

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 9311-3:2012

ISO 834-3:1994

Xuất bản lần 1

**THỬ NGHIỆM CHỊU LỬA – CÁC BỘ PHẬN CÔNG TRÌNH
XÂY DỰNG – PHẦN 3: CHỈ DẪN VỀ PHƯƠNG PHÁP THỬ
VÀ ÁP DỤNG SỐ LIỆU THỬ NGHIỆM**

*Fire – resistance test – Elements of building construction –
Part 3: Commentary on test method and test data application*

Mục lục

	Trang
1 Phạm vi áp dụng.....	5
2 Tài liệu viện dẫn.....	5
3 Quy trình thử nghiệm chuẩn.....	6
3.1 Chế độ đốt nóng.....	6
3.2 Lò thử nghiệm.....	7
3.3 Làm khô mẫu thử.....	9
3.4 Cung cấp nhiên liệu và phân phối nhiệt.....	10
3.5 Kỹ thuật đo áp lực.....	11
3.6 Quy trình sau khi ngừng cấp nhiệt.....	11
3.7 Kích cỡ mẫu thử.....	12
3.8 Cấu tạo mẫu.....	12
3.9 Chất tải.....	12
3.10 Điều kiện biên và ngăn cản biến dạng.....	14
3.11 Hiệu chuẩn.....	16
4 Tiêu chí về tính chịu lửa.....	17
4.1 Mục tiêu.....	17
4.2 Khả năng chịu tải.....	17
4.3 Tính toàn vẹn.....	17
4.4 Tính cách nhiệt.....	18
4.5 Các đặc tính khác.....	18
5 Phân loại.....	18
6 Độ lặp lại và tái tạo lại.....	19
6.1 Độ lặp lại.....	19
6.2 Độ tái tạo lại.....	20
7 Phép nội suy và phép ngoại suy.....	21
7.1 Phép nội suy.....	21
7.2 Phép ngoại suy.....	21
8 Mối quan hệ giữa tính chịu lửa và đám cháy công trình.....	22
Thư mục tài liệu tham khảo.....	25

Lời nói đầu

TCVN 9311 -3 : 2012 hoàn toàn tương đương với ISO/TR 834- 3: 1994.

TCVN 9311-3 : 2012 được chuyển đổi từ TCXDVN 343 : 2005 (ISO/TR 834-3 : 1994) theo quy định tại khoản 1 Điều 69 của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật và điểm a) Khoản 1 Điều 7 Nghị định 127/2007/NĐ-CP ngày 01/8/2007 của Chính phủ quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật.

Bộ TCVN 9311 dưới tiêu đề chung là *"Thử nghiệm chịu lửa - Các bộ phận công trình xây dựng"* bao gồm những phần sau:

- TCVN 9311-1 : 2012, Phần 1: Yêu cầu chung.
- TCVN 9311-3 : 2012, Phần 3: Chỉ dẫn về phương pháp thử và áp dụng số liệu thử nghiệm.
- TCVN 9311-4 : 2012, Phần 4: Các yêu cầu riêng đối với bộ phận ngăn cách đứng chịu tải.
- TCVN 9311-5 : 2012 , Phần 5: Các yêu cầu riêng đối với bộ phận ngăn cách nằm ngang chịu tải
- TCVN 9311-6 : 2012, Phần 6: Các yêu cầu riêng đối với dầm.
- TCVN 9311-7 : 2012, Phần 7: Các yêu cầu riêng đối với cột.
- TCVN 9311-8 : 2012 , Phần 8: Các yêu cầu riêng đối với bộ phận ngăn cách đứng không chịu tải.

Bộ ISO 834 *Fire-resistance tests – Elements of building construction*, còn có các phần sau:

- ISO 834-9:2003, *Fire-resistance tests -- Elements of building construction -- Part 9: Specific requirements for non-loadbearing ceiling elements*
- ISO/DIS 834-10, *Fire resistance tests -- Elements of building construction -- Part 10: Specific requirements to determine the contribution of applied fire protection materials to structural elements*
- ISO/DIS 834-11, *Fire resistance tests -- Elements of building construction -- Part 11: Specific requirements for the assessment of fire protection to structural steel elements*

TCVN 9311-3 : 2012 do Viện Kiến trúc, Quy hoạch Đô thị và Nông thôn biên soạn, Bộ Xây dựng đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn - Đo lường - Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Thử nghiệm chịu lửa - Các bộ phận công trình xây dựng –

Phần 3: Chỉ dẫn về phương pháp thử và áp dụng số liệu thử nghiệm

Fire - resistance tests - Elements of building construction-

Part 3: Commentary on test method and test data application

1 Phạm vi áp dụng

Thông tin được cung cấp trong tiêu chuẩn này để giải trình bản chất và hướng dẫn sử dụng các phương pháp thử nghiệm chịu lửa và áp dụng các số liệu thu được. Tiêu chuẩn này cũng xác định một số các lĩnh vực để có thể áp dụng cho các nghiên cứu sau này có liên quan đến tính năng của tổ hợp mẫu thử nghiệm và mối quan hệ của chúng với công trình xây dựng trong thực tế; và cho các công nghệ liên quan đến dụng cụ đo và các kỹ thuật thử.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết khi áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn có ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 9311-1 : 2012 ¹⁾, *Thử nghiệm chịu lửa - Các bộ phận công trình xây dựng – Phần 1: Yêu cầu chung.*

ISO/TR 3956²⁾, *Principles of structural fire-engineering design with special regard to the connection between real fire exposure and the heating conditions of the standard fire-resistance test (ISO 834). (Nguyên tắc thiết kế kỹ thuật chống cháy cho kết cấu với yêu cầu đặc biệt về mối liên quan giữa tiếp xúc với lửa thực tế và các điều kiện nhiệt trong bộ tiêu chuẩn thử nghiệm chịu lửa).*

ISO/TR 10158, *Principles and rationale underlying calculation methods in relation to fire resistance of structural elements (Nguyên tắc và phương pháp tính toán cơ bản liên quan đến tính chịu lửa của các bộ phận kết cấu).*

1) Sắp ban hành

2) ISO/TR 3956, ISO/TR 10158 hiện đã hủy

3 Quy trình thử nghiệm chuẩn

Kinh nghiệm thực tế chỉ ra rằng, cần thiết phải tiến hành một số phép đơn giản hoá trong quy trình thử nghiệm chuẩn để dễ sử dụng với các điều kiện không chế trong bất cứ phòng thí nghiệm nào với mong muốn đạt được những kết quả có thể tái lập và lặp lại.

Một số những yếu tố dẫn đến một mức độ biến động nào đó là nằm ngoài phạm vi của quy trình thử nghiệm, đặc biệt là sự khác nhau về vật liệu và về cách chế tạo là rất lớn. Những yếu tố khác, đã được chỉ ra trong tiêu chuẩn này, đều nằm trong khả năng người sử dụng có thể điều chỉnh được. Nếu những yếu tố này được quan tâm đúng mức, thì độ tái lập và độ lặp lại trong quy trình thử nghiệm có thể cải thiện để đạt đến mức độ chấp nhận được.

3.1 Chế độ đốt nóng

Đường cong nhiệt độ/thời gian tiêu chuẩn của lò thử nghiệm được miêu tả tại 6.1.1 của TCVN 9311-1 : 2012, về thực chất không thay đổi so với đường cong nhiệt độ/thời gian để kiểm soát môi trường thử nghiệm chịu lửa đã được sử dụng hơn bảy mươi năm qua. Rõ ràng là đường cong này có mối liên quan đến nhiệt độ quan sát được của các đám cháy trong thực tế của các tòa nhà chẳng hạn về thời gian nóng chảy quan sát được của vật liệu tại các điểm nóng chảy đã biết.

Mục đích cơ bản của đường cong nhiệt độ/thời gian tiêu chuẩn này là để tạo ra môi trường thử nghiệm chuẩn tiêu biểu hợp lý cho điều kiện tiếp xúc lửa dữ dội, mà ở đó có thể so sánh các tính năng kết cấu của các dạng nhà đại diện. Tuy nhiên, điều quan trọng là điều kiện tiếp xúc lửa tiêu chuẩn không nhất thiết phải tái hiện lại tình huống tiếp xúc lửa thực tế hay chỉ ra tình trạng dự đoán trước của cấu kiện trong điều kiện thử nghiệm. Tuy nhiên, mức độ tiến hành thử nghiệm với các bộ phận ngăn cách và kết cấu chịu lực của tòa nhà đều dựa trên một cơ sở chung. Cũng nên chú ý rằng tính chịu lửa liên quan đến thời gian thử nghiệm chứ không liên quan đến thời gian cháy thực tế.

Trong ISO/TR 3956 đã đề cập đến các mối quan hệ giữa điều kiện cấp nhiệt trong điều kiện thời gian-nhiệt độ thường xảy ra trong tình huống cháy thực, và với những điều kiện phổ biến trong tiêu chuẩn thử tính chịu lửa. Một loạt đường cong hạ nhiệt cũng được đề cập đến.

Chú ý rằng đường cong nhiệt độ/thời gian lò tiêu chuẩn của thử nghiệm cũng có thể được thể hiện bằng hàm số mũ mà hàm số này hoàn toàn trùng khớp với đường cong thể hiện hàm số $T=345 \log_{10}(480t+1)$ và có thể được xem xét tùy theo mục đích tính toán cụ thể. Khi đó, hàm số đường cong sẽ là:

$$T = 1325(1 - 0,325 e^{-0,2t} - 0,204 e^{-1,7t} - 0,471 e^{-19t})$$

Trong đó:

T nhiệt độ tăng, tính bằng độ °C;

t thời gian xảy ra tăng nhiệt độ, tính bằng h.

