



BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC CỦA CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP Ở NHIỆT ĐỘ CAO THEO TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU EC2

Nguyễn Trường Thắng¹, Nguyễn Tuấn Ninh²

Tóm tắt: Cột là một trong những cấu kiện chịu lực quan trọng nhất trong hệ thống kết cấu công trình nhà. Khi xảy cháy, bê tông và cốt thép bị nung nóng và các tính chất cơ lý của chúng đều bị suy giảm. Đây là một trong những nguyên nhân trực tiếp làm giảm khả năng chịu lửa của cột cũng như của toàn bộ công trình. Bài báo này giới thiệu nguyên tắc chung về phân tích khả năng chịu lực của cột ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn châu Âu EC2. Ứng xử của bê tông và cốt thép cũng như sự phân bố của nhiệt độ trong tiết diện cột khi bị nung nóng được phân tích và số hóa. Biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép (BTCT) tại các thời điểm 30, 60, 90 và 120 phút của vụ cháy theo tiêu chuẩn EC2 được xây dựng bằng phần mềm sử dụng ngôn ngữ lập trình Embarcadero Delphi. Một số khuyến cáo về khả năng chịu lực của cột BTCT ở nhiệt độ cao được đưa ra ở phần cuối của bài báo.

Từ khóa: Cột; bê tông cốt thép; khả năng chịu lực; biểu đồ tương tác; cháy.

Summary: Column is among the most critical load-bearing elements in building structural system. When subjected to fire, concrete and reinforcement are heated and their mechanical properties are all deteriorated. This is one of the direct factors that adversely affects the load resistance of columns as well as the fire resistance of the whole building. This paper introduces the general principles of analyzing load resistance of reinforced concrete (RC) columns in fire according to EC2. The behaviour of materials and the temperature distribution in columns cross section are digitalized. The interaction diagrams of RC columns at certain times of 30, 60, 90 and 120 minutes specified in EC2 are constructed by self-developed software using Embarcadero Delphi. Recommendations are also given in the latter part of the paper.

Keywords: Column; reinforced concrete; load resistance; interaction diagram; fire.

Nhận ngày 10/12/2015, chỉnh sửa ngày 22/12/2015, chấp nhận đăng 15/3/2016



1. Giới thiệu

Các chỉ dẫn kỹ thuật cho kết cấu khi bị gia nhiệt theo một quy luật xác định tới các mức nhiệt độ cao khác nhau đã được đưa vào tiêu chuẩn thiết kế của nhiều quốc gia và vùng lãnh thổ. Phần lớn tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), trong đó có tiêu chuẩn Việt Nam, chỉ đưa ra các quy tắc tiền định dưới dạng bảng biểu trong đó quy định cấp chịu lửa của kết cấu chỉ đơn thuần phụ thuộc vào bề dày lớp bê tông bảo vệ và kích thước nhỏ nhất của tiết diện cột dựa vào kết quả thí nghiệm sử dụng đường gia nhiệt tiêu chuẩn. Trong khi đó, một số quốc gia đã phát triển phương pháp thiết kế theo yêu cầu cụ thể về khả năng làm việc của kết cấu dựa trên các phân tích có cơ sở về phân bố nhiệt độ cũng như ứng xử cơ học của kết cấu [1-3]. Trong số đó, tiêu chuẩn châu Âu EN 1992 phần 1.2 [3] (gọi tắt là EC2) cung cấp nhiều chỉ dẫn kỹ thuật cho việc phân tích chi tiết. Bài báo này giới thiệu, phân tích và số hóa các tính chất cơ lý của bê tông và cốt thép cũng như sự phân bố của nhiệt độ trong tiết diện cột khi bị nung nóng. Một phần mềm máy tính sử dụng ngôn ngữ lập trình Embarcadero Delphi được các tác giả phát triển để xây dựng biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép (BTCT) tại các thời điểm của vụ cháy theo tiêu chuẩn EC2. Ở phần cuối của bài báo, một số khuyến cáo được đưa ra nhằm giúp kỹ sư kết cấu hiểu rõ hơn về khả năng chịu lực của cột BTCT ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn EC2.

