

Khảo sát sự tăng nhiệt độ của dầm thép có vật liệu chống cháy trong đám cháy, sử dụng phương pháp nhiệt độ tới hạn

Survey of increase of temperature of steel beams with fire-resistive materials in fire, using critical temperature method

Mai Trọng Nghĩa

Tóm tắt

Bài báo trình bày phương pháp tính nhiệt độ của dầm thép có lớp bảo vệ trong đám cháy, sử dụng phương pháp nhiệt độ tới hạn theo tiêu chuẩn Châu Âu. Sử dụng phương pháp này, khảo sát quan hệ nhiệt độ- thời gian trong dầm thép khi thay đổi chiều dày và loại vật liệu bọc chống cháy, từ các kết quả thu được để đưa ra các nhận xét, kiến nghị cho việc chọn vật liệu bọc chống cháy cho dầm thép.

Từ khóa: Dầm thép, Phương pháp nhiệt độ tới hạn, vật liệu bọc chống cháy

Abstract

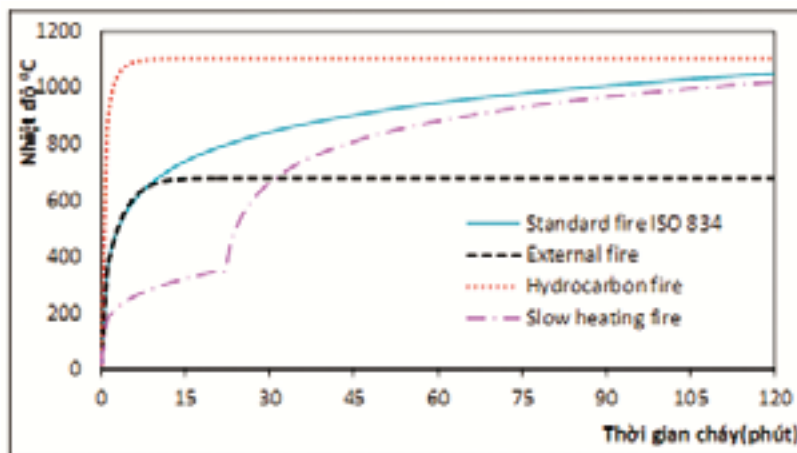
The paper presents the method of calculating the temperature of steel beams with fire-resistive material in the fire, using the method of critical temperature according to European standards. Using this method, investigating the temperature-time relationship in steel beams when changing the thickness and type of fire-resistive material, from the results obtained to make comments and recommendations for selecting fire-resistive material for steel beams.

Key words: Steel beam, critical temperature method, fire-resistive material

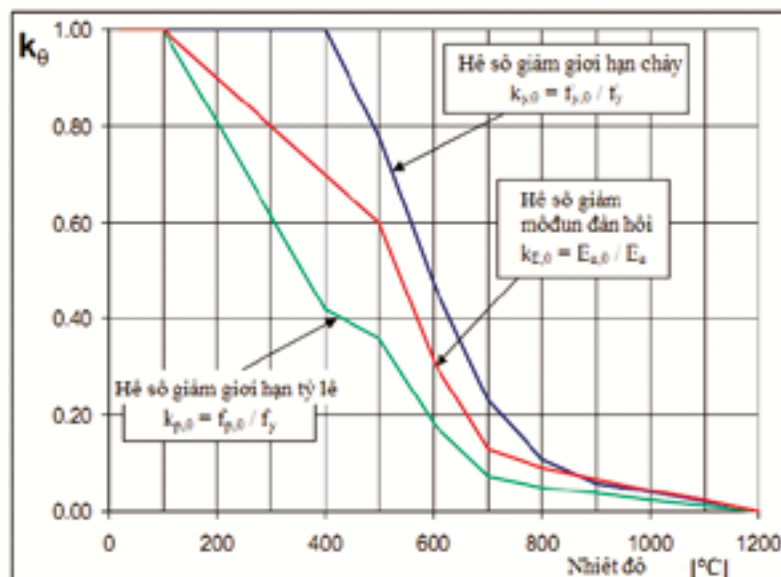
1. Giới thiệu

Kết cấu thép có ưu điểm trọng lượng nhẹ, khả năng chịu lực kém, độ tin cậy cao, nhược điểm chịu lửa kém, tính chất cơ lý giảm nhanh khi nhiệt độ tăng trong đám cháy. Dầm thép là cấu kiện được dùng phổ biến. Vật liệu chống cháy bọc dầm thép được sử dụng nhằm tăng thời gian chịu được đám cháy. Việc lựa chọn chủng loại, chiều dày, tính chất cơ lý của vật liệu bọc đảm bảo dầm thép khi chịu cháy theo yêu cầu thiết kế về chịu lửa.