Để thiết lập độ lệch phần trăm, d , được quy định tại 6.1.2 của TCVN 9311-1 : 2012, việc so sánh các diện tích nằm giữa đường cong nhiệt độ/ thời gian trung bình trong lò thử nghiệm và đường cong nhiệt độ tiêu chuẩn nói trên có thể thực hiện được nhờ sử dụng thước đo diện tích trên biểu đồ số liệu hoặc thông qua tính toán theo quy tắc của Simpson hoặc quy tắc hình thang.

Mặc dù chế độ cấp nhiệt được mô tả tại 6.1.1 của TCVN 9311-1 : 2012, là điều kiện tiếp xúc lửa được quy định trong báo cáo kỹ thuật này, người ta cũng thừa nhận điều này không phù hợp để đại diện cho những điều kiện tiếp xúc với lửa như là khi có mặt nhiên liệu hydrocacbon. Môi trường tiếp xúc như vậy sẽ được xét một cách phù hợp hơn bằng các tiêu chuẩn khác bao gồm cả thử nghiệm chịu lửa cho các công trình khác không phải là nhà. Sau đây là một ví dụ cho chế độ cấp nhiệt mà gần đây được đề xuất để thể hiện đám cháy bằng hydrocacbon:

$$T = 1100(1 - 0,325 e^{-0,1667t} - 0,204 e^{-1,417t} - 0,471 e^{-15,833t})$$

Trong đó:

T nhiệt độ tăng, tính bằng độ °C;

t thời gian tại thời điểm đó xảy ra sự tăng nhiệt độ, tính bằng h.

Hoặc viết dưới dạng tiện dụng:

$$T = 1100(1 - 0,33 e^{-0,17t})$$

Trong đó:

t thời gian, tính bằng h.

3.2 Lò thử nghiệm

Bản thân các điều kiện cấp nhiệt mô tả tại 6.1.1 của TCVN 9311-1 : 2012 không đủ để bảo đảm rằng những lò thử nghiệm với các thiết kế khác nhau, sẽ thể hiện các điều kiện tiếp xúc lửa như nhau cho các mẫu thử và nhờ đó kết quả thử nghiệm nhận được là như nhau giữa các lò thử nghiệm đó.

Các đầu đo nhiệt được sử dụng để khống chế nhiệt độ lò thử nghiệm ở trạng thái cân bằng nhiệt động học so với môi trường bị ảnh hưởng bởi điều kiện truyền nhiệt nhờ đối lưu và bức xạ tồn tại bên trong lò thử nghiệm. Nhiệt đối lưu truyền tới một vật thể tiếp xúc lửa sẽ phụ thuộc vào hình dáng và kích cỡ của nó và nhìn chung với vật thể nhỏ hơn bầu của nhiệt điện kế, thì nhiệt đối lưu này sẽ cao hơn so với vật thể lớn hơn chẳng hạn như mẫu thử nghiệm. Vì vậy nhiệt đối lưu sẽ có xu hướng ảnh hưởng

lớn tới nhiệt độ của đầu đo nhiệt, trong khi việc truyền nhiệt tới mẫu thử chủ yếu bị tác động bởi bức xạ từ thành lò bị đốt nóng và từ ngọn lửa.

Trong lò thử nghiệm có cả bức xạ từ khí đốt và bức xạ từ bề mặt tới bề mặt. Bức xạ từ khí đốt phụ thuộc vào nhiệt độ và đặc tính hấp thụ nhiệt của khí đốt trong lò và cũng phụ thuộc mạnh vào thành phần nhìn thấy của ngọn lửa.

Bức xạ từ bề mặt tới bề mặt phụ thuộc vào nhiệt độ của các thành lò thử nghiệm, độ hấp thụ và toả nhiệt cũng như phụ thuộc vào kích thước và hình dạng của lò thử nghiệm. Nhiệt độ thành lò lại phụ thuộc vào các đặc tính nhiệt của nó.

Sự truyền nhiệt đối lưu tới một vật thể phụ thuộc vào độ chênh lệch cục bộ giữa nhiệt độ khí đốt và nhiệt độ bề mặt của vật thể và vào tốc độ chuyển động của khí đốt.

Bức xạ từ khí đốt tương ứng với nhiệt độ của nó, và bức xạ từ mẫu thử là tổng của bức xạ từ khí đốt và từ các thành của lò thử nghiệm. Bức xạ từ thành lò lúc đầu thì ít hơn, sau đó tăng lên khi thành lò trở nên nóng hơn. Các đầu đo nhiệt được quy định trong tiêu chuẩn này thì nhỏ và sẽ điều chỉnh theo nhiệt độ của khí đốt. Mặt khác, mẫu thử thì lại nhạy cảm hơn đối với các bức xạ.

Từ những điều đã được đề cập ở trên, rõ ràng là giải pháp cơ bản cho việc đạt được kết quả ổn định giữa các lần thử nghiệm theo những yêu cầu trong tiêu chuẩn này, chỉ được thực hiện nếu mọi người sử dụng thừa nhận tiêu chuẩn này và các thiết kế lý tưởng cho lò thử nghiệm được quy định chính xác về kích cỡ, hình dạng, vật liệu, kỹ thuật xây dựng và loại nhiên liệu được sử dụng.

Một phương pháp để giảm bớt những vấn đề như đã nêu có thể áp dụng được đối với những dạng lò thử nghiệm hiện thời là lót thành lò bằng những vật liệu có quán tính nhiệt thấp dễ dàng biến đổi theo nhiệt độ khí đốt lò thử nghiệm, chẳng hạn như các loại vật liệu có các đặc tính được quy định tại 5.2 của TCVN 9311-1 : 2012. Sự chênh lệch giữa nhiệt độ khí đốt và thành lò sẽ được giảm bớt và lượng nhiệt tăng lên từ buồng đốt đến mẫu thử nhờ bức xạ từ những thành lò và do đó sẽ cải thiện được tính tương đồng giữa các kết quả thu được tại các lò thử nghiệm có thiết kế khác nhau.

Khi có thể, những thiết kế lò thử nghiệm hiện dùng cũng nên xem xét lại vị trí lò thử nghiệm và vị trí các ống khói để tránh được hiện tượng chảy rối và các biến động áp lực kèm theo làm cho bề mặt của mẫu thử nghiệm không được nung nóng một cách đồng đều.

Tại 5.5.1.1 của TCVN 9311-1 : 2012 quy định về thiết kế đầu đo nhiệt sử dụng để đo và nhờ đó không chế được môi trường lò thử nghiệm, việc thử nghiệm có thể được tiến hành khi có thể sử dụng loại đầu đo nhiệt nhạy cảm hơn với tác động kết hợp giữa bức xạ và đối lưu, như là một phương pháp đo khác để giảm bớt được những vấn đề gây ra do các đặc tính nhiệt khác nhau của các lò thử nghiệm [1].

Cuối cùng, một trong những công cụ hữu hiệu nhất trong việc điều chỉnh cho những thiết kế lò thử nghiệm hiện thời nhằm cải thiện độ ổn định giữa các lò thử nghiệm là việc hiệu chuẩn thường xuyên. (xem 3.11).

3.3 Làm khô mẫu thử

3.3.1 Lượng ẩm không đạt chuẩn trong bê tông

Tại thời điểm thử nghiệm, theo 7.4 của TCVN 9311-1 : 2012, cho phép lượng ẩm trong mẫu thử phải gần đúng các điều kiện mong muốn khi sử dụng bình thường.

Các cấu kiện toà nhà tiếp xúc với môi trường nhiệt độ có xu hướng thay đổi theo chu kỳ nhiệt độ và/hoặc độ ẩm của khí quyển, trừ khi các toà nhà được điều hoà không khí và sưởi ẩm liên tục. Tính chất của các vật liệu chế tạo cấu kiện và kích thước của cấu kiện sẽ quyết định mức độ dao động của độ ẩm của cấu kiện, xung quanh điều kiện trung bình.

Việc liên hệ trạng thái mẫu thử với điều kiện sử dụng bình thường có thể gây ra các thay đổi về hàm lượng ẩm của bộ phận kết cấu mẫu thử, đặc biệt là các thành phần hút ẩm từ không khí có khả năng hút ẩm cao như xi măng pooc lăng, thạch cao và gỗ. Tuy nhiên, sau khi làm khô mẫu thử theo như quy định tại 7.4 của TCVN 9311-1 : 2012, trong số những vật liệu xây dựng vô cơ thông thường thì chỉ những sản phẩm xi măng pooc lăng hydrat là có thể giữ được hàm lượng ẩm đủ để tác động một cách đáng kể đến kết quả thử nghiệm chịu lửa.

Để so sánh, tốt nhất nên hiệu chỉnh sự chênh lệch hàm lượng ẩm của các mẫu thử bằng cách sử dụng hàm lượng ẩm được thiết lập tại trạng thái cân bằng như làm khô trong môi trường không khí xung quanh có độ ẩm tương đối là 50 % ở nhiệt độ là 20 °C như là một điều kiện tham khảo tiêu chuẩn.

