

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN xxxxx:2024**

**ISO 8302:1991**

Xuất bản lần 1

**CÁCH NHIỆT – XÁC ĐỊNH NHIỆT TRỞ  
Ở TRẠNG THÁI ỔN ĐỊNH VÀ CÁC ĐẶC TÍNH LIÊN QUAN-  
THIỆT BỊ TẮM NÓNG ĐƯỢC BẢO VỆ**

*Thermal insulation - Determination of steady - state thermal resistance  
and related properties - Guarded hot plate apparatus*

**HÀ NỘI - 2024**

## Mục lục

	Trang
Lời nói đầu .....	4
Lời giới thiệu .....	5
0.1 Phân chia tài liệu .....	5
0.2 Truyền nhiệt và các đặc tính đo .....	5
0.3 Yêu cầu chung .....	6
0.4 Thiết kế, kích thước và tiêu chuẩn quốc gia .....	6
0.5 Hướng dẫn cung cấp .....	6
1 Giới thiệu chung .....	7
1.1 Phạm vi áp dụng .....	7
1.2 Tài liệu viện dẫn .....	7
1.3 Thuật ngữ và định nghĩa .....	8
1.4 Kí hiệu và đơn vị .....	10
1.5 Ý nghĩa .....	12
1.6 Nguyên tắc thử .....	13
1.7 Hạn chế do thiết bị .....	15
1.8 Hạn chế do mẫu thử .....	17
2 Thiết bị và đánh giá sai số .....	19
2.1 Mô tả thiết bị và yêu cầu thiết kế .....	19
2.2 Đánh giá sai số .....	29
2.3 Thiết kế thiết bị .....	31
2.4 Kiểm tra hiệu năng .....	34
3 Quy trình thử nghiệm .....	37
3.1 Yêu cầu chung .....	37
3.2 Mẫu thử .....	38
3.3 Phương pháp thử nghiệm .....	41
3.4 Quy trình yêu cầu các phép đo .....	45
3.5 Tính toán .....	46
3.6 Báo cáo kết quả thử nghiệm .....	48
Phụ lục A .....	50
Phụ lục B .....	53
Phụ lục C .....	55
Phụ lục D .....	61

**Lời nói đầu**

**TCVN xxxxx:2024** hoàn toàn tương đương ISO 8302:1991

**TCVN xxxxx:2024** do Viện Vật liệu xây dựng - Bộ Xây dựng 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.

## Lời giới thiệu

### 0.1 Phân chia tài liệu

Tiêu chuẩn này được chia thành ba phần, bao gồm các thông tin cần thiết để sử dụng thiết bị tấm nóng được bảo vệ:

Phần 1: Yêu cầu chung

Phần 2: Thiết bị và đánh giá sai số

Phần 3: Quy trình kiểm tra

Trong khi người sử dụng phương pháp đưa ra trong Tiêu chuẩn này với mục đích kiểm tra có thể chỉ cần tập trung vào phần 3, tuy nhiên cũng phải làm quen với hai phần còn lại để đạt được kết quả chính xác. Đặc biệt cần thông thạo về các yêu cầu chung. Phần 2 được đặc trưng cho nhà thiết kế thiết bị, nhưng để cung cấp thiết bị tốt, cũng phải quan tâm đến hai phần còn lại của phương pháp này.

### 0.2 Truyền nhiệt và các đặc tính đo

Hầu hết các thử nghiệm được thực hiện trên các vật liệu xốp có tỷ trọng nhẹ. Trong những trường hợp như vậy, sự truyền nhiệt thực tế bên trong mẫu thử là sự kết hợp phức tạp của các quá trình:

- Bức xạ nhiệt;
- Dẫn nhiệt cả trong pha rắn và pha khí;
- Đối lưu nhiệt (trong một số điều kiện vận hành);

Ngoài ra, còn có sự tương tác bên trong của vật liệu cùng với sự chuyển khối, đặc biệt là trong các loại vật liệu ẩm. Do đó, đặc tính truyền nhiệt, thường được gọi một cách không chính xác là "độ dẫn nhiệt", được tính toán từ một công thức xác định và là kết quả đo của tốc độ truyền nhiệt, chênh lệch nhiệt độ và kích thước đối với mẫu thử có thể không phải là đặc tính nội tại của chính vật liệu đó. Do đó, đặc tính này nên được gọi là "Hệ số truyền – Transfer factor" (theo TCVN 13556 (ISO 9288), vì nó có thể phụ thuộc vào các điều kiện thử nghiệm (hệ số truyền có thể được gọi là hệ số dẫn nhiệt biểu kiến). Hệ số truyền có thể phụ thuộc đáng kể vào độ dày của mẫu thử và/hoặc chênh lệch nhiệt độ đối với cùng một nhiệt độ thử nghiệm trung bình.

Truyền nhiệt bằng bức xạ là yếu tố đầu tiên biểu hiện sự phụ thuộc của hệ số truyền vào độ dày của mẫu thử. Do đó, không chỉ các tính chất vật liệu mà cả các đặc tính bức xạ của các bề mặt bao quanh mẫu thử cũng ảnh hưởng đến kết quả. Truyền nhiệt bức xạ đóng góp vào sự phụ thuộc của hệ số truyền với chênh lệch nhiệt độ. Sự phụ thuộc này có thể được phát hiện thực nghiệm đối với mỗi loại vật liệu và mỗi nhiệt độ thử nghiệm trung bình khi chênh lệch nhiệt độ vượt quá giới hạn xác định. Do đó, nhiệt trở là thuộc tính mô tả tốt hơn hành vi nhiệt của mẫu thử, miễn là nó được kèm theo thông tin về đặc tính bức xạ của các bề mặt liền kề. Nếu có khả năng xuất hiện dòng nhiệt trong mẫu (ví dụ: trong sợi khoáng nhẹ cho nhiệt độ thấp), hướng của thiết bị, độ dày và chênh lệch nhiệt độ có thể ảnh hưởng cả đến hệ số truyền và nhiệt trở. Trong những trường hợp như vậy, ít nhất cần phải chỉ định đầy đủ hình học và điều kiện biên của mẫu kiểm tra, ngay cả khi thông tin được cung cấp trong phần 3 về quy trình kiểm tra không mô tả chi tiết về các điều kiện kiểm tra này. Hơn nữa, việc đánh giá các giá trị đo lường sẽ đòi hỏi kiến thức đáng kể, đặc biệt là khi áp dụng các giá trị đo lường trong thực tế.