Theo Tiêu chuẩn EN 1993-1-2, khả năng chống cháy của kết cấu thép thể hiện qua việc đáp ứng 3 nội dung cơ bản sau:



Hình 1. Một số đường tăng nhiệt độ đám cháy theo tiêu chuẩn châu Âu [2]



Hình 2. Biểu đồ hệ số suy giảm mô đun đàn hồi, giới hạn chảy và giới hạn tỷ lệ của vật liệu thép ở nhiệt độ cao [3]

ThS. Mai Trọng Nghĩa

Bộ môn kết cấu thép gỗ

Khoa Xây dựng

ĐT: 0982405689

Email: nghiamt@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 12/5/2020

Ngày sửa bài: 28/5/2020

Ngày duyệt đăng: 9/3/2022

- Thời gian chịu lửa kết cấu $\geq$ thời gian chịu lửa yêu cầu;
- Đảm bảo khả năng chịu lửa tại thời điểm yêu cầu;
- Nhiệt độ tới hạn cấu kiện lớn hơn so với nhiệt độ thiết kế của cấu kiện tại thời điểm yêu cầu.

Theo Tiêu chuẩn EN 1993-1-2, có ba phương pháp tính toán có thể được sử dụng để phân tích ứng xử của kết cấu thép khi chịu lửa, kết hợp với 3 nội dung cơ bản ở trên:

- Phương pháp nhiệt độ tới hạn - phương pháp này đơn giản được sử dụng phổ biến nhất cho đánh giá khả năng chống cháy của các cấu kiện;

- Các mô hình tính toán đơn giản - phương pháp thiết kế này bao gồm tất cả các mô hình cơ học đơn giản được phát triển cho phân tích các cấu kiện;

- Các mô hình tính toán nâng cao – phương pháp thiết kế này có thể được áp dụng cho tất cả các loại kết cấu, dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, hiện được áp dụng rộng rãi trong tính toán vì có nhiều lợi thế.

Trong phạm vi bài báo này, đề cập đến trình tự tính toán phương pháp nhiệt độ tới hạn. Phương pháp này đơn giản, dễ sử dụng, có đủ độ tin cậy cho người tính toán kết cấu thép ở Việt Nam. Phương pháp này thường áp dụng trong thực hành thiết kế kết cấu thép theo tiêu chuẩn Âu Châu. Một số kết quả khảo sát nhiệt độ trong dầm thép khi thay đổi chiều dày và loại vật liệu bọc chống cháy được thực hiện để có các nhận xét, kiến nghị cho việc thiết kế dầm thép có vật liệu bọc chống cháy.

1.1. Sự tăng nhiệt độ trong dầm thép trong điều kiện chịu lửa theo thời gian

Mỗi một đám cháy có đường cong quan hệ nhiệt độ và thời gian cháy khác nhau nhưng để phân tích tính toán hoặc tiến hành thí nghiệm có thể quy về các đường cong nhiệt độ - thời gian cháy tiêu chuẩn trên Hình 1. Nhiệt độ ở đây được tính là nhiệt độ trên biên bề mặt kết cấu. Đường Standard phù hợp cho việc mô phỏng đám cháy trong các công trình mà vật liệu gây cháy là vật liệu gốc xenlulozơ. Đường Hydrocarbon phù hợp cho việc mô phỏng đám cháy có nguồn gốc từ hydrocarbon, những đám cháy này tăng nhiệt độ lên rất cao và nhanh. Đường External phù hợp cho việc mô phỏng các đám cháy xảy ra bên ngoài công trình. Đường Slow heating phù hợp cho việc mô phỏng đám cháy có nguồn gốc từ các vật liệu xảy ra phản ứng hấp thụ nhiệt. Trong kết cấu nhà cửa thường được thiết kế chịu cháy với đường Standard. Đường này được gọi là đường chuẩn ISO 834.