Nếu tính chịu lửa liên quan đến tính cách nhiệt của mẫu thử ở một hàm lượng ẩm nhất định đã biết thì tính chịu lửa tại một vài hàm lượng ẩm khác có thể được tính toán theo phương trình sau:

$$T_d^2 + T_d(4 + 4b_\phi - T_\phi) - 4T_\phi = 0$$

Trong đó:

ϕ : hàm lượng ẩm, tính bằng g/m³;

T_ϕ : tính chịu lửa tại hàm lượng ẩm ϕ , tính bằng h;

T_d : tính chịu lửa trong điều kiện được sấy khô trong lò sấy, tính bằng h;

b : hệ số biến thiên về độ thấm thấu.

(Đối với gạch, bê tông đặc và bê tông phun, giá trị b có thể lấy là 5,5 ; đối với bê tông nhẹ lấy là 8,0 và bê tông tổ ong lấy là 10,0).

Có thể thay thế bằng cách tính toán có sử dụng các quy trình được miêu tả trong các tài liệu tham khảo khác [2] và [3].

Nếu các kỹ thuật làm khô nhân tạo được áp dụng để đạt được hàm lượng ẩm phù hợp với điều kiện tham chiếu tiêu chuẩn, thì phòng thí nghiệm chịu trách nhiệm tiến hành thử nghiệm phải tránh các phương pháp có thể làm thay đổi đáng kể các đặc tính của vật liệu cấu thành mẫu thử.

3.3.2. Xác định lượng ẩm của bê tông đã đông cứng theo độ ẩm tương đối.

Phương pháp để xác định hàm lượng ẩm tương đối trong mẫu thử bê tông đã đông cứng có thể dùng các bộ phận cảm biến điện được mô tả tại thư mục tài liệu tham khảo [4]. Một quy trình tương tự cùng với các bộ phận cảm biến điện có thể được áp dụng để xác định hàm lượng ẩm tương đối trong mẫu thử chịu lửa làm từ các vật liệu khác.

Đối với kết cấu gỗ, khi thích hợp có thể sử dụng máy đo hàm lượng ẩm theo phương pháp điện trở như là một phương pháp đo hàm lượng ẩm tương đối để xác định khi nào gỗ đạt hàm lượng ẩm cần thiết. Phương pháp điện trở đo hàm lượng ẩm được mô tả tại thư mục tài liệu tham khảo [5] và [6]

3.4 Cung cấp nhiên liệu và phân phối nhiệt

Hiện tại, việc xác định lượng nhiên liệu không nằm trong các số liệu được yêu cầu trong suốt quá trình tiến hành thử nghiệm chịu lửa, mặc dù thông số này thường được các phòng thí nghiệm đo được và người áp dụng tiêu chuẩn này được khuyến khích có được các thông số trên cho các bước triển khai tiếp theo.

Các chỉ dẫn dưới đây có thể áp dụng để ghi lại mức tiêu thụ nhiên liệu trong quy trình thử nghiệm.

Cứ 10 min một lần (hoặc ít hơn 10 min) phải ghi lại lượng nhiên liệu tích lũy cung cấp cho buồng đốt. Tổng lượng nhiên liệu được cung cấp trong toàn bộ quá trình thử nghiệm cũng phải được xác định. Dùng một lưu lượng kế ghi chỉ số liên tục sẽ thuận lợi hơn khi đọc chỉ số định kỳ trên lưu lượng kế đo tức thời hoặc đo tổng lưu lượng. Phải lựa chọn hệ thống đo và ghi để độ chính xác trong việc đọc chỉ số lưu lượng nằm trong khoảng $\pm 5\%$. Phải báo cáo về loại nhiên liệu, giá trị nhiệt lượng mức cao và lượng nhiên liệu tích lũy (được điều chỉnh theo điều kiện tiêu chuẩn là 15 °C và 100 kPa) theo từng khoảng thời gian.

Tại những nơi việc đo lượng nhiên liệu nạp vào được thực hiện, các số đo chỉ ra rằng có sự phân phối nhiệt cho môi trường lò thử nghiệm thử nghiệm trong suốt các giai đoạn thử nghiệm sau cùng của tổ hợp bộ phận thử nghiệm cấu thành từ các thành phần dễ cháy. Vấn đề này thường không được quan tâm trong các quy chuẩn quốc gia, các tiêu chuẩn chỉ quy định chức năng sử dụng cho các kết cấu dễ cháy dựa trên cơ sở phân loại về chức năng sử dụng và các giới hạn về chiều cao và diện tích của toà nhà có bậc chịu lửa được áp dụng.

Cũng phải lưu ý rằng việc đo lường nhiên liệu có thể có sự chênh lệch đáng kể khi thử nghiệm các kết cấu thép được làm nguội bằng nước hoặc kết cấu thép có mặt cắt lớn.

3.5 Kỹ thuật đo áp lực

Khi lắp đặt ống dùng trong các cảm biến áp lực, cảm biến và ống chuẩn phải luôn được coi là một cặp và đường dẫn (nối với nhau) được lấy thẳng bằng ở các vị trí đo theo mọi hướng đối với dụng cụ đo. Trường hợp thiếu ống chuẩn, vẫn phải được coi là tồn tại với đúng chức năng của nó (không khí trong phòng giữa hai vị trí đo nào đó, trong trường hợp này, tượng trưng cho ống chuẩn).

Khi các ống chuẩn và cảm biến ở cùng cao độ, các ống có thể có nhiệt độ khác nhau.

Khi các ống chuẩn và cảm biến được uốn từ một cao độ này đến một cao độ khác, thì các ống phải có nhiệt độ như nhau. Chúng có thể nóng ở trên đỉnh và lạnh ở đáy nhưng nhiệt độ ở mỗi cao độ phải như nhau.

Cần phải quan tâm đến vị trí cảm biến bên trong lò thử nghiệm, để tránh cho chúng phải chịu các ảnh hưởng về động lực học gây ra do vận tốc và sự chảy rối của khí đốt (xem thêm tại thư mục tài liệu tham khảo [8]).

3.6 Quy trình sau khi ngừng cấp nhiệt

TCVN 9311-1 : 2012 không quy định những yêu cầu để áp dụng hay tham khảo cho quy trình sau khi ngừng cấp nhiệt. Tuy nhiên, thực tế ở một số nước, người ta đã duy trì tải trọng thử nghiệm hoặc tải trọng thử nghiệm được nhân với hệ số trong khoảng thời gian thông thường là 24 h sau thử nghiệm. Mục tiêu của quy trình này là để nhận được thông tin chung có liên quan đến sức bền và độ cứng của kết cấu toà nhà thay bằng mẫu thử sau thử nghiệm chịu lửa. Vì thông tin này khó liên hệ được với một tình huống cháy (hoặc sau khi cháy), nên người ta đã kết luận là các yêu cầu về quy trình sau khi ngừng cấp nhiệt nằm ngoài phạm vi của tiêu chuẩn này.

Một số quốc gia đi theo hướng thử nghiệm đánh giá bổ sung tính năng của các kết cấu ngăn cách bằng việc đưa chúng vào một số dạng thử nghiệm va đập, ngay sau thử nghiệm chịu lửa. Việc này nhằm tái tạo lại tác động của sự rơi vãi các mảnh vụn hoặc của vòi nước phun đến kết cấu ngăn cháy, tại những nơi mà kết cấu ngăn cháy được đòi hỏi phải duy trì tính hiệu quả trong suốt thời gian cháy hoặc sau thời gian chữa cháy. Thử nghiệm va đập này có thể áp dụng sau khi kết thúc hoàn toàn quá trình thử nghiệm chịu lửa hoặc sau một phần (chẳng hạn, một nửa) của khoảng thời gian đã định và thường được coi là một cách đo ổn định, ngoài các giá trị bất kỳ được mô phỏng theo sự dập tắt các đám cháy bằng vòi phun của các nhân viên chữa cháy.

Trong hầu hết các trường hợp, cả hai thử nghiệm nói trên đều cản trở khả năng tiếp tục thử nghiệm chịu lửa vượt quá thời hạn cháy yêu cầu. Với nhu cầu tăng lên về việc cung cấp số liệu cho phép ngoại suy và cho những mục đích tính toán khác, việc tổ chức thử nghiệm phải được khuyến khích để duy trì thời hạn thử nghiệm chịu lửa tới khi các tiêu chí về giới hạn có thể vượt qua một cách an toàn.

3.7 Kích cỡ mẫu thử

TCVN 9311-1 : 2012 đã quy định một cách chung là các thử nghiệm chịu lửa phải được thực hiện với những mẫu thử có kích cỡ thực. Tiêu chuẩn này cũng thừa nhận điều này không thường xuyên thực hiện được vì có giới hạn về kích cỡ của các thiết bị thử nghiệm. Trong những trường hợp mà không thể sử dụng mẫu thử có kích cỡ thực, có thể chế tạo mô phỏng rút gọn kích thước theo các kích thước nhỏ nhất được tiêu chuẩn hoá cho một mẫu thử đại diện cho một kích cỡ cần thiết của một phòng có chiều cao 3 m và có mặt cắt ngang là 3 m x 4 m.

Việc sử dụng mẫu thử có kích cỡ thực được khuyến khích áp dụng do xuất phát từ những khó khăn để đạt được tính năng chịu lửa hoàn toàn theo tỷ lệ mẫu thử của hầu hết cấu kiện chịu tải và một số bộ phận ngăn cách.