## **TCVN xxxxx:2024**

Ảnh hưởng của độ ẩm bên trong mẫu thử đối với sự truyền nhiệt trong quá trình đo cũng là một vấn đề rất phức tạp. Do đó, chỉ các mẫu đã được làm khô mới được thử nghiệm theo quy trình tiêu chuẩn. Các phép đo trên vật liệu ẩm cần có các biện pháp phòng ngừa bổ sung, những biện pháp này không được đề cập chi tiết trong tiêu chuẩn này.

Những hiểu biết về các nguyên lý vật lý cũng rất quan trọng khi xác định tính chất truyền nhiệt bằng phương pháp thử nghiệm này, và để dự đoán đặc tính nhiệt của một vật liệu cụ thể trong ứng dụng thực tế, mặc dù có các yếu tố khác như kỹ thuật thực hiện cũng có thể ảnh hưởng đến các đặc tính nhiệt này.

### **0.3 Yêu cầu chung**

Việc thiết kế, sau đó vận hành chính xác thiết bị tẩm nóng được bảo vệ để thu được kết quả chính xác và việc giải thích kết quả thí nghiệm là một chủ đề phức tạp đòi hỏi phải được xem xét cẩn thận. Người thiết kế, người vận hành và người sử dụng kết quả đo được từ thiết bị tẩm nóng được bảo vệ nên có kiến thức nền tảng sâu rộng về cơ chế truyền nhiệt trong các vật liệu, sản phẩm và hệ thống được đánh giá, cùng với kinh nghiệm đo điện và nhiệt đặc biệt ở mức tín hiệu thấp. Cũng cần duy trì việc thực hành tốt phòng thí nghiệm theo các quy trình kiểm tra chung.

Kiến thức sâu rộng trong mỗi lĩnh vực đã được đề cập có thể khác nhau đối với người thiết kế, người vận hành và người sử dụng dữ liệu.

### **0.4 Thiết kế, kích thước và tiêu chuẩn quốc gia**

Hiện nay, có nhiều thiết kế khác nhau của thiết bị tẩm nóng được bảo vệ trên toàn thế giới để phù hợp với các tiêu chuẩn hiện hành của từng quốc gia. Các vấn đề nghiên cứu để cải tiến thiết bị và kỹ thuật đo được thực hiện liên tục. Do đó, việc bắt buộc một thiết kế hoặc kích thước cụ thể của thiết bị là không thực tế, đặc biệt là khi yêu cầu tổng thể có thể thay đổi rất nhiều.

### **0.5 Hướng dẫn cung cấp**

Nhà thiết kế của các thiết bị mới có nhiều tự do cả về phạm vi nhiệt độ và hình học của thiết bị, vì nhiều hình dạng đã được chứng minh có thể đưa ra các kết quả tương đương. Đề xuất những người thiết kế thiết bị mới nên đọc kỹ các tài liệu được trích dẫn trong phụ lục D. Sau khi hoàn thành thiết bị mới, đề xuất nên kiểm tra bằng cách thực hiện các thử nghiệm trên một hoặc nhiều vật liệu tham chiếu với các cấp nhiệt trở khác nhau hiện có.

# Cách nhiệt – Xác định nhiệt trở ở trạng thái ổn định và các đặc tính liên quan – Thiết bị tấm nóng được bảo vệ

*Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus*

## 1 Giới thiệu chung

### 1.1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này đưa ra phương pháp thử sử dụng phương pháp đĩa nóng được bảo vệ đo sự truyền nhiệt ở trạng thái ổn định thông qua các mẫu tấm phẳng và tính toán tính chất truyền nhiệt.

Đây là phương pháp đo lường tuyệt đối hoặc chính thức các đặc tính truyền nhiệt vì chỉ cần các phép đo chiều dài, nhiệt độ và công suất điện.

Các báo cáo tuân theo phương pháp thử tiêu chuẩn này không được đề cập đến các mẫu thử có nhiệt trở thấp hơn  $0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$  với điều kiện không vượt quá giới hạn chiều dày nêu trong 1.7.4.

Giới hạn đối với nhiệt trở có thể thấp tới  $0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$  nhưng độ chính xác nêu trong 1.5.3 có thể không đạt được trên toàn dải đo.

Nếu các mẫu thử chỉ đáp ứng các yêu cầu nêu trong 1.8.1, thì kết quả các đặc tính phải được mô tả là hệ số dẫn nhiệt và nhiệt trở hoặc hệ số truyền nhiệt của mẫu thử.

Nếu mẫu đáp ứng các yêu cầu của 1.8.2, đặc tính kết quả có thể được mô tả là độ dẫn nhiệt trung bình của mẫu được đánh giá.

Nếu các mẫu thử đáp ứng các yêu cầu của 1.8.3, thì đặc tính kết quả có thể được mô tả là độ dẫn nhiệt hoặc độ truyền nhiệt của vật liệu được đánh giá.

### 1.2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau là cần thiết khi áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn có ghi năm công bố áp dụng thì áp dụng 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 bản sửa đổi, bổ sung (nếu có).

*TCVN 9312 (ISO 9251) Cách nhiệt - Điều kiện truyền nhiệt và các đặc tính của vật liệu - Từ vựng.*

*TCVN 9313 (ISO 7345) Cách nhiệt - Các đại lượng vật lý và định nghĩa.*

*TCVN 13556 (ISO 9288) Cách nhiệt - Truyền nhiệt bằng bức xạ - các đại lượng vật lý và định nghĩa.*

*ISO 9229 Thermal insulation - Materials, products and systems - Vocabulary (Cách nhiệt - Vật liệu, sản phẩm và hệ thống - Thuật ngữ)*

## TCVN xxxxx:2024

ISO 9346 Hygrothermal performance of buildings and building materials - Physical quantities for mass transfer - Vocabulary (Hiệu suất nhiệt ẩm của vật liệu và công trình xây dựng – Các đại lượng vật lý về truyền khối – Từ vựng).