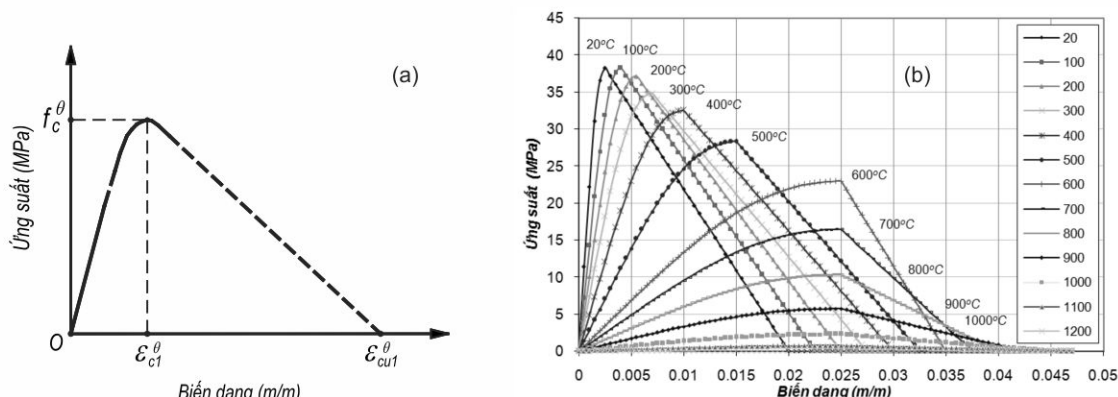
¹ TS, Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: thangcee@gmail.com.

² ThS, Công ty Cổ phần Công nghệ và Tư vấn Thiết kế Xây dựng RD.



2. Quan hệ ứng suất biến dạng của bê tông và cốt thép ở nhiệt độ cao theo EC2

Hình 1(a) minh họa quan hệ ứng suất - biến dạng tổng quát của bê tông ở một nhiệt độ cao θ theo tiêu chuẩn EC2. Khi nhiệt độ θ càng tăng cao thì cường độ chịu nén của bê tông f_c^θ càng giảm, trong khi biến dạng cực hạn ε_{cu1}^θ lại càng tăng. Trên Hình 1(b) là một ví dụ về quan hệ ứng suất - biến dạng theo tiêu chuẩn EC2 của bê tông (cốt liệu đá vôi) khi bị nung nóng theo đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 [4].



Hình 1. (a) Quan hệ ứng suất - biến dạng tổng quát của bê tông ở nhiệt độ cao [3]
(b) Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông (cốt liệu đá vôi) ở nhiệt độ cao

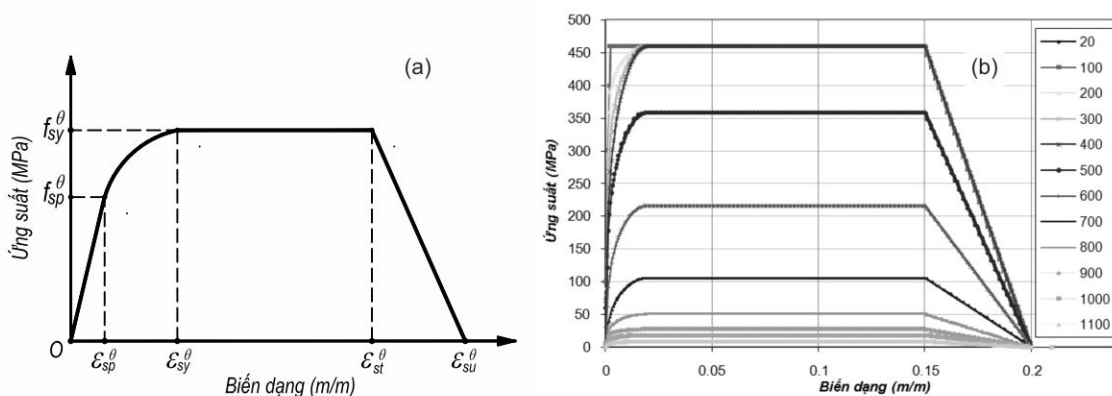
Quan hệ ứng suất - biến dạng tổng quát được tiêu chuẩn EC2 được biểu diễn như sau:

$$\sigma^\theta = 3f_c^\theta \frac{(\varepsilon / \varepsilon_{c1}^\theta)}{2 + (\varepsilon / \varepsilon_{c1}^\theta)^3} \quad \text{khi } \varepsilon \leq \varepsilon_{c1}^\theta \quad (1a)$$

$$\sigma^\theta = f_c^\theta \frac{\varepsilon_{cu1}^\theta - \varepsilon}{\varepsilon_{cu1}^\theta - \varepsilon_{c1}^\theta} \quad \text{khi } \varepsilon_{c1}^\theta \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cu1}^\theta \quad (1b)$$

Trong đó ε_{c1}^θ là biến dạng tương ứng với cường độ f_c^θ của bê tông ở nhiệt độ θ .

Tương tự như bê tông, cường độ f_{sy}^θ của cốt thép càng giảm ở nhiệt độ càng cao. Hình 2(a) và 2(b) lần lượt minh họa quan hệ ứng suất - biến dạng tổng quát và thực tế của cốt thép khi bị nung nóng theo đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 [4].