Đối với phần lớn các cấu kiện không chịu tải, việc giảm kích thước tổng thể để có kích thước thuận lợi cho mục đích thử nghiệm không gây ra bất cứ các vấn đề nghiêm trọng nào đặc biệt là đối với các kết cấu theo mô đun.

Đối với các hệ thống chịu tải, cần phải nhấn mạnh tầm quan trọng của việc duy trì được trạng thái chức năng không đổi khi giảm kích thước của mẫu thử chịu lửa. Chẳng hạn, tỉ lệ giữa chiều dài các cạnh không được thay đổi khi kích thước thực của sàn bị giảm đi. Nói cách khác, cần thiết phải duy trì được trạng thái cân bằng giữa các dạng ứng suất khác nhau mà mẫu thử đại diện với kích thước bị giảm bớt cũng như phải xác định các ứng suất đại diện theo tỉ lệ nhỏ của công trình xây dựng được xem xét.

3.8 Cấu tạo mẫu

Trong TCVN 9311-1 : 2012 quy định những vật liệu được sử dụng trong mẫu thử, phương pháp thi công và lắp đặt phải đại diện cho việc sử dụng cấu kiện trong thực tế.

Điều này có nghĩa là các yếu tố đặc trưng như mối nối của mẫu thử các dự phòng về độ giãn nở, về vị trí hoặc những đặc điểm lắp đặt phải đưa vào mẫu thử theo một cách thức đại diện.

Cần lưu ý rằng, chỉ trừ khi có trường hợp đặc biệt nào khác, có thể chế tạo các mẫu thử theo một tiêu chuẩn cao hơn những gì có thể xảy ra trong thực tế. Mặt khác, sự quan tâm đến tính nhất quán trong việc chế tạo mẫu thử cũng quan trọng, để không dẫn đến các kết quả ngoại lai do những khuyết tật trong kết cấu này.

Do đó việc mô tả chi tiết và chính xác về mẫu thử và điều kiện của nó trong thời gian thử nghiệm là rất cần thiết để bổ sung thêm các số liệu thử nghiệm, và khi cần thiết phải nêu bật các đặc điểm này để giải thích cho những điều bất bình thường xảy ra trong các kết quả thử nghiệm.

3.9 Chất tải

Tải trọng đặt lên một mẫu thử trong quá trình thử nghiệm chịu lửa có tác động đáng kể đến tính năng của nó. Đây cũng là một điều cần xem xét quan trọng cho việc tiếp tục ứng dụng các số liệu thử nghiệm này cùng với mối quan hệ của nó với các số liệu của các thử nghiệm khác hoặc các thử nghiệm tương tự.

Tại 6.3 của TCVN 9311-1 : 2012, có quy định các cơ sở khác nhau để lựa chọn tải trọng. Cơ sở được ứng dụng rộng rãi nhất của các dữ liệu thử nghiệm là cơ sở có liên quan đến việc xác định tải trọng thử và từ đó gây ra các ứng suất, với các đặc tính dự kiến của vật liệu trong thành phần kết cấu nào đó được sử dụng trong kết cấu của mẫu thử đồng thời làm cho các ứng suất tăng lên tại các khu vực tới hạn của các thành phần này, trong đó những ứng suất cực đại được chấp nhận thông qua phương pháp thiết kế nằm trong quy phạm kết cấu quốc gia được chấp nhận. Điều này quy định việc áp dụng tải trọng thử nghiệm hết sức chặt chẽ, cũng như tạo cơ sở tin cậy cho việc ngoại suy các số liệu thử nghiệm và ứng dụng trong các phương pháp tính toán.

Cơ sở thứ hai là mối liên quan giữa tải trọng thử cần thiết với các đặc tính của các vật liệu cấu thành mẫu thử. Các giá trị này thông thường có thể do nhà sản xuất vật liệu cung cấp hoặc thu được bằng cách tham khảo tài liệu liên quan đến các đặc tính tiêu chuẩn của các vật liệu được đề cập (thường đưa ra trong một phạm vi). Trong phần lớn các trường hợp, những kết quả này là các giá trị thiên về an toàn cho tải trọng thử. Từ đó giá trị thực tế thường cao hơn các giá trị đặc trưng và các cấu kiện này không chịu các ứng suất giới hạn dự tính trong các phương pháp thiết kế. Mặt khác, thông lệ này có liên quan chặt chẽ đến các phương pháp thiết kế điển hình và các thông lệ tương ứng về quy cách của các vật liệu dùng trong kết cấu công trình. Lợi ích của các kết quả thu nhận được từ các thử nghiệm này có thể được nâng cao nếu xác định được các đặc tính thực của vật liệu hoặc đo được các ứng suất thực trong các thành phần kết cấu của mẫu thử trong suốt quá trình thử nghiệm cháy.

Cơ sở thứ ba khác với các điều nêu trên ở chỗ tải trọng nhận được liên quan đến một ứng dụng cụ thể và có giới hạn. Tải trọng thử nghiệm luôn luôn thấp hơn so với tải trọng thường áp dụng và khi các cấu kiện đã được lựa chọn trên cơ sở có tính đến việc bắt buộc duy trì tải trọng thiết kế thông thường theo quy định trong các quy phạm kết cấu được thừa nhận, thì phải có giới hạn an toàn và tính chịu lửa lớn hơn khi được so sánh với tính năng của các mẫu thử khi chịu tải trọng được xem xét theo hai cơ sở nói trên. Ngoài ra, lợi ích của các kết quả thử nghiệm có thể được cải thiện nếu có được các số liệu liên hệ các đặc tính vật lý thực tế của các vật liệu chế tạo cấu kiện với các mức ứng suất nhận được trong các cấu kiện này khi chịu tải trọng đã quy định.

Ngoài các cơ sở tương ứng để phát triển tải trọng được chất tải trong khi thử nghiệm, cần lưu ý rằng các quy phạm về kết cấu, được áp dụng trong thiết kế toà nhà, tự chúng có thể quy định cho một số thành phần thiết kế khác nhau mà không phải lúc nào cũng phù hợp với sự đánh giá như nhau ở các nước khác nhau. Có sự thay đổi đáng kể khi phân tích tính đặc thù của tải trọng gió, tuyết và động đất.

Điều quan trọng phải lưu ý là bất cứ phương pháp nào được sử dụng để phát triển tải trọng trong khi thử nghiệm chịu lửa, đều phải liên quan đến tải trọng giới hạn của cấu kiện thử nghiệm trước khi cấp nhiệt, và điều quan trọng là trong báo cáo phải nêu rõ cơ sở phát triển của tải trọng và bất kỳ thông tin nào có liên quan chẳng hạn như các đặc tính của vật liệu và các mức ứng suất ảnh hưởng đến ý nghĩa và ứng dụng của các kết quả thử nghiệm.

Theo các nội dung đã nêu ở trên, tại các điểm có tải trọng tập trung, có thể tạo ra một mô phỏng chính xác theo các điều kiện của ứng suất như đã thử nghiệm với dầm và cột. Cần phải chú ý nhiều hơn đến việc mô phỏng tác dụng của tải trọng đồng đều cho sàn và tường. Số lượng tối đa của các điểm chịu tải cần được áp dụng, đồng thời hệ thống chất tải cần thích nghi với độ võng dự kiến trong khi thử và duy trì được phân bố tải trọng cần thiết.

3.10 Điều kiện biên và ngăn cản biến dạng

3.10.1 Giới thiệu

Tại 6.4 của TCVN 9311-1 : 2012 có qui định một số lựa chọn để áp dụng ngăn cản biến dạng, chống giãn nở nhiệt hoặc xoay cho các hệ thống chịu tải. Điều khoản này phản ánh lập luận vốn có của phương pháp thử nghiệm mô tả trong TCVN 9311-1 : 2012 về thử nghiệm mẫu thử được tuân thủ một cách nghiêm ngặt sao cho càng sát với việc sử dụng trong thực tế càng tốt.

Đối với những yêu cầu có liên quan đến ngăn cản biến dạng mẫu thử theo các điều kiện xảy ra khi xây dựng toà nhà trong thực tế, cần phải áp dụng nguyên lý sau đây:

- Các tổ hợp sàn, mái, kết cấu của tường, cột và các dầm độc lập trong công trình phải được xem xét để chống lại sự giãn nở nhiệt và/hoặc xoay khi kết cấu ngăn cách, kết cấu đỡ có thể chịu được các lực trong suốt giới hạn điều chỉnh nhiệt độ cao được thể hiện bằng biểu đồ đường cong nhiệt độ/thời gia tiêu chuẩn n;
- Trong khi thực hiện đánh giá kỹ thuật để xác định khả năng chịu lực của các bộ phận kết cấu toà nhà, cần lưu ý rằng khả năng này có thể là do độ cứng theo chiều ngang của các gối tựa cho các tổ hợp sàn, mái và các dầm trung gian cấu thành một phần của tổ hợp, hoặc trọng lượng của các kết cấu đỡ. Đồng thời phải có đủ các liên kết để chuyển các lực phát sinh từ giãn nở nhiệt và/hoặc xoay vào các gối tựa hoặc các kết cấu đỡ. Độ cứng của các tấm hoặc các kết cấu liên kết cũng cần được xem xét, đánh giá khả năng chống giãn nở nhiệt. Tính liên tục xuất hiện ở các dầm liên tục, chẳng hạn đặt liên tục lên hơn hai gối tựa, cũng có khả năng gây ra xoay của các kết cấu;
- Từ các kết quả thử nghiệm, người ta biết rõ rằng các thay đổi về ngăn cản biến dạng có thể ảnh hưởng đáng kể đến thời hạn chịu lửa của một cấu kiện hoặc một tổ hợp. Trong hầu hết các trường hợp, việc áp dụng ngăn cản biến dạng trong khi thử nghiệm cháy là có lợi cho tính năng của mẫu thử. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, điều kiện cố định dọc trục vượt quá mức cho phép có thể làm tăng nhanh tính không ổn định, hoặc nứt vỡ, xảy ra trong kết cấu bê tông. Trong những trường hợp

khác, đối với tấm bê tông cốt thép siêu tĩnh một phía tiếp xúc với lửa, mô men cố định có thể gây ra các biến dạng nứt nghiêm trọng ở các khu vực không có cốt thép hoặc cốt thép yếu, dẫn đến kết cấu bị nứt gãy.