### 1.3 Thuật ngữ và định nghĩa

Đối với mục đích của tiêu chuẩn này, các định nghĩa sau được áp dụng.

Các đại lượng sau được định nghĩa trong TCVN 9313 (ISO 7345) hoặc TCVN 9312 (ISO 9251):

Đại lượng	Ký hiệu	Đơn vị
Lưu lượng dòng nhiệt	$\Phi$	W
Cường độ dòng nhiệt	$q$	W/m <sup>2</sup>
Nhiệt trở <sup>1)</sup>	$R$	m <sup>2</sup> .K/W
Độ dẫn nhiệt (theo tiết diện vật liệu)	$\Lambda$	W/(m <sup>2</sup> .K)
Hệ số dẫn nhiệt <sup>2)</sup>	$\lambda$	W/(m.K)
Nhiệt trở suất	$r$	(m.K)/W
Độ xốp	$\xi$	
Độ xốp cục bộ	$\xi_p$	

#### CHÚ THÍCH:

1) Trong một số trường hợp, có thể cần xem xét chênh lệch nhiệt độ chia cho lưu lượng dòng nhiệt; không có ký hiệu đặc biệt nào được gán cho đại lượng này, đôi khi còn được gọi là trở kháng.

2) Trong trường hợp tổng quát nhất  $\vec{q}$  và grad T không cùng hướng ( $\vec{\lambda}$  không được xác định thông qua một hằng số  $\lambda$  đơn lẻ mà thông qua một ma trận các hằng số); hơn nữa khả năng dẫn nhiệt thay đổi khi vị trí bên trong hệ thống thay đổi, hoặc khi thay đổi nhiệt độ và thay đổi theo thời gian.

Các định nghĩa sau liên quan đến đặc tính vật liệu được nêu trong TCVN 9312 (ISO 9251):

Môi trường xốp

Môi trường đồng nhất

Môi trường xốp đồng nhất

Môi trường không đồng nhất

Môi trường đẳng hướng

Môi trường dị hướng

Môi trường ổn định

Các thuật ngữ khác không được định nghĩa trong TCVN 9313 (ISO 7345) hoặc TCVN 9312 (ISO 9251):

#### 1.3.1

**Môi trường nhiệt đồng nhất** (thermally homogeneous medium)

Môi trường trong đó hệ số dẫn nhiệt [ $\vec{\lambda}$ ] không phải là một hàm của vị trí bên trong môi trường mà có thể là một hàm của hướng, thời gian và nhiệt độ.

#### 1.3.2

**Môi trường nhiệt đẳng hướng** (thermally isotropic medium)

Môi trường trong đó hệ số dẫn nhiệt  $[\vec{\lambda}]$  không phải là hàm của hướng mà có thể là hàm của vị trí, thời gian và nhiệt độ ( $[\vec{\lambda}]$  được xác định thông qua giá trị đơn  $\lambda$  tại mỗi điểm).

### 1.3.3

**Môi trường nhiệt ổn định** (thermally stable medium)

Môi trường trong đó hệ số dẫn nhiệt  $\lambda$  hoặc  $[\vec{\lambda}]$  không phải là hàm của thời gian, mà có thể là hàm của vị trí, nhiệt độ và hướng (khi áp dụng)

### 1.3.4

**Hệ số dẫn nhiệt trung bình của mẫu thử** (mean thermal conductivity of a specimen)

Đặc tính được xác định trong các điều kiện trạng thái ổn định trong vật thể có dạng một tấm được giới hạn bởi hai mặt phẳng đẳng nhiệt, song song và bởi các mép đoạn nhiệt vuông góc với các mặt, được làm từ vật liệu nhiệt đồng nhất, đẳng hướng (hoặc dị hướng với trục đối xứng vuông góc với các mặt). Đại lượng này chỉ ổn định trong phạm vi độ chính xác của phép đo, thời gian cần thiết để thực hiện phép đo, và với hệ số dẫn nhiệt  $\lambda$  hoặc hằng số  $[\vec{\lambda}]$  hoặc một hàm tuyến tính của nhiệt độ.

### 1.3.5

**Hệ số truyền của mẫu thử** (transfer factor of a specimen)

Được xác định bởi

$$\mathfrak{T} = \frac{qd}{\Delta T} = \frac{d}{R} \quad (W/(m.K)) \quad (1)$$

Hệ số truyền phụ thuộc vào các điều kiện thí nghiệm và đặc tính của mẫu thử liên quan đến sự truyền nhiệt kết hợp giữa dẫn nhiệt và bức xạ nhiệt. Trong một số trường hợp, hệ số này tương đương với hệ số dẫn nhiệt biểu kiến của mẫu thử.

### 1.3.6

**Độ truyền nhiệt của vật liệu** (thermally transmissivity of a material)

Được xác định bởi

$$\lambda_t = \frac{\Delta d}{\Delta R} \quad (W/(m.K)) \quad (2)$$

trong đó  $\Delta d/\Delta R$  không phụ thuộc vào độ dày  $d$ . Nó không phụ thuộc vào các điều kiện thí nghiệm và đặc tính của vật liệu cách nhiệt liên quan đến sự truyền nhiệt kết hợp giữa dẫn nhiệt và bức xạ nhiệt. Độ truyền nhiệt có thể được coi là giới hạn đạt được bởi hệ số truyền trong các lớp độ dày diễn ra quá trình truyền nhiệt kết hợp giữa dẫn nhiệt và bức xạ nhiệt. Trong một số trường hợp, thông số này thường được gọi là độ dẫn nhiệt biểu kiến hoặc hiệu dụng.

### 1.3.7

**Đặc tính truyền nhiệt ở trạng thái ổn định** (steady-state heat transfer property)

Thuật ngữ chung để xác định một trong các đặc tính sau: nhiệt trở, hệ số truyền, hệ số dẫn nhiệt, nhiệt trở suất, độ truyền nhiệt, độ dẫn nhiệt, hệ số dẫn nhiệt trung bình.