Đường chuẩn ISO 834 được xác định từ phương trình sau:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (1)$$

Trong đó: t là thời gian (phút); T là nhiệt độ trong buồng cháy ($^{\circ}\text{C}$) và T_0 là nhiệt độ ban đầu của buồng cháy (thường lấy 20°C).

1.2. Các đặc tính của vật liệu thép dầm dưới tác động của nhiệt độ cao

Trên Hình 2 thể hiện quan hệ giữa hệ số suy giảm mô đun đàn hồi, giới hạn chảy và giới hạn tỷ lệ của vật liệu thép theo nhiệt độ, trong đó: $f_{p, \theta}$, $f_{y, \theta}$ và $E_{a, \theta}$ lần lượt là giới hạn đàn hồi, giới hạn chảy và mô đun đàn hồi của vật liệu ở nhiệt độ θ ; f_y và E_a là giới hạn chảy và mô đun đàn hồi của vật liệu ở nhiệt độ thường.

Khi nhiệt độ tăng trong đám cháy, với vật liệu thép, giới hạn chảy bắt đầu giảm ở nhiệt độ trên 400°C . Ở nhiệt độ 550°C chỉ còn lại 60% cường độ ở nhiệt độ thường tại Hình



Hình 3. Dầm thép được sử dụng lớp vữa CAFCO bảo vệ chống cháy và dầm thép bọc thạch cao Gyproc

2. Tiêu chuẩn EN 1993-1-2 [3] đưa ra phương pháp tính toán kết cấu thép đảm bảo an toàn cháy dựa trên nhiệt độ tới hạn. Phương pháp này giả thiết nhiệt độ trong tiết diện thép nhỏ hơn nhiệt độ tới hạn là đảm bảo kết cấu đủ khả năng chịu lực. Với dầm thép hay cột tiếp xúc 3 mặt với lửa thì nhiệt độ tới hạn 620°C , với cột có 4 mặt tiếp xúc lửa thì 550°C .

Việc xác định nhiệt độ của dầm thép trong quá trình chịu lửa để xác định kết cấu có đảm bảo an toàn cháy hay không.

1.3. Các bước tính nhiệt độ tới hạn của dầm thép không có và có lớp bảo vệ trong điều kiện cháy, sử dụng phương pháp đơn giản theo Tiêu chuẩn EN 1993-1-2

Trình tự tính toán theo phương pháp nhiệt độ tới hạn của Tiêu chuẩn EN 1993-1-2 gồm 5 bước chính:

Bước 1: Xác định tải trọng lên cấu kiện trong điều kiện chịu lửa $E_{fi, d, t}$;

Bước 2: Phân loại tiết diện cấu kiện;

Bước 3: Xác định khả năng chịu lực của cấu kiện $R_{fi, d, 0}$;

Bước 4: Xác tỷ số tải trọng μ_0 ;

Bước 5: Xác định nhiệt độ tới hạn của dầm $\theta_{a,cr}$ qua công thức thực nghiệm.

Khi tính toán với dầm không có lớp bảo vệ, nếu không đảm bảo khả năng chịu lực khi cháy thì phải sử dụng biện pháp bảo vệ cấu kiện trước ảnh hưởng của lửa. Với dầm thép, có lớp bảo vệ có tác dụng rõ rệt. Quan sát đồ thị quan hệ nhiệt độ trong cấu kiện theo thời gian tại hình 4. Sau 60 phút nhiệt độ trong dầm có lớp bảo vệ đạt khoảng 419°C so với khoảng 925°C nếu không có lớp bảo vệ.

Tiêu chuẩn EN 1993-1-2 cũng đưa ra các bước tính toán nhiệt độ tới hạn của dầm thép không có và có lớp bảo vệ thử tự như sau:

2. Khảo sát ảnh hưởng của tiết diện dầm thép và vật liệu bọc chống cháy tới nhiệt độ trong dầm thép có lớp bảo vệ

2.1. Ảnh hưởng của hệ số tiết diện

Hệ số tiết diện A_p/V là tỉ số diện tích bề mặt tiếp xúc với lửa trên thể tích. Cấu kiện có hệ số tiết diện lớn sẽ bị tăng nhiệt nhanh hơn cấu kiện có hệ số tiết diện nhỏ. Đơn vị của hệ số tiết diện là m^{-1} . Một số tiết diện có hệ số tiết diện A_p/V khác nhau được khảo sát trong bài báo này. (Bảng 1)

Trên Hình 5 giới thiệu kết quả tính nhiệt độ trong cấu kiện thép không bọc chống cháy có tiết diện khác nhau theo thời gian cháy.