Hình 2. (a) Mối quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép ở nhiệt độ cao [3]
(b) Quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép cường độ 460MPa ở nhiệt độ cao

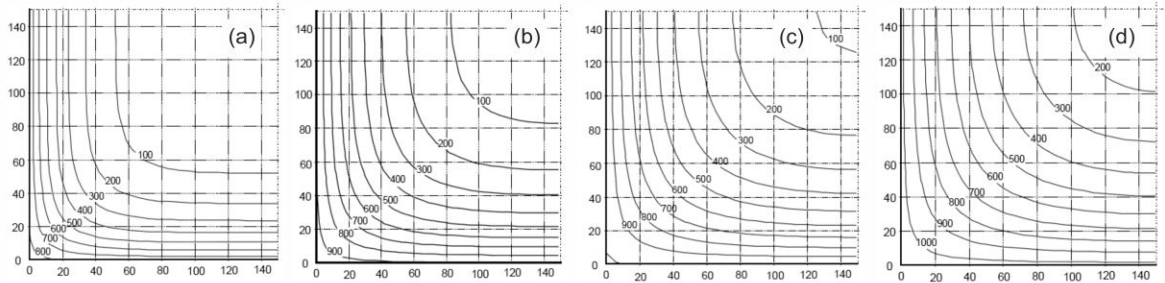


3. Phân bố nhiệt độ trong tiết diện ngang của cột theo Tiêu chuẩn EC2

Tiêu chuẩn EC2 quy định kết cấu bị tác động bởi đường gia nhiệt theo tiêu chuẩn ISO 834-1975 [4], trong đó nhiệt độ T_g tác động lên bề mặt cấu kiện tăng theo thời gian t (giờ) như sau:

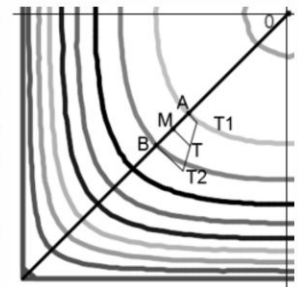
$$T_g = 20^{\circ}\text{C} + 345 \log_{10}(480t + 1) \quad (2)$$

Tại một thời điểm xác định, các điểm bên trong của mặt cắt tiết diện cột sẽ có phân bố nhiệt độ θ khác nhau do tính chất truyền nhiệt của bê tông. Tiêu chuẩn EC2 cung cấp một số đường đẳng nhiệt trong tiết diện cột 300mm×300mm như trên Hình 3.

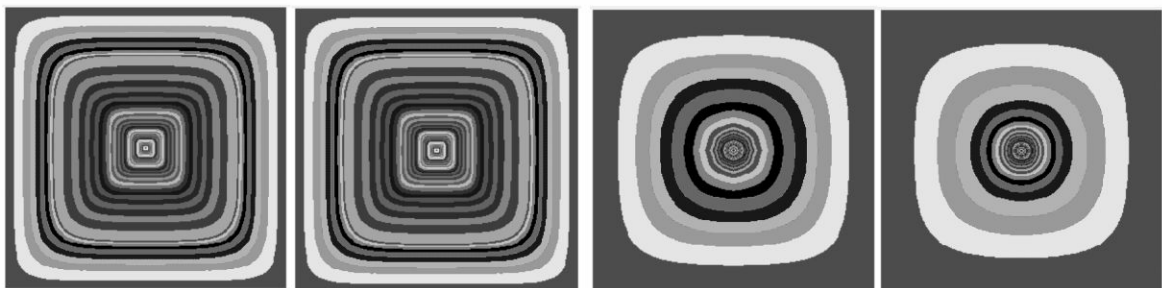


Hình 3. Phân bố nhiệt độ trong cột tại (a) 30 phút, (b) 60 phút, (c) 90 phút, (d) 120 phút [3]

Để phục vụ cho lập trình, các tác giả đề xuất một phương pháp nội suy gần đúng nhằm số hóa nhiệt độ tại một tọa độ bất kỳ trên mặt cắt ngang của cột khi chịu đường gia nhiệt ISO 834 như sau [7]: Tại điểm M có tọa độ (x,y) trên mặt cắt ngang, kẻ đường thẳng tới trọng tâm O (0,0) của tiết diện được đường thẳng OM. Đường thẳng OM cắt hai đường cong nhiệt độ gần nhất được hai điểm A có nhiệt độ T_1 và B có nhiệt độ T_2 . Từ hai đoạn thẳng AM và MB và hai nhiệt độ T_1 , T_2 nội suy tuyến tính được nhiệt độ tại M (Hình 4). Kết quả được thể hiện trên Hình 5.