### 1.3.8

**Nhiệt độ phòng** (room temperature)



## TCVN xxxxx:2024

Thuật ngữ chung để xác định nhiệt độ thử nghiệm trung bình của phép đo sao cho người vận hành trong phòng cảm thấy thoải mái trong phòng tại nhiệt độ đó.

### 1.3.9

#### Nhiệt độ môi trường xung quanh (ambient temperature)

Thuật ngữ chung để xác định nhiệt độ ở vùng lân cận mép của mẫu thử hoặc vùng lân cận của toàn bộ thiết bị đo. Nhiệt độ này là nhiệt độ bên trong khoang hoặc trong phòng làm việc nơi đặt toàn bộ thiết bị đo.

### 1.3.10

#### Người vận hành (operator)

Người chịu trách nhiệm thực hiện phép thử trên thiết bị đo dòng nhiệt và trình bày báo cáo thông qua các kết quả đo được.

### 1.3.11

#### Người sử dụng dữ liệu (data user)

Người liên quan đến việc áp dụng và diễn giải các kết quả đo được để đánh giá hiệu suất của vật liệu hoặc hệ thống.

### 1.3.12

#### Người thiết kế (designer)

Người phát triển các chi tiết thiết kế của thiết bị để đáp ứng được các giới hạn tính năng cho trước của thiết bị và lên quy trình thử nghiệm để xác minh ước lượng độ chính xác của thiết bị.

## 1.4 Kí hiệu và đơn vị

Ký hiệu	Đại lượng	Đơn vị
$A$	Diện tích được đo trên bề mặt đẳng nhiệt đã chọn hoặc vùng đo	$m^2$
$A_g$	Diện tích của khoảng trống	$m^2$
$A_m$	Diện tích của vùng đo	$m^2$
$b$	Chiều rộng bảo vệ, bắt đầu từ khe hở đường trung tâm	$m$
$c$	Hệ số mất cân bằng	$m$
$c_p$	Nhiệt dung riêng của tấm	$J/(Kg.K)$
$c_s$	Nhiệt dung riêng của mẫu thử	$J/(Kg.K)$
$d$	Độ dày trung bình của mẫu thử	$m$
$d_1, d_2... d_5$	Độ dày của các mẫu được định danh $s_1, s_2, \dots, s_5$	$m$
$d_p$	Độ dày tấm kim loại	$m$
$e$	Số cạnh	-
$E_A$	Sai số ở giá trị khu vực đo	-
$E_d$	Sai số ở giá trị độ dày	-
$E_e$	Sai số do tổn thất nhiệt ở cạnh	-
$E_E$	Sai số ở giá trị công suất điện	-
$E_g$	Sai số do mất cân bằng	-
$E_s$	Sai số do điều kiện không đối xứng	-

Ký hiệu	Đại lượng	Đơn vị
$E_T$	Sai số ở chênh lệch nhiệt độ	-
$E_\phi$	Sai số ở lưu lượng dòng nhiệt	-
$g$	Chiều rộng khe hở	m
$h_t$	Cường độ dòng nhiệt trên một đơn vị chênh lệch nhiệt độ	W/(m <sup>2</sup> .K)
$2l$	Chiều dài cạnh của phần đo từ tâm khe hở đến tâm khe hở	m
$m_c$	Sự thay đổi khối lượng tương đối sau khi ổn định mẫu thử	-
$m_d$	Sự thay đổi khối lượng tương đối do ổn định mẫu sau khi sấy	-
$m_r$	Sự thay đổi khối lượng tương đối sau khi sấy khô	-
$m_w$	Sự thay đổi khối lượng tương đối của mẫu trong quá trình thử	-
$M_1$	Khối lượng trong điều kiện nhận mẫu	kg
$M_2$	Khối lượng sau khi sấy	kg
$M_3$	Khối lượng sau khi ổn định	kg
$M_4$	Khối lượng sau khi thử	kg
$M_5$	Khối lượng của vật liệu đã sấy khô hoặc đã được ổn định, ngay trước khi thử nghiệm	kg
$P$	Chu vi	m
$q$	Mật độ dòng nhiệt	W/m <sup>2</sup>
$q_e$	Mật độ dòng nhiệt ở cạnh	W/m <sup>2</sup>
$r$	Nhiệt trở suất	m.K/W
$R$	Nhiệt trở	m <sup>2</sup> .K/W
$R_e$	Nhiệt trở của phần cách nhiệt cạnh	m <sup>2</sup> .K/W
$t$	Thời gian	s
$J$	Hệ số truyền	W/(m.K)
$T_1$	Nhiệt độ mặt nóng của mẫu thử	K
$T_2$	Nhiệt độ mặt lạnh của mẫu thử	K
$T_a$	Nhiệt độ môi trường (nhiệt độ trong vùng lân cận của mẫu)	K
$T_e$	Nhiệt độ của cạnh mẫu thử	K
$V$	Thể tích	m <sup>3</sup>
$y$	Chiều dày của phần gia nhiệt	m
$Z_1$	Tham số lỗi cho cấu hình cạnh	-
$Z_2$	Tham số lỗi cho nhiệt độ xung quanh	-
$Z_3$	Tham số lỗi cho sự mất cân bằng	-
$\Delta d$	Chênh lệch độ dày	m
$\Delta R$	Chênh lệch nhiệt trở	m <sup>2</sup> .K/W
$\Delta T$	Chênh lệch nhiệt độ (thường là $T_1 - T_2$ )	K
$\Delta T_g$	Chênh lệch nhiệt độ qua khe hở	K
$\Delta t$	Khoảng thời gian	s