Theo kinh nghiệm về thử nghiệm chịu lửa cho các kết cấu bị cố định có thể biết trước một số các tác động bất thường nêu trên. Cũng có thể liên hệ theo cách thông thường từ điều kiện của các mẫu thử bị cố định với điều kiện của toà nhà được xây dựng thực tế. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều việc phải làm và khi không thể liên hệ các điều kiện biên cần thiết của một mẫu thử với các điều kiện biên mà kết cấu đó sẽ phải thử nghiệm trong công trình xây dựng thực tế, thì thực nghiệm thường được tiến hành là trong điều kiện có rất ít hoặc không có sức chịu giãn nở hoặc xoay.

3.10.2 Cấu kiện chịu uốn (dầm, sàn, mái)

Các mẫu thử bao gồm các cấu kiện chịu uốn hoặc phải tiếp xúc với lửa trong khi tựa trên các gối có con lăn hoặc được thử nghiệm trong một khung ngăn cản biến dạng. Trong trường hợp ngăn cản biến dạng giãn nở nhiệt, dọc trục hoặc xoay có thể được áp dụng theo nhiều cách. Trong thiết bị ít phức tạp nhất này, mẫu thử được lắp trong một khung ngăn cản biến dạng có kích thước sao cho phản ứng được với lực đẩy dọc trục của các cấu kiện trong mẫu thử mà không bị uốn nhiều. Trong một số trường hợp, lực đẩy dọc trục này đã được đo theo kích cỡ của khung ngăn cản biến dạng. Trong những trường hợp khác, mức điều chỉnh được thực hiện bằng các khe co giãn giữa đầu của cấu kiện và khung ngăn cản biến dạng. Việc bố trí như vậy cũng tạo ra sức chống xoay do tiếp xúc và do đó hầu như cố định được đầu của cấu kiện theo hết độ cao tiết diện của cấu kiện và độ cao tiết diện của khung ngăn cản biến dạng. Đối với các bố trí chi tiết, việc ngăn cản biến dạng và đo mức độ biến dạng được thực hiện bằng các kích thủy lực bố trí theo dọc trục và vuông góc với (các) cấu kiện.

Trong những trường hợp đó, khi xảy ra sự hạn chế giãn nở nhiệt, sự cấp nhiệt trong khi thử chịu lửa sinh ra một lực nén dọc trục ở các cấu kiện liên quan. Trong hầu hết các trường hợp, lực này xuất hiện ở một vị trí trong mặt cắt ngang của cấu kiện mà tại đó mức mô men uốn tương ứng có xu hướng chống lại tác dụng của mô men uốn do tải trọng được đặt do đó sẽ làm tăng sức chịu tải và tính chịu lửa, trừ khi có khả năng bị quá tải gây nứt vỡ hoặc sự mất ổn định vượt quá ảnh hưởng có lợi này. Trong hầu hết các trường hợp, nếu một cấu kiện uốn được thử nghiệm dưới điều kiện không bị ngăn cản biến dạng thì việc sử dụng mẫu này sẽ đại diện cho cấu kiện trong công trình mà sự ngăn cản biến dạng về giãn nở khi cháy sẽ thiên về an toàn.

3.10.3 Cấu kiện hướng trục (cột, tường chịu tải)

Các thử nghiệm cháy cho cột và tường chịu tải được tiến hành trong phòng thí nghiệm mô phỏng lý tưởng hóa các ứng suất trong đám cháy thực. Ví dụ, trong thử nghiệm chưa thể tái tạo các mô men ở đầu có thể xảy ra trong đám cháy thực tế. Tác dụng của thiết bị cố định, trong thực tế phụ thuộc vào tính chất, vị trí của ngọn lửa, trong khoang ngăn cháy. Trong trường hợp điều kiện cấp nhiệt đồng đều ổn định xảy ra trong khoang ngăn cháy thì tác dụng của ngăn cản biến dạng chống giãn nở có thể giảm đi đáng kể.

Khả năng chịu tải và tải trọng thử liên quan của các cột và các tường chịu lực phụ thuộc nhiều vào các điều kiện chống đỡ. Trong các cấu kiện thanh thuộc loại này, giả thiết là có khớp nối, thậm chí các lực nhỏ phát sinh do ma sát ở các gối tựa cũng có thể làm tăng đáng kể sức chịu tải. Trong thử nghiệm cháy, việc áp dụng ngăn cản biến dạng một cách không cố ý vào đầu mẫu thử có thể làm tăng sức chịu thử nghiệm lên đáng kể. Theo kinh nghiệm đã được thực hiện ở một số phòng thí nghiệm thì rất khó tạo các điểm phản lực (hoặc chất tải) hướng trục, đồng tâm với cột, kể cả việc sử dụng các gối tựa hình cầu, và đây là một kiến nghị thực hiện để đưa vào độ lệch tâm nhỏ đã biết.

Vi những lý do trên, nên tiến hành các thử nghiệm cho các cột hoặc các tường chịu tải chống lại giãn nở (giãn dài) hoặc có các đầu được ngăn cản biến dạng hoàn toàn.

3.10.4 Tường và vách ngăn không chịu lực

Theo logic tất cả các tường và các vách ngăn không chịu lực đều phải được thử nghiệm là không chịu ngoại lực. Tuy nhiên, trong thực tế, các cấu kiện này phải chịu tải trọng chuyển từ các cấu kiện khác của công trình hoặc chịu phản lực do sự giãn nở của chính các cấu kiện khi tiếp xúc với lửa. Do đó cần phải tiến hành các thử nghiệm trên các cấu kiện này trong một khung ngăn cản biến dạng đủ cứng để tương tác được với các lực giãn nở phát sinh từ mẫu thử trong thử nghiệm có ít hoặc không có biến dạng.

3.10.5 Đo lường trong phòng thí nghiệm

Vi hiện nay thiếu các thông tin về các tác dụng của ngăn cản biến dạng giãn nở nhiệt hoặc xoay, các phòng thí nghiệm nên cố gắng xác định độ lớn và chiều của các lực ngăn cản biến dạng, khi thử nghiệm các mẫu thử được ngăn cản biến dạng dưới bất kỳ hình thức nào.

3.11 Hiệu chuẩn

Việc hiệu chuẩn là phương pháp bảo đảm rằng các mẫu thử đồng nhất được thử nghiệm tuân theo tiêu chuẩn này, trong các lò thử nghiệm khác nhau hoặc trong cùng một lò thử nghiệm nhưng vào những thời điểm khác nhau, sẽ cho các kết quả có thể so sánh được. Nếu đáp ứng được mục tiêu này, thời gian mà mẫu thử đã xác định đạt được tính năng yêu cầu bao gồm cả sức chịu tải và cách nhiệt, sẽ không khác nhau đáng kể.

Đặc điểm chủ yếu của việc hiệu chuẩn trong thử nghiệm chịu lửa liên quan đến các phương pháp và việc trang bị dụng cụ đo kiểm để khống chế và đo nhiệt độ, áp lực và không khí trong lò thử nghiệm. Mục tiêu của thực nghiệm kiểm chuẩn lò thử nghiệm là xác lập các điều kiện cấp nhiệt đồng đều trên khắp bề mặt tiếp xúc nhiệt của mẫu thử và đạt được mức tiếp xúc chịu nhiệt qui định. Mục đích của một thử nghiệm như vậy cũng còn để bảo đảm có được gradient áp lực tĩnh tuyến tính trên mặt tiếp xúc nhiệt của mẫu thử theo phương thẳng đứng, và có được áp lực tĩnh đồng đều trên khắp mặt tiếp xúc nhiệt của các mẫu thử nằm ngang.

Một phương pháp hiệu chuẩn chú trọng vào các điều kiện nhiệt độ và áp lực trong lò thử nghiệm được mô tả trong tài liệu tham khảo có liên quan.

Khả năng chịu tải của một mẫu thử cũng có thể chịu tác động của các yếu tố như: gói đỡ mẫu thử; các điều kiện biên và ngăn cản biến dạng, việc đặt tải trọng thiết kế; và việc đo độ lớn tải trọng, đo độ biến dạng và đo độ võng bằng các thiết bị đã được so sánh với các tiêu chuẩn tham chiếu. Không có qui định nào về phương pháp hiệu chuẩn trực tiếp đánh giá các đặc điểm nói trên và độ tin cậy phải tuân theo sự nhất quán về các qui định kỹ thuật của các thông số trong phương pháp thử nghiệm và phải đạt được các điều kiện về áp lực và nhiệt độ dựa trên phương pháp được mô tả trong thư mục tài liệu tham khảo [9].