Hình 4. Nội suy nhiệt độ



a. Dải phân bố nhiệt tại 30 phút (R30)



b. Dải phân bố nhiệt độ tại 60 phút (R60)



c. Dải phân bố nhiệt độ tại 90 phút (R90)



d. Dải phân bố nhiệt độ tại 120 phút (R120)

Hình 5. Số hóa nhiệt độ trong cột tại (a) 30 phút (b) 60 phút (c) 90 phút (d) 120 phút



4. Xây dựng biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép ở nhiệt độ cao [5,6]

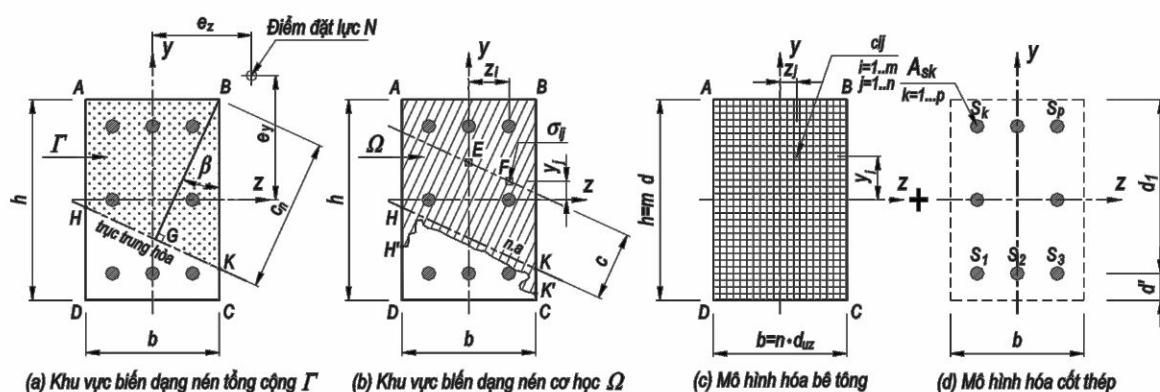
4.1 Ứng xử của cột bê tông cốt thép khi chịu lực ở nhiệt độ cao

Trong hệ thống kết cấu nhà, cột là cấu kiện truyền tải trọng từ các tầng trên thông qua các tầng dưới xuống kết cấu móng. Trong các công trình dân dụng và công nghiệp, các yêu cầu khác nhau về công năng kiến trúc có thể dẫn tới cột chịu nén lệch tâm xiên, nén lệch tâm phẳng hoặc chỉ chịu lực dọc thuần túy khi độ lớn của mômen không đáng kể và có thể bỏ qua. Khi chịu tác dụng của nhiệt độ cao, các tính chất cơ lý của bê tông và cốt thép đều bị ảnh hưởng bất lợi, dẫn đến giảm đáng kể cả cường độ và độ cứng của cột. Sự bong tróc của bê tông không những làm tăng nhiệt độ phân bố bên trong cột, mà còn làm giảm lực dính giữa bê tông và cốt thép, dẫn tới làm giảm khả năng chịu lực của cột. Khác với tại nhiệt độ thường, tại nhiệt độ cao xuất hiện thêm một số loại biến dạng là: (i) Biến dạng nhiệt phụ thuộc sự giãn nở nhiệt và sự cản nhiệt; (ii) Biến dạng tức thời là biến dạng phát sinh trong bê tông dưới ứng suất nén khi gia nhiệt, biến dạng này xuất hiện tức thời và không phục hồi được do ảnh hưởng của lượng nước chưa thủy hóa, keo dán xi măng trong bê tông, lực dính với cốt liệu; và (iii) Biến dạng từ biến trong cốt thép. Quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông và cốt thép cũng thay đổi khi nhiệt độ tăng cao với sự giảm của cường độ và mô đun đàn hồi và sự tăng của biến dạng tới hạn. Các yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp tới ứng xử của cột BTCT khi chịu tác động đồng thời của nhiệt độ, sự cản nhiệt và tải trọng tác dụng lệch tâm.

Các giả thiết tính toán biểu đồ tương tác của cột BTCT ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn EC2 bao gồm: (i) Tiết diện giữ nguyên được tính chất phẳng sau biến dạng; (ii) Biến dạng tổng cộng trong bê tông và cốt thép lân cận là bằng nhau; (iii) Ứng suất trong bê tông và cốt thép có thể được tính từ biến dạng sử dụng qua mối quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông và cốt thép ở nhiệt độ cao; (iv) Bê tông được giả định bị phá hoại khi đạt tới một biến dạng cực đại được đề xuất; (v) Cường độ chịu kéo của bê tông ở nhiệt độ cao và hiệu ứng biến dạng cắt được bỏ qua khi phân tích; (vi) Hiện tượng oằn và xoắn của cột được bỏ qua khi phân tích; (vii) Ảnh hưởng của biến dạng trượt là rất nhỏ và không đáng kể; (viii) Cột bị nung nóng đều ở cả bốn mặt; và (ix) Bỏ qua sự suy giảm lực dính giữa bê tông và cốt thép do sự bong tróc của bê tông.