Ký hiệu	Đại lượng	Đơn vị
$\Delta J$	Độ tăng hệ số truyền	W/(m.K)
$\varepsilon$	Độ phát xạ xạ nhiệt	W/(m.K)
$\lambda$	Hệ số dẫn nhiệt	W/(m.K)
$\lambda_g$	Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu đối diện với khe hở	W/(m.K)
$\lambda_t$	Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu	W/(m.K)
$\Lambda$	Độ truyền nhiệt	W/(m <sup>2</sup> .K)
$\xi$	Độ rỗng	-
$\xi_p$	Độ rỗng cục bộ	-
$\Phi$	Lưu lượng dòng nhiệt	W
$\Phi_e$	Lưu lượng dòng nhiệt do tổn thất nhiệt ở cạnh	W
$\Phi_{el}$	Lưu lượng dòng nhiệt ở cạnh	W
$\Phi_g$	Lưu lượng dòng nhiệt do mất cân bằng	W
$\Phi_T$	Lưu lượng dòng nhiệt trong thử nghiệm	W
$\Phi_W$	Lưu lượng dòng nhiệt qua dây	W
$\Phi_o$	Lưu lượng dòng nhiệt qua khe hở trên mỗi đơn vị nhiệt độ do mất cân bằng	W
$\rho_d$	Khối lượng riêng của mẫu thử khô	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_p$	Khối lượng riêng của tấm	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Khối lượng riêng của mẫu sau khi ổn định mẫu thử	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_n$	Hằng số Stefan-Bonltzmann	5,67 x10 <sup>-8</sup> W/(m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup> )

## 1.5 Ý nghĩa

### 1.5.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính nhiệt

Các đặc tính truyền nhiệt của một mẫu thử có thể

- Thay đổi do sự thay đổi thành phần của vật liệu hoặc mẫu thử;
- Bị ảnh hưởng bởi độ ẩm hoặc các yếu tố khác;
- Thay đổi theo thời gian;
- Thay đổi theo nhiệt độ trung bình;
- Phụ thuộc vào lịch sử nhiệt trước đó.

Do đó, phải thừa nhận rằng việc lựa chọn giá trị điển hình của các đặc tính truyền nhiệt đại diện cho vật liệu, trong một ứng dụng cụ thể, phải dựa trên việc xem xét các yếu tố này và sẽ không nhất thiết áp dụng mà không cần sửa đổi với tất cả các điều kiện sử dụng.

Ví dụ, phương pháp này cho biết các đặc tính truyền nhiệt sẽ thu được trên các mẫu đã sấy khô, mặc dù các mẫu có thể không cần làm khô trong điều kiện sử dụng thực tế. Ngoài ra, các đặc tính truyền nhiệt cũng có mối quan hệ phụ thuộc vào các biến như nhiệt độ trung bình và chênh lệch nhiệt độ. Vì vậy, nên thực hiện phép đo các đặc tính truyền nhiệt của vật liệu trong các điều kiện sử dụng điển hình.

Quan trọng hơn nữa là sự phụ thuộc cơ bản của các đặc tính truyền nhiệt vào các biến như nhiệt độ trung bình và chênh lệch nhiệt độ. Những sự phụ thuộc này nên được đo lường hoặc thực hiện thử nghiệm theo điều kiện thực tế sử dụng.

### 1.5.2 Chuẩn bị mẫu

Các đặc tính truyền nhiệt cần có thông tin đầy đủ để được coi là đại diện cho vật liệu. Đặc tính truyền nhiệt của vật liệu chỉ có thể được xác định bằng một phép đo nếu mẫu là đại diện cho vật liệu và miếng mẫu thử là đại diện cho sản phẩm thử. Quy trình chọn mẫu thử thường phải được chỉ định trong thông số kỹ thuật của vật liệu. Việc lựa chọn mẫu thử từ sản phẩm thử có thể được quy định một phần trong đặc tính kỹ thuật của vật liệu. Tiêu chuẩn này không quy định về quy cách khi lấy mẫu thử. Do đó, nếu trong trường hợp quy trình lấy mẫu không được ghi cụ thể trong thông số kỹ thuật của vật liệu thử thì phải xem xét và sử dụng phương pháp lấy mẫu khác phù hợp.

### 1.5.3 Độ chính xác và độ tái lập

Việc đánh giá độ chính xác của phương pháp rất phức tạp và phụ thuộc vào thiết kế thiết bị, các bộ phận liên quan và loại mẫu được thử nghiệm. Tuy nhiên, thiết bị được chế tạo và vận hành theo phương pháp này có khả năng đo các đặc tính truyền nhiệt chính xác trong phạm vi 2 % khi nhiệt độ trung bình của phép thử gần bằng nhiệt độ phòng.

Với các biện pháp phòng ngừa thích hợp trong thiết kế của thiết bị, và sau khi kiểm tra kỹ lưỡng và tham khảo chéo các phép đo với các thiết bị tương tự khác, có thể đạt được độ chính xác khoảng  $\pm 5\%$  trong phạm vi hoạt động đầy đủ của thiết bị. Độ chính xác như vậy thường dễ dàng đạt được hơn bằng cách sử dụng thiết bị riêng biệt cho các giới hạn trong phạm vi. Độ tái lập của các phép đo thực hiện trên mẫu thử cần phải được thực hiện duy trì điều kiện thử và thường phải nhỏ hơn 1%. Phép đo được thực hiện trên cùng mẫu chuẩn trong thời gian khác nhau thường phải nhỏ hơn  $\pm 1\%$ . Con số lớn hơn có thể do những thay đổi nhỏ trong điều kiện thử nghiệm, chẳng hạn như áp suất của các tấm và đồng hồ đo dòng nhiệt trên mẫu (ảnh hưởng đến điện trở tiếp xúc) và độ ẩm tương đối của không khí xung quanh mẫu (ảnh hưởng đến độ ẩm mẫu), v.v.

Các mức độ tái lập này được yêu cầu để xác định sai số trong phương pháp và trong ứng dụng kiểm soát chất lượng.