Nhận xét: Hệ số tiết diện có ảnh hưởng đáng kể đến nhiệt độ tăng trong dầm thép khi chịu cháy. Khi dầm không bọc vật liệu chống cháy thì chỉ sau 9,8 phút đến 25 phút chịu cháy, nhiệt độ trong dầm đạt nhiệt độ tới hạn $\theta_{a,cr} = 550^\circ C$, dầm thép đã mất phần lớn khả năng chịu lực. Để dầm thép đảm bảo điều kiện an toàn cháy thì cần có lớp bọc bảo vệ bọc chống cháy.

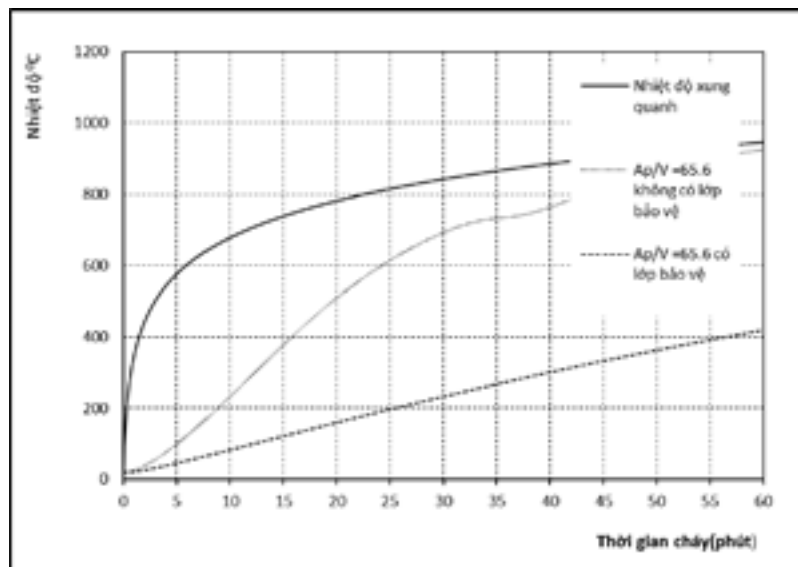
Vật liệu chống cháy phổ biến hiện nay tại Việt Nam là vữa chống cháy, thạch cao chống cháy.

Dùng vữa chống cháy CAFCO 300 dày 15 mm có: khối lượng riêng $\rho = 240$ (kg/m^3), độ dẫn nhiệt vữa $\lambda = 0.078$ (W/mK), nhiệt dung riêng $c_p = 700$ (J/kgK);

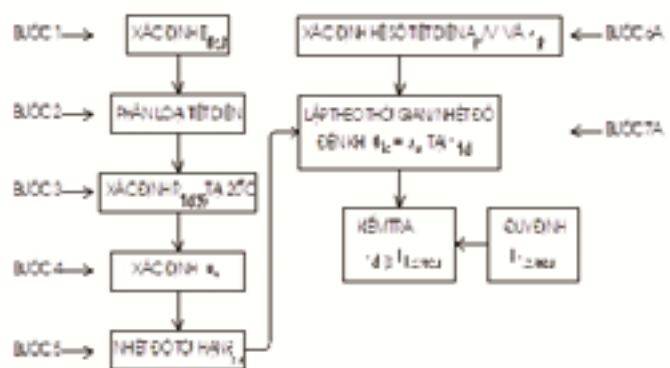
Dùng tấm thạch cao chống cháy Gyproc chiều dày 12,5 mm và 15 mm. Khối lượng riêng $\rho = 160$ (kg/m^3), độ dẫn nhiệt vữa $\lambda = 0.19$ (W/mK), nhiệt dung riêng $c_p = 1000$ (J/kgK).