4.2 Mô hình tính toán xây dựng biểu đồ tương tác ở nhiệt độ cao [6,7]

Việc phân tích tiết diện trong điều kiện nhiệt độ cao là phức tạp hơn so với ở điều kiện nhiệt độ thường do ba nguyên nhân sau: (i) Khó xác định được hình dạng đa giác ABHK; (ii) Các vùng nén khác nhau được tạo ra từ đa giác ABHK có sự hiện diện của các thành phần biến dạng khác nhau là biến dạng nhiệt và biến dạng cơ học; và (iii) Sự phân bố biến dạng trong vùng nén là không đồng nhất do quá trình truyền nhiệt trên mặt cắt ngang (Hình 6).



Hình 6. Mô hình tính toán biểu đồ tương tác

Vì vậy, phương pháp giả thiết vùng nén hình chữ nhật tương đương khó có thể được áp dụng trong các phép phân tích. Để khắc phục khó khăn này, tiến hành rời rạc hóa tiết diện cột BTCT thành những phần tử bê tông (Hình 6(a)) và phần tử cốt thép (Hình 6(b)), từ đó thu được đóng góp của bê tông vào khả năng chịu lực bằng cách tích hợp các ứng suất nén cơ học trên vùng nén. Khi nhiệt độ đạt tới một giá trị θ , nội lực do bê tông gây ra được tính như sau:

$$F_{cc} = \int_{\Omega} \sigma_{cij}^{\theta} d\Omega ; M_{cy}^{\theta} = \int_{\Omega} \sigma_{cij}^{\theta} z_i d\Omega ; M_{cz}^{\theta} = \int_{\Omega} \sigma_{cij}^{\theta} y_i d\Omega \quad (3)$$

Trong đó Ω đại diện cho vùng nén và z_i, y_i là tọa độ tương ứng của các phần tử bê tông.

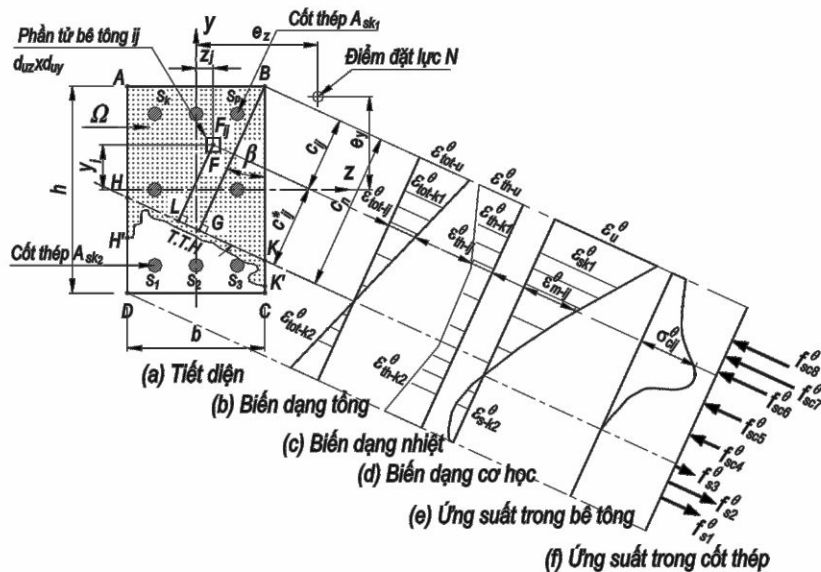
4.3 Các bước xây dựng biểu đồ tương tác [6,7]

Bước 1: Chuẩn bị dữ liệu gồm kích thước cột, bố trí thép, thông số vật liệu và dữ liệu nhiệt độ;

Bước 2: Khởi tạo trục trung hòa đại diện bởi hai tham số góc xoay β và khoảng cách c_n ;