4 Tiêu chí về tính chịu lửa

4.1 Mục tiêu

Mục đích của việc xác định tính chịu lửa, như quy định trong TCVN 9311-1 : 2012 là nhằm đánh giá tình trạng của một bộ phận của công trình xây dựng trong điều kiện tiêu chuẩn về đốt nóng và áp lực. Phương pháp thử nghiệm được mô tả trong tiêu chuẩn này, nhằm đánh giá định lượng của một kết cấu xây dựng trong điều kiện nhiệt độ cao bằng cách thiết lập các tiêu chí về tính năng. Các tiêu chí này được dùng để đảm bảo, dưới các điều kiện thử nghiệm, một bộ phận mẫu thử tiếp tục thể hiện chức năng thiết kế như là một cấu kiện đỡ hoặc một cấu kiện ngăn cách, hoặc cả hai. Các tiêu chí này dựa trên khả năng chịu tải và sự lan truyền của đám cháy. Lửa có thể được truyền từ khoang này sang khoang khác theo hai cách, hoặc mất đi tính toàn vẹn hoặc thông qua sự lan truyền mạnh mẽ của sức nóng, làm cho nhiệt độ bề mặt không tiếp xúc cháy cao hơn mức cho phép.

Biểu đồ đường cong nhiệt độ/ thời gian được quy định trong tiêu chuẩn này chỉ đại diện cho một số điều kiện tiếp xúc lửa có thể xảy ra trong giai đoạn phát triển đám cháy và phương pháp này không định lượng tình trạng của một kết cấu trong tình huống cháy thực tế trong một khoảng thời gian xác định (xem 3.1.).

4.2 Khả năng chịu tải

Tiêu chí này được dùng để xác định khả năng một cấu kiện chịu tải để đỡ tải trọng thử nghiệm trong suốt quá trình thử chịu lửa mà không bị phá hủy. Muốn đo khả năng chịu tải mà không cần phải duy trì thử nghiệm đến khi kết cấu bị phá hủy thì giới hạn của độ biến dạng và độ võng tối đa cho sán, dầm và trần phải được xác định trước. Việc đưa ra giới hạn cho tường là không thể được vì theo kinh nghiệm, độ biến dạng ghi nhận được ngay trước khi bị phá hủy của các dạng tường có độ lớn khác nhau.

4.3 Tính toàn vẹn

Tiêu chí này có thể áp dụng cho các kết cấu ngăn cách và đưa ra phép đo khả năng khống chế sự lan truyền của ngọn lửa và khí nóng từ mặt tiếp xúc lửa sang mặt không tiếp xúc lửa của mẫu thử tùy thuộc thời gian đã trôi qua trước khi có sự bùng cháy của tấm đệm bằng sợi bông ở bất cứ nơi nào có vết nứt hoặc khe hở. Khả năng bùng cháy của tấm đệm sẽ phụ thuộc vào kích thước của khe hở, áp lực bên trong lò thử nghiệm tại vị trí khe hở, nhiệt độ và hàm lượng oxy.

Sự bùng cháy trên mặt tiếp xúc lửa của kết cấu có thể gây ra nguy hiểm không cho phép và do vậy, ở nơi có thể dẫn tới sự bùng cháy của tấm đệm cũng có nghĩa là nơi đó không đáp ứng được tiêu chí về tính toàn vẹn.

4.4 Tính cách nhiệt

Tiêu chí này có thể áp dụng cho các kết cấu ngăn cách và cung cấp một phép đo về khả năng của mẫu thử nhằm khống chế sự tăng nhiệt độ của mặt không tiếp xúc lửa dưới các mức quy định.

Khi kết cấu ngăn cách được thử nghiệm là không được cách nhiệt hoặc vượt quá giới hạn nhiệt độ quy định, sự bức xạ nhiệt từ mặt không tiếp xúc với lửa có thể đủ để làm tấm đệm sợi bông bùng cháy.

Các mức quy định được đưa ra để đảm bảo, khi nhiệt độ ở dưới mức quy định, bất cứ vật liệu dễ cháy nào khi tiếp cận với mặt không tiếp xúc lửa sẽ không đủ để bùng cháy tại nhiệt độ thấp hơn mức này. Giới hạn sự tăng nhiệt độ tối đa gồm chỉ dẫn các diện tích tiềm năng trên kết cấu có thể tạo ra đường truyền nhiệt trực tiếp và tạo ra điểm nóng trên mặt không tiếp xúc với lửa, khi các mẫu thử phù hợp với yêu cầu tại 5.5.1.2 của TCVN 9311-1 : 2012 .

Đã có một số đề xuất là các giá trị giới hạn về sự tăng nhiệt độ có phần thiên về an toàn, vì các giá trị này dựa trên cơ sở giả thiết là nhiệt độ mặt không tiếp xúc với lửa tiếp tục tăng nhiệt độ sau khi lửa đã bị chuyển khỏi hệ thống thử nghiệm. Các thử nghiệm được tiến hành [10] bằng cách sử dụng các hộp chứa đầy mẫu len hoặc gỗ vụn được đặt ép vào bề mặt không tiếp xúc với lửa của các bức tường gạch tiếp xúc lửa theo đúng với thử nghiệm chịu lửa tiêu chuẩn. Không có bất cứ bằng chứng bùng cháy của gỗ hoặc bông tại nhiệt độ dưới 204 °C (hoặc nhiệt độ tăng là 163 °C) trong khoảng thời gian tiếp xúc lửa từ 1,5 h đến 12 h. Dấu hiệu bùng cháy được quan sát thấy khi nhiệt độ nằm trong khoảng từ 204 °C đến 232 °C và bằng chứng bùng cháy cuối cùng xuất hiện khi nhiệt độ đạt tới 232 °C đến 260 °C.

4.5 Các đặc tính khác

Khi áp dụng các phương pháp thử nghiệm quy định trong tiêu chuẩn này cho các vật liệu tạo thành mẫu thử có thể xuất hiện một số các đặc tính khác không mong muốn trong quá trình tiến hành thử nghiệm, chẳng hạn như hiện tượng tạo khói. Các hiện tượng này không được đề cập trong tiêu chí này mà được đánh giá chính xác hơn bằng các phương pháp thử nghiệm riêng.

5 Phân loại

Các toà nhà được quy định điển hình trong giới hạn về chiều cao, diện tích, kiểu sử dụng và sự ngăn cách bằng sự phân chia chủ yếu theo yêu cầu và các bộ phận đỡ, phải đưa ra các thời hạn tối thiểu cho phép về tính chịu lửa thông qua các kết quả thử nghiệm chịu lửa tiêu chuẩn được áp dụng cho các kết cấu mẫu đại diện cho các bộ phận của các công trình xây dựng đó.

Tiêu chuẩn này cung cấp một hệ thống biểu hiện tính năng của các kết cấu xây dựng đã thử nghiệm chịu lửa, có liên quan đến các đặc tính đã được xem xét khi xác định tính năng, ví dụ, độ ổn định về kết cấu, tính toàn vẹn và tính cách ly. Tính năng được biểu hiện bằng các đơn vị thời gian, thích hợp với thời gian mà các tiêu chí được chấp nhận có thể áp dụng cho các đặc tính phù hợp nói trên.

Trong thực tế, quy chuẩn và quy định ở các quốc gia sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để quy định về yêu cầu chịu lửa. Một số quốc gia yêu cầu tuyệt đối là công trình phải được xem xét đã đáp ứng tất cả các tiêu chí tính năng về khoảng thời gian cần thiết. Tiêu chuẩn của một số quốc gia khác và trong các hoàn cảnh khác thì chỉ cần có một hoặc hai đặc thù tính năng được yêu cầu để đáp ứng cho toàn bộ hoặc một phần thời hạn thử nghiệm chịu lửa. Do vậy, các quy chuẩn và quy định thường mong muốn đưa ra các đánh giá chất lượng một cách phù hợp và rõ ràng, khi các quy định trên được chấp nhận.

Yêu cầu chịu lửa được tham chiếu theo phân loại chịu lửa và mức chịu lửa. Việc phân loại và xác định thời gian chịu lửa thường được thiết kế với khoảng thời gian đơn vị nửa giờ hoặc một giờ, trong vòng từ 0,5 h đến 6 h. Để đánh giá chất lượng thiết kế, điều cần thiết là hệ thống đáp ứng được các tiêu chí trong thời hạn ít nhất là bằng khoảng thời gian được chỉ định là 1 h. Ở một số quốc gia, các chữ cái trong bảng chữ cái được sử dụng để biểu thị thời hạn chịu lửa đặc trưng tương ứng; ở một số quốc gia khác cho phép có thể dùng mã quy chuẩn để biểu thị thời gian trong các tiêu chuẩn tương ứng.

Cũng cần phải chú ý là ở một số quốc gia phân biệt cách phân loại theo kết cấu dễ cháy và kết cấu không cháy. Thực tế ở một số quốc gia đã đưa các chữ được mã hoá hoặc các dạng phân loại theo ký hiệu khác để biểu thị cho bộ phận cấu kiện có liên quan đến bậc chịu lửa của công trình

6 Độ lặp lại và tái tạo lại

Trong khi tiêu chuẩn này được soát xét nhằm tăng độ lặp lại và tái tạo lại, cho đến nay chưa có bất cứ một chương trình thử nghiệm tổng hợp trước đó khai thác số liệu để lấy các số liệu thống kê về độ lặp lại và tái tạo lại các thử nghiệm chịu lửa nêu trên. Khi việc thử nghiệm lặp lại với các mẫu thử giống nhau là không yêu cầu và không theo thói quen, nên các số liệu thống kê có sự biến động rất ít. Tuy nhiên vẫn tồn tại một số nguồn số liệu được thu thập khác nhau.