## 1.6 Nguyên tắc thử

### 1.6.1 Nguyên lý của thiết bị

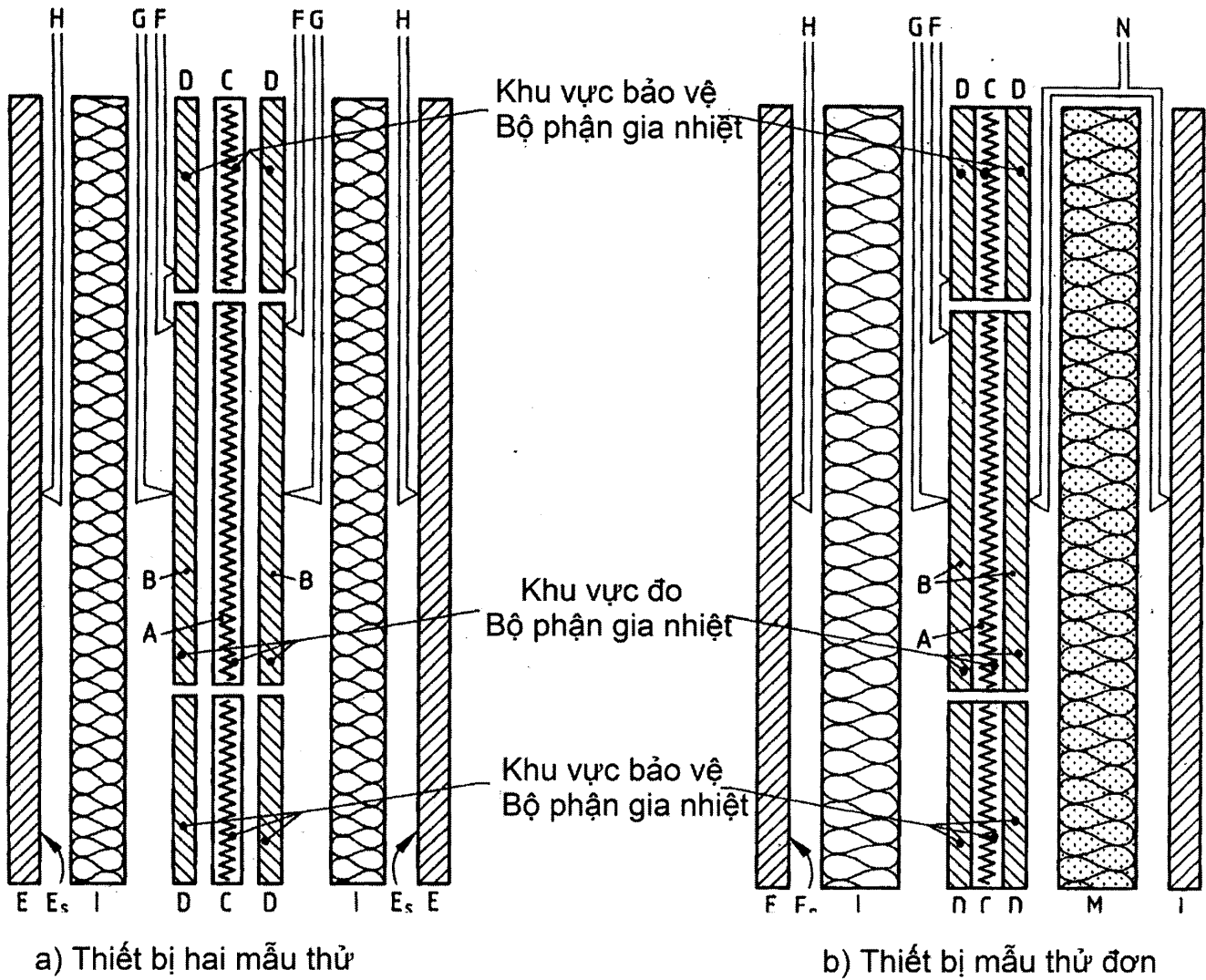
Thiết bị tấm nóng được bảo vệ nhằm mục đích thiết lập bên trong (các) mẫu thử ở dạng tấm đồng nhất có các mặt phẳng song song, mật độ dòng nhiệt đồng nhất một chiều ở trạng thái ổn định giống như điều kiện một tấm vô hạn được giới hạn bởi hai mặt phẳng đẳng nhiệt song song.

### 1.6.2 Các loại thiết bị

Về cơ bản có 2 loại thiết bị đo chính:

- a) Có 2 mẫu thử (với một bộ phận gia nhiệt trung tâm)
- b) Có 1 mẫu thử đơn

#### 1.6.2.1 Thiết bị hai mẫu thử



**CHÚ DẪN:**

- A Khu vực đo bộ phận gia nhiệt
- B Khu vực đo bề mặt tấm
- C Khu vực bảo vệ bộ phận gia nhiệt
- D Khu vực bảo vệ bề mặt tấm
- E Bộ phận làm lạnh
- Es Bề mặt tấm bộ phận làm lạnh
- F Cặp nhiệt điện đo chênh lệch
- G Cặp nhiệt điện đo bề mặt bộ phận gia nhiệt
- H Cặp nhiệt điện đo bề mặt bộ phận làm lạnh
- I Mẫu thử nghiệm
- L Tấm bảo vệ
- M Tấm bảo vệ cách nhiệt
- N Cặp nhiệt điện đo chênh lệch tấm bảo vệ

**Hình 1 – Nguyên lý đo của thiết bị tấm nóng được bảo vệ hai mẫu thử và thiết bị mẫu thử đơn**

Trong thiết bị đo hai mẫu thử [xem hình 1a)], một tổ hợp tấm phẳng hình tròn hoặc hình vuông ở giữa bao gồm một bộ gia nhiệt và các tấm bề mặt kim loại được gọi là bộ phận gia nhiệt được kẹp giữa hai mẫu thử gần như giống hệt nhau. Dòng nhiệt được truyền qua các mẫu thử đến các tổ hợp phẳng đẳng nhiệt hình tròn hoặc hình vuông được gọi là bộ phận làm lạnh.

### 1.6.2.2 Thiết bị đo mẫu đơn

Trong thiết bị mẫu đơn [xem hình 1b)], mẫu thứ hai được thay thế bằng một miếng cách nhiệt và một tấm bảo vệ. Mức chênh nhiệt độ bằng không được thiết lập qua sự kết hợp này. Miễn là tất cả các yêu cầu khác của Tiêu chuẩn này được đáp ứng, việc đo lường chính xác và báo cáo theo phương pháp này có thể được thực hiện với loại thiết bị này. Tuy nhiên, báo cáo nên đề cập đặc biệt đến sự thay đổi của thiết bị tấm nóng với hai mẫu thử thông thường.