Nhận xét: Giới hạn chịu lửa của dầm với các tiết diện khác nhau, lớp bọc chống cháy như nhau, có giới hạn chịu lửa khác nhau. Dầm thép đạt nhiệt độ tới hạn $\theta_{a,cr} = 550^\circ C$ sau 29,8 phút đối với tiết diện có $A_p/V = 290,4$ m^{-1} và sau 55 phút đối với tiết diện có $A_p/V = 121,8$ m^{-1} .

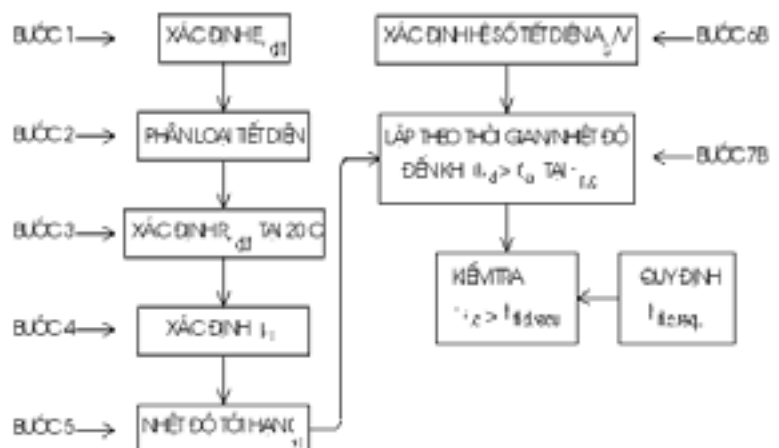
Cùng lớp bọc bảo vệ chống cháy, nhiệt độ trong dầm thép tăng đáng kể khi hệ số tiết diện A_p/V tăng. Với lớp vữa CAFCO dày 15mm, tại thời gian cháy 60 phút, nhiệt độ



Hình 4. Đồ thị quan hệ nhiệt độ-thời gian trong dầm thép được sử dụng lớp bảo vệ chống cháy

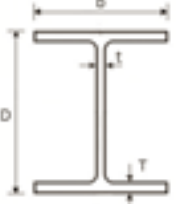


Hình 5. Trình tự xác định nhiệt độ tới hạn của cấu kiện thép không có lớp bảo vệ



Hình 6. Trình tự xác định nhiệt độ tới hạn của cấu kiện thép có lớp bảo vệ

Bảng 1. Loại tiết diện khảo sát và hệ số tiết diện

Hình dạng	Loại tiết diện				
	HE 300M	HE 200B	HE 140A	HE 100A	HE 100AA
	D = 340 mm	D = 200 mm	D = 133 mm	D = 96 mm	D = 91 mm
	b = 310 mm	b = 200 mm	b = 140 mm	b = 100 mm	b = 100 mm
	T = 39 mm	T = 15 mm	T = 8.5 mm	T = 8 mm	T = 5,5 mm
	t = 21 mm	t = 9 mm	t = 5,5 mm	t = 5 mm	t = 4,2 mm
	Hệ số tiết diện: $A_p/V = 50,2 \text{ m}^{-1}$	Hệ số tiết diện: $A_p/V = 121,8 \text{ m}^{-1}$	Hệ số tiết diện: $A_p/V = 208,3 \text{ m}^{-1}$	Hệ số tiết diện: $A_p/V = 217,5 \text{ m}^{-1}$	Hệ số tiết diện: $A_p/V = 290,4 \text{ m}^{-1}$

dầm thép là 400°C đối với tiết diện có $A_p/V = 50,2 \text{ m}^{-1}$ và xấp xỉ 600°C đối với tiết diện có $A_p/V = 290,4 \text{ m}^{-1}$).