Bước 3: Tính toán ứng suất trên từng phần tử bê tông và cốt thép từ tổng biến dạng tới hạn tại điểm B đó là ε_u^{θ} . Giá trị ε_u^{θ} được tính từ hai tham số: nhiệt độ tại điểm B thu được từ phân tích nhiệt và biến dạng phá hoại tiêu chuẩn; $\varepsilon_{cl}^{\theta}$ là biến dạng ứng với cường độ nén ở nhiệt độ θ ; $\varepsilon_{cu1}^{\theta}$ là biến dạng ở nhiệt độ θ ; $\varepsilon_{cl}^{\theta}$ và $\varepsilon_{cu1}^{\theta}$ được lấy theo tiêu chuẩn EC2. Giả thiết $\varepsilon_u^{\theta} = \varepsilon_{cl}^{\theta} + 10^{-3}$, giá trị này của ε_u^{θ} vừa luôn đảm bảo nằm giữa các giá trị của $\varepsilon_{cl}^{\theta}$ và $\varepsilon_{cu1}^{\theta}$, vừa thỏa mãn tại điều kiện nhiệt độ thường. Theo tiêu chuẩn EC2 [3], biến dạng tổng cộng tới hạn tại điểm B được lấy bằng tổng của biến dạng cơ học tới hạn ε_u^{θ} và biến dạng nhiệt $\varepsilon_{th-u}^{\theta}$:

$$\varepsilon_{tot-ij}^{\theta} = \frac{C_{ij}^*}{C_n} \varepsilon_{tot-u}^{\theta} - \varepsilon_{th-ij}^{\theta} \quad (4)$$



Hình 7. Các bước tính toán biểu đồ tương tác

Bước 4: Tính toán tọa độ biểu đồ tương tác:

$$N_{Rd}^{\theta} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{cij}^{\theta} d_{uy} d_{uz} + \sum_{k_1=1}^{p_c} A_{sk_1} (f_{sck_1}^{\theta k_1} - \sigma_{sck_1}^{\theta k_1}) + \sum_{k_2=1}^{p-p_c} A_{sk_2} f_{sck_2}^{\theta k_2} \quad (5)$$

$$M_{Rdy}^{\theta} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{cij}^{\theta} d_{uy} d_{uz} z_j + \sum_{k_1=1}^{p_c} A_{sk_1} (f_{sck_1}^{\theta k_1} - \sigma_{sck_1}^{\theta k_1}) z_{k_1} + \sum_{k_2=1}^{p-p_c} A_{sk_2} f_{sck_2}^{\theta k_2} z_{k_2} \quad (6)$$

$$M_{Rdz}^{\theta} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{cij}^{\theta} d_{uy} d_{uz} y_j + \sum_{k_1=1}^{p_c} A_{sk_1} (f_{sck_1}^{\theta k_1} - \sigma_{sck_1}^{\theta k_1}) y_{k_1} + \sum_{k_2=1}^{p-p_c} A_{sk_2} f_{sck_2}^{\theta k_2} y_{k_2} \quad (7)$$

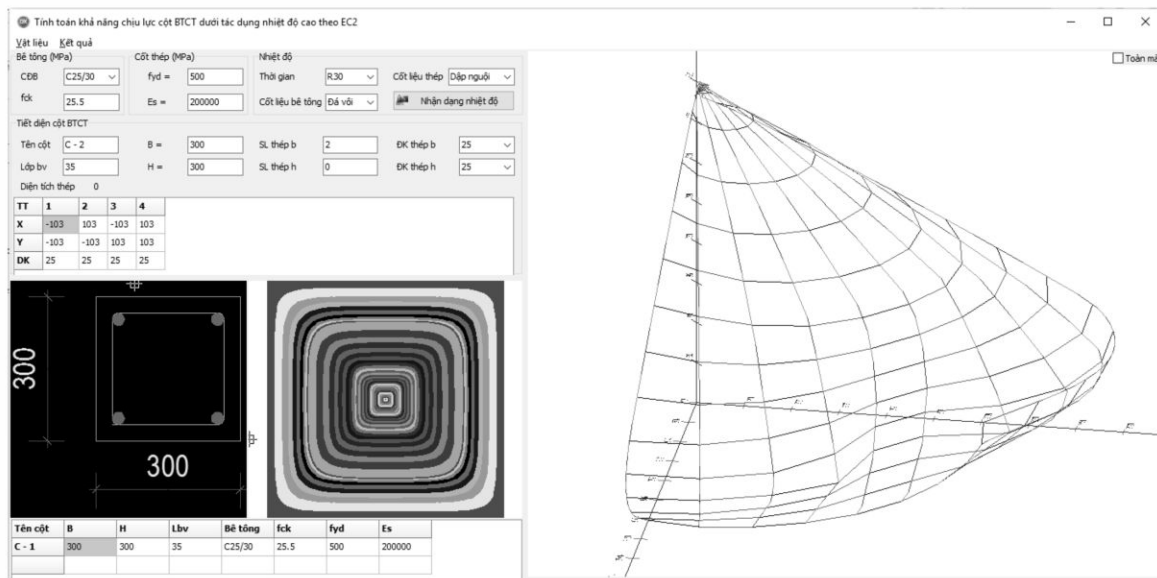
trong đó i, j là các chỉ số để xác định vị trí của các phần tử bê tông chịu nén; k_1, k_2 là các chỉ số để xác định vị trí của các thanh thép trên mặt cắt ngang; p là tổng số thanh thép trên mặt cắt ngang; p_c là tổng số thanh thép thuộc vùng nén trên mặt cắt ngang; z_j, y_j là tọa độ của các phần tử bê tông trên mặt cắt ngang; z_{k_1}, y_{k_1} là tọa độ của các thanh thép trên mặt cắt ngang; $\sigma_{sck_1}^{\theta k_1}$ là ứng suất kéo của thép trong vùng chịu nén; $f_{sck_1}^{\theta k_1}, f_{sck_2}^{\theta k_2}$ là ứng suất của thép trong vùng chịu nén và chịu kéo của thép; $\theta_j, \theta_{k_1}, \theta_{k_2}$ là các nhiệt độ tương ứng.