### 1.6.3 Bộ gia nhiệt và làm lạnh

Bộ phận gia nhiệt bao gồm một phần đo lường riêng biệt, nơi có thể thiết lập cường độ dòng nhiệt đồng đều và không đổi theo một hướng, được bao quanh bởi phần bảo vệ ngăn cách bởi một khe hẹp. Các bộ phận tấm lạnh có thể bao gồm một cụm tấm phẳng liên tục nhưng tốt hơn nên có dạng tương tự như bộ phận gia nhiệt.

### 1.6.4 Phần cách nhiệt cạnh và phần bảo vệ phụ

Cần thêm phần cách nhiệt cạnh và/hoặc các phần bảo vệ phụ trợ, đặc biệt khi vận hành ở trên hoặc dưới nhiệt độ phòng.

### 1.6.5 Định nghĩa thiết bị tấm nóng được bảo vệ

Thuật ngữ “tấm nóng được bảo vệ” áp dụng cho toàn bộ thiết bị đã lắp ráp, được gọi là “thiết bị tấm nóng được bảo vệ”. Các tính năng chung của thiết bị có lắp đặt mẫu thử được thể hiện trong hình 1.

### 1.6.6 Đo mật độ dòng nhiệt

Khi thiết lập trạng thái ổn định trong khu vực đo lường, mật độ dòng nhiệt ( $q$ ) được xác định từ phép đo lưu lượng dòng nhiệt ( $\dot{Q}$ ) và diện tích khu vực đo ( $A$ ) mà dòng nhiệt đi qua.

### 1.6.7 Đo chênh lệch nhiệt độ

Chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu ( $\Delta T$ ) được đo bằng cảm biến nhiệt độ cố định ở bề mặt của các tấm kim loại và/hoặc bề mặt của mẫu thử khi thích hợp.

### 1.6.8 Đo nhiệt trở hoặc hệ số truyền

Nhiệt trở ( $R$ ) được tính từ  $q$ ,  $A$  và  $\Delta T$  nếu các điều kiện thích hợp được đảm bảo như mô tả trong 1.8.1. Nếu độ dày ( $d$ ) của mẫu được đo, hệ số truyền ( $J$ ) có thể được tính toán.

### 1.6.9 Tính toán độ dẫn nhiệt

Độ dẫn nhiệt trung bình ( $\lambda$ ) của mẫu thử cũng có thể được tính toán nếu các điều kiện thích hợp được đảm bảo như mô tả trong 1.8.2 được thực hiện và độ dày ( $d$ ) của mẫu được đo.

### 1.6.10 Giới hạn thiết bị

Việc áp dụng phương pháp này bị giới hạn bởi khả năng của duy trì dòng nhiệt đồng đều và không đổi theo một hướng trong mẫu cùng với khả năng đo công suất, nhiệt độ và kích thước đến giới hạn độ chính xác yêu cầu của thiết bị.

### 1.6.11 Giới hạn mẫu

Việc áp dụng phương pháp này cũng bị hạn chế bởi hình dạng của mẫu thử và mức độ đồng đều về độ dày và cấu trúc (trong trường hợp thiết bị với hai mẫu thử) và bề mặt bằng phẳng hoặc song song.

## 1.7 Hạn chế đo thiết bị

### 1.7.1 Hạn chế đo nhiệt trở tiếp xúc

## **TCVN xxxxx:2024**

Khi thử nghiệm các mẫu thử có độ dẫn nhiệt cao và cứng (tức là các mẫu thử làm bằng vật liệu quá cứng và không chịu uốn để có thể bị thay đổi đáng kể về hình dạng do áp suất của các bộ phận gia nhiệt và bộ phận làm lạnh) ngay cả những điểm không đồng nhất nhỏ trên bề mặt của cả mẫu thử và thiết bị (bề mặt không hoàn toàn bằng phẳng) sẽ gây ra nhiệt trở tiếp xúc không được phân bố đồng đều giữa các mẫu thử và các bề mặt làm việc của các bộ phận gia nhiệt và bộ phận làm lạnh.

Những điều này sẽ gây ra sự phân bố tốc độ dòng nhiệt không đồng đều và biến dạng trường nhiệt trong mẫu thử; hơn nữa, chúng sẽ làm cho các phép đo nhiệt độ bề mặt chính xác khó thực hiện nếu không có sự trợ giúp của các kỹ thuật đặc biệt. Đối với các mẫu có nhiệt trở nhỏ hơn  $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ , sẽ cần có các kỹ thuật đặc biệt để đo nhiệt độ bề mặt. Bề mặt kim loại cần được gia công hoặc cắt phẳng, song song và giảm áp lực.

### **1.7.2 Giới hạn trên của nhiệt trở**

Giới hạn trên của nhiệt trở có thể đo được bị hạn chế bởi độ ổn định của nguồn điện cung cấp cho thiết bị gia nhiệt, khả năng của thiết bị đo mức công suất và mức độ tổn thất hoặc tăng nhiệt do sai số mất cân bằng nhiệt độ (được phân tích sau) giữa phần đo lường trung tâm và phần bảo vệ của mẫu thử và của bộ phận gia nhiệt.

### **1.7.3 Giới hạn chênh lệch nhiệt độ**

Với điều kiện là tính đồng nhất và ổn định của nhiệt độ trên bề mặt của các tấm gia nhiệt và làm lạnh, độ ồn, độ phân giải và độ chính xác của thiết bị và các hạn chế đối với phép đo nhiệt độ có thể được duy trì trong giới hạn, được mô tả trong Điều 2 và 3, chênh lệch nhiệt độ thấp nhất tới 5 K (khi được đo) có thể được sử dụng trong các phép đo lường, miễn là đáp ứng các yêu cầu được mô tả trong 2.1.4.1.2 đến 2.1.4.1.4. Chênh lệch nhiệt độ thấp hơn sẽ được báo cáo là không phù hợp với tiêu chuẩn này.