Độ lặp lại và tái tạo lại thường được thể hiện theo độ lệch tiêu chuẩn hoặc hệ số biến thiên (tỉ lệ giữa độ lệch chuẩn và giá trị trung bình tổng thể được thể hiện bằng tỉ lệ phần trăm); nó cũng có thể được

thể hiện sự chênh lệch tới hạn hoặc độ chính xác tương đối (chênh lệch tới hạn trong đó hai giá trị trung bình có thể đạt tới 95 % thời gian).

Hiện nay chưa có sự ước tính đúng cho một hệ số chênh lệch về độ tái tạo lại, nhưng các kinh nghiệm chỉ ra rằng, độ lặp lại giữa các phòng thí nghiệm có thể gấp hai hoặc ba lần độ tái tạo lại trong phòng thí nghiệm.

Độ lặp lại và tái tạo lại có thể được cải thiện nhờ nghiên cứu các yếu tố sau đây:

6.1 Độ lặp lại

Độ lặp lại là một số đo về khả năng thay đổi theo thời hạn chịu lửa liên quan đến các thử nghiệm tái tạo lại với cùng một tổ hợp danh nghĩa trong một phòng thí nghiệm độc lập. Khả năng biến đổi theo thời gian chịu lửa đo được có thể do các nhân tố ngẫu nhiên hoặc nhân tố mang tính hệ thống, và có thể có liên quan đến:

- a) Tổ hợp mẫu thử;
- b) Trang thiết bị (về lò thử nghiệm và thiết bị chất tải);
- c) Thiết bị điều khiển;
- d) Người điều khiển (việc kiểm tra hoặc giám sát);
- e) Các tác động của môi trường.

Các yếu tố ngẫu nhiên bao gồm khả năng thay đổi về vật liệu và tay nghề; độ lớn tải trọng và phân bố tải trọng (ví dụ, mức độ ngậm, tính ổn định tại đầu mút, độ lệch tâm của tải trọng); sự biến đổi của thiết bị cảm biến và các dụng cụ đo; các ảnh hưởng đến người điều khiển, các thay đổi về môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, v.v...).

Các yếu tố có tính hệ thống bao gồm các khía cạnh như các yếu tố được đưa ra ở trên, ví dụ, người điều hành các tổ hợp thiết bị, nhân viên, tổ hợp mẫu khác nhau; các thay đổi có tính hệ thống (tăng hoặc giảm) của nhiệt độ và áp lực lò thử nghiệm; các chuyển dịch trong hiệu chỉnh cỡ thiết bị cảm biến và các dụng cụ.

Trong một vài trường hợp, một yếu tố tới hạn nguy hiểm có thể gồm cả hai khía cạnh ngẫu nhiên và hệ thống. Chẳng hạn, độ lớn (và tính biến thiên) của áp lực lò thử nghiệm có thể phát hiện sự phá hoại sớm của một trần treo cấu thành phần của một tổ hợp trần - sàn. Điều này có thể xảy ra một cách ngẫu nhiên tại mức áp lực (được khống chế) và có tính hệ thống tại một mức áp lực cao hơn một chút.

6.2 Độ tái tạo lại

Độ tái tạo là khả năng đo sự biến đổi trong thời hạn chịu lửa kết hợp với các thử nghiệm trên cùng một tổ hợp danh nghĩa trong các phòng thí nghiệm khác nhau. Các yếu tố ngẫu nhiên và mang tính hệ

thống được nêu ra ở trên cũng có thể áp dụng cho thay đổi giữa các phòng thí nghiệm. Các yếu tố có tính hệ thống đặc trưng có thể làm tăng sự thay đổi bao gồm:

- Chênh lệch giữa các lò thử nghiệm (ví dụ, kích cỡ mẫu thử, dạng nhiên liệu đốt, số lượng, hình dạng và hướng lò);
- Chất tải kết cấu (ví dụ, phương pháp chất tải, phân bố tải trọng, độ lệch tâm của tải trọng);
- Các điều kiện biên (ví dụ, ngăn cản biến dạng, sự làm mát quanh lò);
- Trang bị các dụng cụ điều khiển và ghi nhận (ví dụ tự động/thủ công; nhiệt độ; áp lực);
- Diễn giải các điều kiện và tiêu chí thử nghiệm.

7 Phép nội suy và phép ngoại suy

7.1 Phép nội suy

Việc xác định tác động tới sự thay đổi trên một bộ phận kết cấu mà trước đó đã qua hàng loạt các thử nghiệm chịu lửa và đã được chấp nhận theo phân loại chịu lửa nằm trong phạm vi được thiết lập nhờ thử nghiệm. Phép nội suy cần có các quan hệ toán học hoặc theo thực nghiệm, được phát triển trên cơ sở lấy giá trị nhỏ nhất của các kết quả qua hai lần thử nghiệm. Các yếu tố có thể được xem xét là: các biến đổi về kích thước, vật liệu hoặc thiết kế nằm trong phạm vi các sai lệch đã được kiểm tra nhờ thử nghiệm.

7.2 Phép ngoại suy

Phép ngoại suy về tác động đến sự biến đổi trên một bộ phận kết cấu đã qua thử nghiệm chịu lửa và chấp nhận phân loại chịu lửa với mục đích có thêm một phân loại được mở rộng vượt quá phạm vi được xác định nhờ thử nghiệm. Phép ngoại suy đòi hỏi một mô hình cháy được phát triển trên cơ sở của một hoặc nhiều thử nghiệm và các số liệu tương ứng khác của tính năng cháy. Các yếu tố có thể được xem xét là: các thay đổi về kích thước, vật liệu hoặc thiết kế, thông thường nằm ngoài phạm vi các thay đổi được kiểm chứng nhờ các thử nghiệm. Độ tin cậy của phép ngoại suy tùy thuộc vào tính xác thực của mô hình cháy được sử dụng và điều này cần được quy định khi quy trình được thực hiện.

Một số các yếu tố khác có ảnh hưởng đến khả năng tạo lập các phép nội suy và ngoại suy. Khi biết trước được các số liệu ngoài yêu cầu, thì tất cả các thông số liên quan phải được điều chỉnh và nếu cần các phép đo bổ sung cũng được tiến hành để tạo thuận lợi cho công việc này. Có ba thông số chủ yếu cần được xem xét cho mục đích trên:

- a) Những thay đổi về kích thước: chiều dài, chiều rộng, chiều dày,...;
- b) Những thay đổi về vật liệu: cường độ, mật độ, tính cách nhiệt, độ ẩm;
- c) Những thay đổi về tải trọng và thiết kế - tải trọng, các điều kiện biên, các phương thức ghép nối và ổn định.

Sự phù hợp của các thông số trên tùy thuộc vào kiểu mẫu thử và các thay đổi được xem xét. Chỉ có thể dẫn ra một số các yếu tố có liên quan trong một vài trường hợp điển hình. Để làm được điều này, các mẫu thử có thể được phân chia thành các giới hạn chịu tải và ngăn cách. Trong trường hợp trước chủ yếu là bảo đảm rằng sự biến thể có thể đỡ có hiệu quả các tải trọng và trường hợp sau vẫn duy trì được tính cách nhiệt và tính toàn vẹn. Trong một số trường hợp, cả hai khái niệm đều được áp dụng.

Các thành phần chịu tải chính đối với các nguyên tắc đơn giản có khả năng áp dụng là các hệ thống thép cách nhiệt, kết cấu bê tông bảo vệ cho cốt thép và kết cấu gỗ có tốc độ cháy thành than là một hệ số tới hạn. Trong trường hợp cho các cấu kiện thép, có ảnh hưởng do khác nhau về kích thước, tải trọng và ý tưởng thiết kế sẽ dẫn đến một đích tới hạn mới cho vật liệu cách nhiệt. Đối với các cấu kiện bê tông, một phương pháp tương tự có thể dùng cho các hệ thống đơn giản khi hoặc thép trong bê tông cần phải ngăn không cho đạt tới trạng thái tới hạn, hoặc với các lắp ráp phức tạp hơn, sự phân phối lại các ứng suất và biến dạng cũng phải được tính đến. Hầu hết các kết cấu gỗ có thể được phân tích dựa trên cơ sở cân nhắc cường độ ban đầu của mặt cắt chưa bị cháy. Một số các tài liệu công bố, cung cấp hướng dẫn cho một vài hệ thống kết cấu điển hình bằng các loại vật liệu nói trên.