2.2. Ảnh hưởng của chiều dày vật liệu bọc chống cháy: thạch cao, vữa

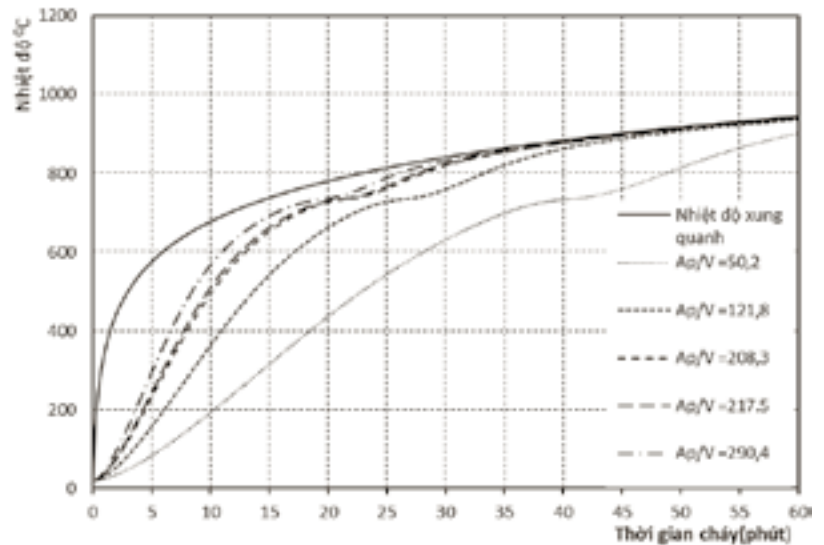
2.2.1. Thạch cao chống cháy, chiều dày tấm 12,5 mm, 15 mm, 2 tấm theo tổ hợp 2x12,5 mm, 12,5mm+15mm, 2x15 mm (Hình 10)

Khảo sát tiết diện HE 300M có $A_p/V = 50,2 \text{ m}^{-1}$ với thạch cao chống cháy chiều dày thay đổi. Dùng tấm thạch cao chống cháy Gyproc chiều dày 12,5 mm và 15 mm. Khối lượng riêng $\rho = 160 \text{ (kg/m}^3\text{)}$, độ dẫn nhiệt vữa $\lambda = 0.19 \text{ (W/mK)}$, nhiệt dung riêng $c_p = 1000 \text{ (J/kgK)}$.

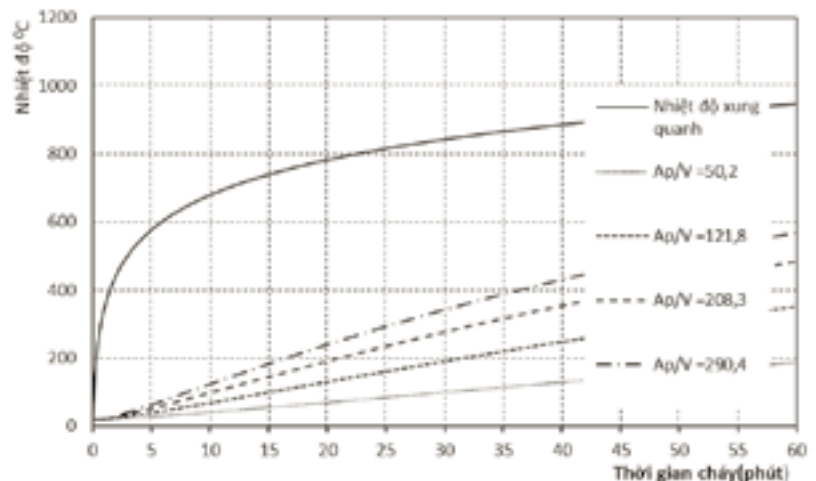
Nhận xét: Khả năng chống cháy của thạch cao Gyproc, 1 tấm đơn 12,5 mm đã có khả năng cách nhiệt đáng ghi nhận, nhiệt độ dầm thép sau 60 phút cháy khoảng 420°C. Khi dùng tổ hợp 2 tấm 12,5 mm nâng tổng chiều dày lên đến 25 mm, nhiệt độ dầm thép sau 60 phút cháy khoảng 235°C. Chiều dày thạch cao càng tăng, nhiệt độ dầm giảm đáng kể. Thiết kế dùng thạch cao Gyproc 2 lớp 12,5mm +15mm làm lớp chống cháy đã được dùng trong kết cấu hệ trần của Dự án cấp đặc biệt – Đài truyền hình Việt Nam – 8 trường quay nhỏ của khối cao tầng, 73 Nguyễn Chí Thanh, Hà Nội, thi công năm 2015. Quy mô khoảng 2.000m² trần.