Trong mô hình này, phần diện tích bê tông bị chiếm bởi cốt thép được kể đến bằng cách trừ đi ứng suất trong thanh thép một lượng bằng ứng suất trong bê tông tại vị trí trùng với vị trí của thanh thép.

Bước 5: Quay lại bước 2 tiếp tục tính toán cho đến khi xảy ra hết tất cả các trường hợp của cột chịu nén. Từ đó xây dựng được mặt cong của biểu đồ tương tác.

4.4 Phần mềm tính toán xây dựng biểu đồ tương tác ở nhiệt độ cao [7]

Dựa vào các nguyên tắc nêu trên, các tác giả đã xây dựng phần mềm máy tính sử dụng ngôn ngữ lập trình Embarcadero Delphi (Hình 8). Phần mềm có khả năng số hóa và tra cứu nhiệt độ tại một điểm bất kỳ trên mặt cắt ngang tiết diện cột 300mm×300mm tại các thời điểm 30, 60, 90 và 120 phút kể từ khi cột bị tác động bởi đường gia nhiệt ISO 834.



Hình 8. Giao diện phần mềm xây dựng biểu đồ tương tác của cột BTCT ở nhiệt độ cao

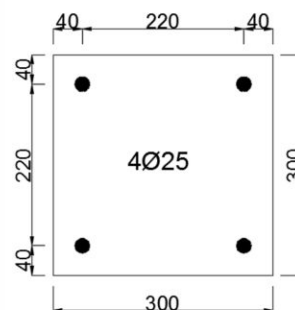
Khả năng chịu lực của cột tại các thời điểm 30, 60, 90 và 120 phút được xây dựng dựa trên các đặc trưng cơ lý của bê tông và cốt thép tại từng vị trí cụ thể trên tiết diện với nhiệt độ tương ứng. Trong phần mềm, tại một phần tử bất kỳ của tiết diện ngang trên Hình 6(c) và 6(d), khi nhiệt độ được xác định theo thuật toán giới thiệu ở Mục 3 và biến dạng cơ học được xác định theo Mục 4.3, ứng suất tương ứng tại các phần tử bê tông và cốt thép được tính toán dựa trên quan hệ ứng suất biến dạng của vật liệu giới thiệu trong Mục 2. Từ các phép tích phân trong các biểu thức (5), (6), (7), phần mềm có thể tự động tính toán khả năng chịu lực của cột.



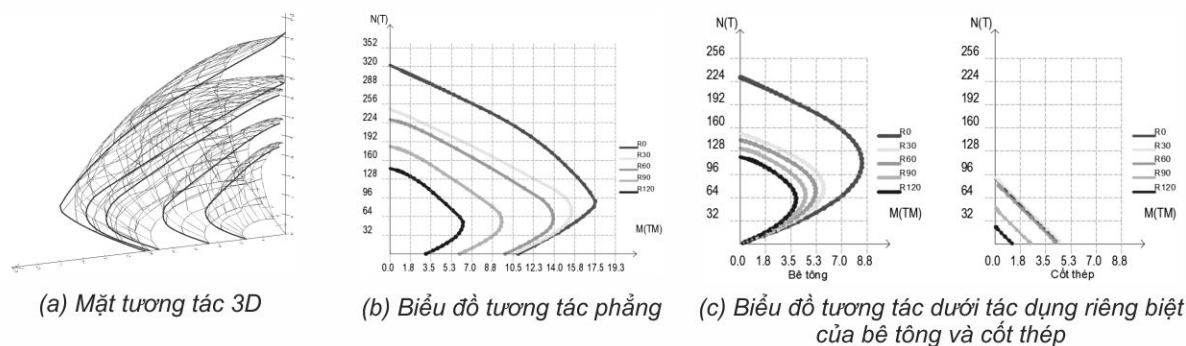
5. Ví dụ tính toán

Phần mềm giới thiệu trong Mục 4.4 được sử dụng để xác định khả năng chịu lực của cột BTCT tiết diện 300x300mm, f_c=25.5MPa, cốt thép 425, f_y=500MPa, E_s=200000MPa. Cốt liệu đá vôi, thép cán nóng. Lớp bê tông bảo vệ tính đến tim cốt thép dọc là 40mm (Hình 9). Kết quả được thể hiện trong Hình 10.