Các phép nội suy và ngoại suy có thể được phân chia thành 4 nhóm, trong đó mỗi nhóm có độ phức tạp tăng lên. Các nguyên tắc chính xác và các giới hạn áp dụng sẽ cần phải được sự nhất trí của các cơ quan cấp quốc gia, sử dụng các quy trình sau:

- a) Các nguyên tắc thiết kế định lượng dựa trên các thử nghiệm chịu lửa và các khái niệm chung. Các nguyên tắc đó chỉ dùng cho các chuyên gia trong lĩnh vực này.
- b) Các nguyên tắc thiết kế định lượng (hoặc các nguyên tắc kinh nghiệm) được dựa trên các thử nghiệm chịu lửa trong đó quy định một giá trị nào đó về chịu lửa của các vật liệu, sản phẩm tránh được các kết quả không thực tế.
- c) Kỹ thuật quy nạp: Việc kiểm tra một số thông số trong một chuỗi hệ thống các thử nghiệm và sự xác định mối quan hệ thu được một cách thích hợp nhất từ việc sử dụng kỹ thuật quy nạp.
- d) Mô hình vật lý: Sự phát triển của một mô hình vật lý liên kết tính chịu lửa với các đặc tính vật liệu, hoặc là từ các nguyên tắc đầu tiên, hoặc bằng việc dùng các số liệu thử nghiệm. Sau khi mô hình được hợp lý hoá, tính chịu lửa có thể được xác định theo số liệu đầu vào của các đặc tính thích hợp.

Cần phải tiến hành xem xét thận trọng vấn đề sử dụng kỹ thuật của phép nội suy hoặc ngoại suy để xác định phân loại chịu lửa trong các trường hợp khi các số liệu không đầy đủ hoặc khi kết cấu được xem xét không phải là đại diện chủ yếu cho kết cấu được thử nghiệm chịu lửa, dựa vào đó mà phép nội suy hoặc ngoại suy lấy làm căn cứ.

Tham khảo thêm trong tiêu chuẩn ISO/TR 10158.

8 Mối quan hệ giữa tính chịu lửa và đám cháy công trình

Khi xem xét đến mối quan hệ này, điều cần thiết là phải hiểu rằng, việc xác định tính chịu lửa được thực hiện theo một quy trình thử nghiệm hoàn chỉnh. Khi so sánh với các đám cháy công trình, cần tập trung sự chú ý vào đường cong nhiệt độ/thời gian và mối quan hệ của nó với nhiệt độ và mức tăng nhiệt độ có thể đạt được trong các đám cháy như thật trong các tình huống cháy khác nhau.

Thử nghiệm được dùng để đánh giá chất lượng kết toà nhà, nhờ vậy đề xuất được mức cần thiết về an toàn cháy. Điều này đạt được nhờ áp dụng kết quả thử nghiệm chịu lửa thông qua một số quy chuẩn hoặc văn bản pháp quy, trong đó xác định tính năng cần thiết trong tình huống đã cho. Sự thoả đáng của một phương pháp được giám sát qua thông tin phản hồi nhờ thực nghiệm, nhìn chung là tránh được những mức độ phá hoại không thể chấp nhận.

Kết quả thử nghiệm được đưa ra nhằm phân loại chịu lửa hoặc mức chịu lửa được thể hiện bằng khoảng thời gian thoả mãn các tiêu chuẩn hiện hành.

Khoảng thời gian này đại diện cho sự phân loại tương đối về tính năng và không thể liên hệ trực tiếp với tình huống cháy của một toà nhà nào đó. Điều quan trọng phải ghi nhận được sự chuyển đổi từ cách biểu thị về thời gian sang biểu thị bằng tính năng kỹ thuật của công trình khi xảy ra cháy, được thiết lập thông qua các quy chuẩn xây dựng.

Tính năng thực tế đạt được trong quá trình thử nghiệm chịu lửa có quan hệ mật thiết tới các điều kiện thử, tới phạm vi mô phỏng công trình trong thử nghiệm và tới các tiêu chí được áp dụng để phát hiện phá hoại khi thử. Một thay đổi nhỏ trong các điều kiện thử về phá hoại, đặc biệt là khi có liên quan đến tính toàn vẹn và tính cách nhiệt, cũng có thể ảnh hưởng đáng kể đến kết quả đánh giá.

Đặc biệt, thời gian được ghi nhận trong thử nghiệm chịu lửa, đối với tiêu chí này, không phải chịu mối quan hệ trực tiếp với thời gian phá hoại, trong đám cháy thực tế. Điều này đã được ghi nhận như một nguyên tắc ngay từ lúc bắt đầu thử nghiệm [12], [13].

Việc kiểm tra tính năng thông qua tiến hành thử nghiệm chịu lửa đã có từ hàng trăm năm nay. Các thử nghiệm ban đầu đã tạo ngọn lửa bằng khí đốt, dầu, gỗ, thậm chí kết hợp các loại nhiên liệu nói trên. Sự khác nhau lớn về điều kiện thử gây ra khó khăn cho việc so sánh và đánh giá các kết quả thu được.

Những chuyển biến đầu tiên để đi tới một phương pháp thống nhất hơn đã có ở Mỹ, khi một Ủy ban thuộc ASTM vào năm 1918 đã đề xuất mối quan hệ chặt chẽ giữa nhiệt độ/thời gian rất gần với các tiêu chuẩn quốc tế hiện nay. Các hằng số về thời gian bình thường của các lò thử nghiệm đầu tiên dường như phụ thuộc rất nhiều vào đường cong nhiệt độ/thời gian nguyên bản. Biểu đồ đường cong này đã được thiết lập có thể sử dụng cho hàng loạt các lò thử nghiệm, thậm chí cho các quốc gia khác nhau. Nhờ vậy mà một lò thử nghiệm nằm trong phạm vi tiêu chuẩn, có được khuynh hướng tự vận hành, nghĩa là theo biểu đồ đường cong tiêu chuẩn mà chỉ có một chút can thiệp của người điều khiển.

Hệ thống phân loại được đưa ra, trong đó các bộ phận đặt trong một khoảng thời gian dài hơn trong lò thử nghiệm thử nghiệm nhằm đưa ra các tiêu chuẩn lựa chọn được thừa nhận là có thể có tính năng tốt hơn khi xảy ra cháy công trình trong thực tế. Ingberg, là người đầu tiên sử dụng khái niệm diện tích bằng nhau, cố gắng và biểu diễn thử nghiệm tiêu chuẩn trong các tình huống cháy thực tế, thu được mối quan hệ tương đương giữa tải trọng cháy mô phỏng cần thiết và thời hạn chịu lửa.

Nhiều cố gắng gần đây đã và đang được thực hiện để củng cố mối liên hệ giữa phương pháp thử và các đám cháy công trình thực tế. Các cố gắng này đã được mở rộng đưa vào các yếu tố như thông gió, kích thước khoang cháy, tải trọng cháy và các đặc tính nhiệt của khoang cháy. Mục đích của các cố gắng này là có thể định lượng được mức độ khắc nghiệt có thể xảy ra khi cháy, nhờ vậy thông qua các mối quan hệ được rút ra từ kinh nghiệm thực tế, có thể quy định một thời hạn chịu lửa đạt được trong thử nghiệm mà vẫn đảm bảo an toàn. Nhiều phần trong công việc này đã được Odeen rà soát lại.

Thử nghiệm chịu lửa được coi như một cách đo kết quả tương đối giữa các bộ phận trong công trình với các tình huống cháy, trong đó cố gắng đạt được giá trị xấp xỉ cho cả đám cháy thật và mô hình cháy tự nhiên.

Các cố gắng để thử nghiệm có tính thực tiễn hơn cần phải được nhìn nhận một cách thận trọng. Bất cứ sự đo lường nào làm thay đổi đáng kể việc phân loại chịu lửa hiện hành đều phải được làm sáng tỏ bằng thực nghiệm trong đó sử dụng kết quả thử, và chỉ được thực hiện nếu các thay đổi về mức độ an toàn được thừa nhận là cần thiết và thích hợp.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] Wickstrom, U. The plate thermometer- A simple instrument for raching harmonized fire resistance test. SP-RAPP 1986: D. Swedish National testing Instutute, Boras 1983 : 03.
 - [2] Harmathy, T.Z. Experimental Study on moisture and fire endurance, Fire technology , l 91), 1986
 - [3] ASTM E 119 Standard method of fire tests of building construction and materials
 - [4] Menzel, C.A, A. Method for determining the moisture condition of hardened concrete in term of relative humidity. In Proceeding American society for testing and materials ASTM .55.1955, page 1 085.
 - [5] Wood handbook of the forest products laboratory, US Department of Agriculture, pp. 14-2, 14-3, 1987.
 - [6] ASTM D 4444, Standard test methods for use and calibration of hand-held moisture meters
 - [7] NBSIR 81-2415, Furnance pressure probe investigation, National Bureau of Standards.
 - [8] OLSSON, S, Swedish National testing instate technical report of standards, SP-RAPP 1985-2
 - [9] CEN/TC 127/WI 57, Fire resistance testing- Commmissioning anf calibration of furnances.
 - [10] INGBERG, SH . Fire tests brick wall, building material an structures report 143 . US Department of Commece , National Bureau of Standards, 1954.
 - [11] Task group report on repeatability and reproducibility of ASTM E119 fire test. ASTM Research report RR : 05-1003 (1981)
 - [12] BLETZACKER, RW. The Role of research and testing in Building Code Regulation. News in Engineering . The Ohio State University , 1962
 - [13] BS 476-10: 1983, Guide to the Principles and application of fire testing.
 - [14] ODEEN, K Standard fire endurance test- Discussion, Criticism, and Alternatives. ASTM STP 464, 1970
 - [15] ROBERTSON, A.F. and GROSS D. Fire load, fire severity, and fire endurance. ASTM STP 464, 1970.
 - [16] HARMATHY, T.Z. The fire resistance test and its relation to real- world fires. Fire and materials 5(3), 1981
-