2.2.2. Vữa chống cháy CAFCO, chiều dày 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 15 mm (Hình 11)

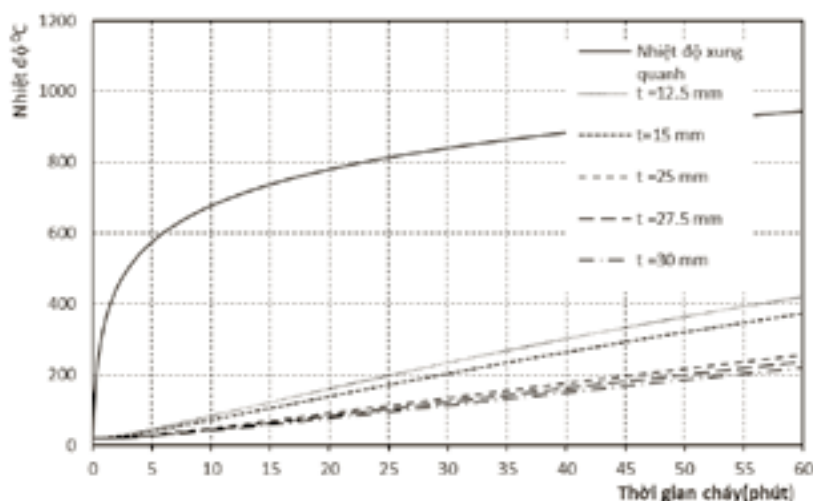
Nhận xét: Với tiết diện dầm HE300M, khả năng cách nhiệt của vữa CAFCO tốt vượt trội so với thạch cao có cùng chiều dày (ở đây tính toán với chiều dày 15mm), sau 60 phút, nhiệt độ dầm thép bọc vữa đạt 187°C và đạt 254°C với dầm bọc thạch cao. Về cơ bản khả năng cách nhiệt của vữa CAFCO tốt hơn đáng kể với thạch cao. Tuy nhiên giá thành bọc lại cao hơn bọc thạch cao. Khảo sát chiều dày lớp vữa từ 8 mm đến 15 mm, sau 60 phút, nhiệt độ trong dầm đạt giá trị từ 298°C đến 187°C.



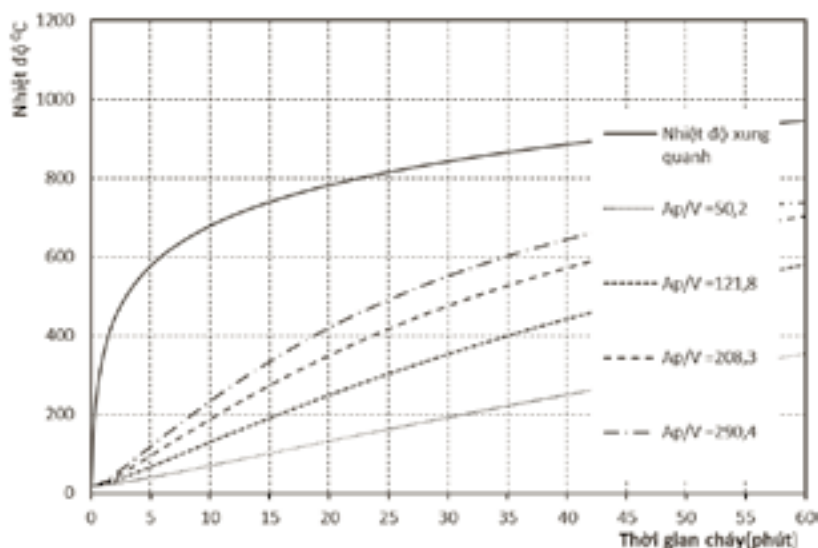
Hình 7. Biểu đồ gia tăng nhiệt độ của dầm thép không bọc vật liệu chống cháy với các hệ số tiết diện khác nhau



