiều [7].

Cốt liệu nhỏ thường sử dụng cho bê tông là cát sông. Thành phần hóa chủ yếu của cát là SiO_2 , khi tiếp xúc với nhiệt độ ở 573°C thì lúc này xảy ra sự biến đổi thù hình của SiO_2 từ dạng β -quartz $\rightarrow$ α -quartz xảy ra khá nhanh tạo ra ứng suất đáng kể, thể tích tăng 0.83-1.3% gây ra hiện tượng nứt, bong bê tông ở mặt ngoài.

Đối với thành phần cốt liệu lớn, thành phần cốt liệu lớn có thể sử dụng là cốt liệu có nguồn gốc Silic hoặc đá vôi. Đối với cốt liệu nguồn gốc Silic thì sự giãn nở vì nhiệt xảy ra ở 573°C do sự biến đổi thù hình của SiO_2 nên quá trình nứt bong bê tông sớm hơn so với cốt liệu nguồn gốc đá vôi ở 800°C. Vì ở nhiệt độ này có xảy ra sự phân hủy đá vôi $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ làm cho thể tích tăng lên gây nên ứng suất nội gây nên hiện tượng nứt và bong bê tông [1].

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm được đánh giá dựa vào khả năng thay đổi cường độ chịu nén của tổ mẫu hằng nhiệt ở các nhiệt độ khảo sát trong các khoảng thời gian hằng nhiệt khác nhau (0.5 giờ, 1.0 giờ và 2.0 giờ) sau khi hạ nhiệt đột ngột bằng nước so với mẫu đối chứng - Mẫu đối chứng (ĐC) là mẫu cùng thiết kế cấp phối có kích thước hình học giống mẫu hằng nhiệt và không gia nhiệt, được duy trì nhiệt ở nhiệt độ phòng thí nghiệm (30°C).



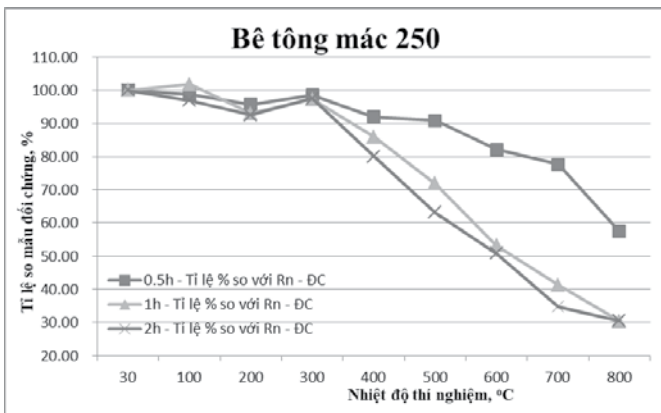
Hình 5. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của mẫu ở 800°C hằng nhiệt trong 1.0 giờ và 2.0 giờ

Kết quả thực nghiệm nghiên cứu sự thay đổi cường độ bê tông ở các nhiệt độ khác nhau khi được hạ nhiệt đột ngột bằng nước được thể hiện như Bảng 2 và Hình 6.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm về sự thay đổi cường độ chịu nén của mẫu ở các nhiệt độ so với mẫu đối chứng (ĐC)

STT	Kí hiệu mẫu	Nhiệt độ thí nghiệm, độ C	0.5h - Tỉ lệ % so với Rn - ĐC	1h - Tỉ lệ % so với Rn - ĐC	2h - Tỉ lệ % so với Rn - ĐC
1	M250 - ĐC	30	100.00	100.00	100
2	M250 - 100	100	98.70	101.80	96.96
3	M250 - 200	200	95.70	93.00	92.59
4	M250 - 300	300	98.60	97.30	97.51
5	M250 - 400	400	92.00	85.90	79.99
6	M250 - 500	500	90.90	71.90	63.16
7	M250 - 600	600	82.10	53.20	50.87
8	M250 - 700	700	77.70	41.30	34.79
9	M250 - 800	800	57.40	30.40	30.52

Kết quả thí nghiệm cho thấy sự thay đổi của cường độ chịu nén của bê tông chia làm hai vùng rõ rệt: Khi nhiệt độ tiếp xúc từ 300°C trở xuống thì cường độ giảm không đáng kể và xấp xỉ với mẫu đối chứng. Khi nhiệt độ tiếp xúc từ 300°C trở lên cường độ chịu nén bê tông bắt đầu suy giảm và bắt đầu giảm mạnh khi nhiệt độ tiếp xúc từ 600°C trở lên.



Hình 6. Biểu đồ thể hiện sự thay đổi cường độ chịu nén sau khi hạ nhiệt đột ngột với các thời gian nung khác nhau

Khi nhiệt độ tiếp xúc nhỏ hơn 300°C cường độ chịu nén bê tông không thay đổi đáng kể do giai đoạn này chỉ có hiện tượng bay hơi của nước tự do và tạo ra áp suất chưa đủ lớn để tạo ra các vết nứt có kích thước lớn. Tại 300°C cường độ của mẫu khi hằng nhiệt với các thời gian khác nhau có xu hướng tăng lên xấp xỉ bằng mẫu đối chứng. Sự thay đổi này là do trong giai đoạn này nước liên kết trong bê tông tách ra và sẽ có phản ứng thủy hóa với xi măng chưa phản ứng hết trong bê tông.