Hình 10 cho thấy phần mềm do các tác giả thực hiện có thể xác định khả năng chịu lực tại nhiệt độ cao của cột BTCT cả khi chịu nén lệch tâm phẳng (dưới dạng biểu đồ tương tác) lẫn khi chịu nén lệch tâm xiên (dưới dạng mặt tương tác). Bên cạnh đó, phần mềm cũng có thể phân tích sự đóng góp của bê tông và cốt thép vào khả năng chịu lực của cột khi cháy. Đây là cơ sở quan trọng để xác định khả năng chịu lửa của cột tại các thời điểm 30, 60, 90 và 120 phút được quy định tương ứng trong Tiêu chuẩn EC2 là R30, R60, R90 và R120. Ngoài ra, phần mềm này cũng có thể xác định được R180 và R240.



Hình 9. Mô hình tính toán



Hình 10. Kết quả tính toán



6. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trình bày trong bài báo này cho thấy:

- Sự suy giảm của các tính chất cơ lý của bê tông và cốt thép khi nhiệt độ tăng cao ảnh hưởng trực tiếp tới sự làm việc và khả năng chịu lực của cột BTCT ở nhiệt độ cao;
- Phần mềm do các tác giả đề xuất đã số hoá được sự phân bố nhiệt độ trong tiết diện ngang của một số cột BTCT theo tiêu chuẩn EC2 phần 1.2 khi chịu đường gia nhiệt ISO 834;
- Phần mềm do các tác giả đề xuất đã đưa ra được các biểu đồ tương tác (N , M_x) và (N , M_y) trên các mặt phẳng chính của tiết diện chữ nhật, cũng như mặt tương tác (N , M_x , M_y) tại các thời điểm 30, 60, 90, 120, 180 và 240 phút của đường gia nhiệt ISO 834 theo của tiêu chuẩn EC2 phần 1.2;
- Sự tham gia của bê tông vào khả năng chịu lực của cột giảm đáng kể khi nhiệt độ tăng trong 30 phút đầu nếu cột bị gia nhiệt theo đường Tiêu chuẩn ISO 834 (Hình 10(c));
- Sự tham gia của cốt thép vào khả năng chịu lực của cột giảm không đáng kể khi nhiệt độ tăng trong 60 phút đầu nếu cột bị gia nhiệt theo đường Tiêu chuẩn ISO 834 (Hình 10(c)).

Trong thời gian tới, các kết quả thu được từ phần mềm cần được kiểm chứng qua thí nghiệm nén cột khi bị cháy trong điều kiện Việt Nam. Sau đó, phần mềm có thể được sử dụng để khảo sát các thông số ảnh hưởng tới sự làm việc của cột BTCT ở nhiệt độ cao như so sánh cốt liệu gốc đá vôi và gốc silic, thép cán nóng và thép kéo nguội, hoặc so sánh các giải pháp bố trí cốt dọc trong cột ...). Phần mềm này cũng có thể được phát triển cho các tiết diện cột BTCT mà sự phân bố nhiệt độ không được cho sẵn trong Tiêu chuẩn EC2, cũng như để xác định khả năng chịu lực tại nhiệt độ cao của cột BTCT có tiết diện chữ T, L, C, ...

Tài liệu tham khảo

1. ACI 216.1 (2007), *Code Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies*, American Society of Civil Engineers, NY 10017-2398.
2. BS 8110-1997 (1997), *Structural use of concrete, Part 1: Code of practice for design and construction*, British Standard Institute, London.
3. EN 1992-1-2:2004 (2004), *Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-2: General rules - structural fire design*.
4. ISO 834 (1975), *Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction*.
5. Richard W. Furlong, Cheng-Tzu Thomas Hsu, S. Ali Mirza (2004), "Analysis and Design of Concrete Columns for Biaxial Bending-Overview", *ACI structural journal*, 101-S42 (413-423).
6. Nguyen T-T (2013), *Structural behaviour and fire-resistant analysis of reinforced concrete columns at elevated temperatures*, PhD Thesis, Nanyang Technological University (NTU), Singapore.
7. Nguyễn Tuấn Ninh (2016), *Biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn EC2*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Xây dựng.