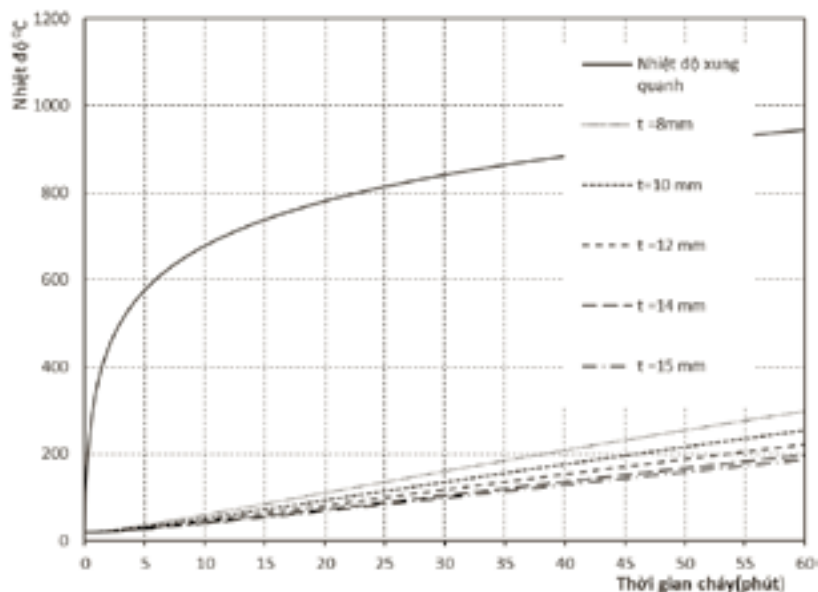
Hình 8. Biểu đồ gia tăng nhiệt độ của dầm thép bọc vữa CAFCO chống cháy dày 15 mm có các hệ số tiết diện khác nhau



Hình 9. Biểu đồ gia tăng nhiệt độ của dầm thép bọc thạch cao Gyproc chống cháy 15mm có các hệ số tiết diện khác nhau



Hình 10. Biểu đồ gia tăng nhiệt độ của dầm thép bọc thạch cao Gyproc chống cháy với chiều dày tăng dần



Hình 11. Biểu đồ gia tăng nhiệt độ của dầm thép bọc vữa CAFCO chống cháy với chiều dày tăng dần

3. Kết luận và kiến nghị

- Dùng phương pháp nhiệt độ tới hạn có thể tính sự gia tăng nhiệt độ trong kết cấu thép trong điều kiện cháy cho kết quả dễ sử dụng, có thể áp dụng nhanh trong thực tế với mức độ tin cậy chấp nhận được. Các tính toán có thể dễ dàng lập thành bảng tính, phục vụ thuận tiện công tác thuyết minh.

- Dầm thép khi không bọc vật liệu chống cháy có giới hạn chịu lửa rất thấp vì nhiệt độ trong dầm tăng nhanh có thể đạt đến 550°C chỉ sau 9 đến 25 phút khi cháy.

- Hệ số tiết diện ảnh hưởng đáng kể đến sự gia tăng nhiệt độ trong dầm thép, khi thiết kế chiều dày lớp vật liệu bọc chống cháy để đảm bảo giới hạn chịu lửa yêu cầu của tiết diện cần tính toán đến;

- Với thạch cao chống cháy Gyproc cho hiệu quả cách nhiệt tốt, sau 60 phút dầm bọc thạch cao 12,5mm đạt 301°C, dầm bọc thạch cao 2 lớp 12,5mm + 15mm đạt 167°C, dầm bọc thạch cao 2 lớp 15mm đạt 156°C. Tùy theo yêu cầu sử dụng có thể tham khảo cách bọc thạch cao như trên. Thạch cao Gyproc sản xuất trong nước.

- Với vữa chống cháy CAFCO, là vữa nhập khẩu của Australia phổ biến trên thị trường Việt Nam, có các chỉ số về cách nhiệt tốt, tùy theo yêu cầu sử dụng chiều dày bọc vữa có thể tham khảo cách chọn chiều dày như trên./.

Tài liệu tham khảo

1. Chu Thị Bình, Mai Trọng Nghĩa, Phạm Thanh Hùng(2019). Tính sự gia tăng nhiệt độ của kết cấu thép trong đám cháy, sử dụng phần mềm SAFIR
2. EN 1991-1-2 (2002): Eurocode 1- Actions on structures - Part 1.2: General actions- Actions on structure exposed to fire, European committee for Standardization.
3. EN 1993-1-2 (2005): Eurocode 2- Design of steel structures - Part 1.2: General rules- Structural fire design, European committees for Standardization.