Khi nhiệt độ tiếp xúc từ 400°C trở lên thì cường độ bê tông giảm rõ rệt và cũng thấy được sự ảnh hưởng rõ ràng khi thời gian hằng nhiệt khác nhau:

- Thời gian hằng nhiệt tăng thì cường độ giảm càng nhiều so với mẫu đối chứng. Cường độ chịu nén bê tông thay đổi mạnh ở nhiệt độ 600°C: Cường độ của tổ mẫu khi hằng nhiệt trong thời gian 0.5 giờ, 1.0 giờ và 2.0 giờ còn lại so với mẫu đối chứng lần lượt 82.10%, 53.20% và 50.87%. Sự thay đổi mạnh này là do: Sự giãn nở vì nhiệt của cốt liệu; Sự chuyển đổi pha của SiO_2 làm tăng thể tích ở 573°C; Áp lực hơi nước tăng lên; Sự phân hủy MgCO_3 và CaCO_3 tại 600°C.

- Tại nhiệt độ 700°C trở lên cường độ chịu nén của mẫu khi hằng nhiệt 1.0 giờ và 2.0 giờ còn lại so với mẫu đối chứng xấp xỉ bằng nhau (30.40% và 30.52% ứng với 1.0 giờ và 2.0 giờ ở nhiệt độ 800°C) và rất thấp. Lúc này, bê tông hầu như đã bị phá hủy hoàn toàn do sự phân hủy mạnh của CaCO_3 và các khoáng đóng vai trò tạo cường độ cho bê tông C-S-H và các gel có cấu trúc giống khoáng C-S-H đóng vai trò là các khoáng phát triển cường độ của bê tông thì sẽ bị phân hủy mạnh.

5. KẾT LUẬN

Cường độ chịu nén bê tông có sự thay đổi khi tiếp xúc với nhiệt độ từ 100°C đến 800°C với thời gian hằng nhiệt khác nhau. Nhiệt độ và thời gian tiếp xúc nhiệt càng tăng thì cường độ chịu nén càng giảm so với mẫu đối chứng.

Khi nhiệt độ tiếp xúc nhỏ hơn 300°C cường độ chịu nén không thay đổi đáng kể do trong vùng nhiệt độ này sự thay đổi hóa lý bê tông chỉ là sự bay hơi của nước là chủ yếu.

Khi nhiệt độ từ 300°C trở lên cường độ chịu nén bê tông bắt đầu giảm rõ rệt, sự thay đổi này do nhiều nguyên nhân nhưng chủ yếu do một số nguyên nhân sau:

- Khi nhiệt độ tiếp xúc tăng thì các vết nứt trên và trong bê tông xuất hiện. Độ rộng vết nứt tăng khi nhiệt độ và thời gian tiếp xúc nhiệt của bê tông tăng do áp lực của hơi nước được tạo ra bên trong bê tông.

- Sự giãn nở vì nhiệt của các thành phần bê tông (cốt liệu; đá xi măng; khoáng mới được hình thành) không giống nhau

khi nhiệt độ cao sẽ tạo ra các vết nứt bê tông trong bê tông dẫn đến cường độ bê tông sẽ giảm.

- Sự thanh đổi về mặt hóa lý trong quá trình gia nhiệt mẫu tạo ra một số chất mới hoặc làm giảm đặc tính của khoáng liên kết sẽ làm cho cấu trúc bê tông thay đổi, làm giảm khả năng liên kết giữa các thành phần trong bê tông.

- Hiện tượng sốc nhiệt khi mẫu đang ở nhiệt độ cao được hạ nhiệt độ bằng nước làm thay đổi ứng xử nhiệt của thành phần bên trong làm giảm mạnh khả năng liên kết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. David N. Bilow, M.E.K., *Fire and Concrete Structures*
- [2]. TCVN3105:2022, *Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*. Tiêu chuẩn quốc gia, 2022.
- [3]. *ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*. American National Standard, 2000.
- [4]. M.J. Heap, Y.L., A. Laumann, K.-U. Hess, P.G. Meredith, D.B. Dingwell, S. Huismann, F. Weise, *The influence of thermal-stressing (up to 100 °C) on the physical, mechanical, and chemical properties of siliceous-aggregate, high strength concrete*. Construction and Building Material, 2013(42): p. 248-265.
- [5]. Minh, Đ.Q., *Kỹ thuật sản xuất vật liệu gốm sứ*. Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh, 2006
- [6]. Nassar, K.M., *Improving Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns*, in *Civil Engineering Department, Islamic University of Gaza*, 2011
- [7]. Young-Sun Heo, J.G.S., Cheon-Goo Han, Min-Cheol Han, *Synergistic effect of combined fibers or spalling protection*
- [8]. György L. Balázs, É.L., *Reinforced concrete structures in and fire* 2010.
- [9]. Long, P.T., *High-Strength Concrete at High Temperature*. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2002.
- [10]. TS Nguyễn Cao Dương, T.H.A.G., *Khảo sát đánh giá hư hỏng các bộ phận kết cấu nhà bê tông cốt thép chịu tác*
11. Nguyễn Tấn Quý, N.T.R., *Giáo trình công nghệ bê tông xi măng*. 2003.
12. Schroeder, R.A., *Post-fire analysis of construction materials*. 1999.