Nếu các phép đo nhiệt độ của từng tấm được thực hiện bằng các cặp nhiệt điện có các mối nối tham chiếu độc lập, thì độ chính xác hiệu chuẩn của mỗi cặp nhiệt điện có thể là yếu tố hạn chế trong độ chính xác của chênh lệch nhiệt độ đo được. Trong trường hợp này, nên sử dụng chênh lệch nhiệt độ ít nhất từ 10 K đến 20 K để giảm thiểu lỗi phép đo chênh lệch nhiệt độ.

Chênh lệch nhiệt độ cao hơn chỉ bị giới hạn bởi khả năng cung cấp đủ năng lượng của thiết bị trong khi vẫn duy trì sự đồng nhất về nhiệt độ theo yêu cầu.

### **1.7.4 Độ dày tối đa của mẫu thử**

Các điều kiện biên ở các cạnh của mẫu thử do hiệu ứng cách nhiệt mép, của tấm gia nhiệt bảo vệ phụ trợ và nhiệt độ môi trường xung quanh sẽ giới hạn độ dày tối đa của mẫu thử đối với bất kỳ một cấu hình nào, như được mô tả trong Điều 2 (xem thêm 3.21). Đối với các mẫu không đồng nhất, composit hoặc nhiều lớp, độ dẫn nhiệt trung bình của mỗi lớp phải nhỏ hơn hai lần so với bất kỳ lớp nào khác.

Đây được coi là một quy tắc tổng quát chỉ yêu cầu ước lượng do người vận hành thực hiện, không nhất thiết đo độ dẫn nhiệt của từng lớp. Dự kiến trong tình huống này, độ chính xác sẽ duy trì gần với độ chính xác có thể dự đoán được cho các thử nghiệm đồng nhất. Không có hướng dẫn cụ thể để đánh giá độ chính xác của phép đo khi yêu cầu này không được đáp ứng.

### **1.7.5 Độ dày tối thiểu của mẫu thử**

Độ dày tối thiểu của mẫu thử bị giới hạn bởi nhiệt trở nêu trong 1.7.1. Khi yêu cầu độ dẫn nhiệt hoặc nhiệt trở suất hoặc hệ số truyền nhiệt hoặc hệ số truyền, độ dày tối thiểu của mẫu thử cũng bị giới hạn bởi độ chính xác của thiết bị đo độ dày.

#### 1.7.6 Định nghĩa khu vực đo

Các nghiên cứu lý thuyết cho thấy rằng khu vực đo, tức là phần diện tích của mẫu thử được giới hạn bởi khu vực đo trung tâm mà dòng nhiệt đi qua, có liên quan đến độ dày mẫu thử và chiều rộng khe hở. Khi độ dày tiến gần đến 0, khu vực đo có xu hướng là khu vực của phần đo trung tâm, trong khi đối với các mẫu dày, vùng đo được giới hạn bởi đường xác định trung tâm của khe hở (2.1.1.3). Để tránh các điều chỉnh phức tạp, định nghĩa này có thể được giữ lại, miễn là độ dày của mẫu tối thiểu bằng mười lần chiều rộng của khe hở. Đối với một số ứng dụng đặc biệt, xem thêm 3.1c).

#### 1.7.7 Nhiệt độ vận hành tối đa

Nhiệt độ hoạt động tối đa của các bộ phận gia nhiệt và làm lạnh có thể bị giới hạn bởi quá trình oxy hóa, ứng suất nhiệt hoặc các yếu tố khác làm giảm tính phẳng và tính đồng nhất của tấm bề mặt và bởi sự thay đổi nhiệt trở suất của lớp cách điện có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của tất cả phép đo điện.

#### 1.7.8 Điều kiện chân không

Phải đặc biệt cẩn thận nếu sử dụng thiết bị tẩm nóng được bảo vệ để đo trong điều kiện chân không. Nếu muốn có độ chân không cao, vật liệu của thiết bị phải được lựa chọn cẩn thận để tránh sự bốc hơi quá mức. Trong điều kiện chân không, đặc biệt là ở nhiệt độ thấp hơn, các lỗi nghiêm trọng có thể phát sinh nếu không chú ý khi lắp đặt dây đốt và cảm biến nhiệt độ để giảm thiểu lưu lượng dòng nhiệt bên ngoài và lỗi đo nhiệt độ.

#### 1.7.9 Kích thước thiết bị

Kích thước tổng thể của thiết bị tẩm nóng được bảo vệ sẽ bị chi phối bởi các kích thước của mẫu thử, thường nằm trong giới hạn đường kính hoặc kích thước hình vuông từ 0,2 m đến 1 m. Các mẫu nhỏ hơn 0,3 m có thể không đại diện cho vật liệu khối, trong khi các mẫu lớn hơn 0,5 m có thể tạo ra các vấn đề đáng kể trong việc duy trì độ phẳng của mẫu và tấm, tính đồng nhất của nhiệt độ, thời gian cân bằng và tổng chi phí trong giới hạn chấp nhận được.

Để dễ so sánh giữa các phòng thí nghiệm và để cải thiện chung trong hợp tác đo lường, nên thiết kế thiết bị tẩm nóng được bảo vệ dựa trên một trong các kích thước tiêu chuẩn được đề xuất như sau:

- Đường tròn hoặc vuông có kích thước 0,3 m;
- Đường tròn hoặc vuông có kích thước 0,5 m; và ngoài ra:
- Đường tròn hoặc vuông có kích thước 0,2 m nếu chỉ thử vật liệu đồng nhất;
- Đường tròn hoặc vuông có kích thước 1m nếu mẫu thử được đo ở độ dày vượt quá giới hạn cho phép đối với thiết bị 0,5 m

### 1.8 Hạn chế do mẫu thử

#### 1.8.1 Nhiệt trở, hệ số dẫn nhiệt hoặc hệ số truyền

##### 1.8.1.1 Tính đồng nhất của mẫu



## TCVN xxxxx:2024

Khi thực hiện các phép đo nhiệt trở hoặc độ dẫn nhiệt của các mẫu không đồng nhất, mật độ của lưu lượng dòng nhiệt cả bên trong mẫu và trên các bề mặt của khu vực đo có thể không đơn hướng hoặc không đổi. Biến dạng trường nhiệt sẽ xuất hiện trong mẫu thử và có thể gây ra các lỗi nghiêm trọng. Khu vực trong mẫu tiếp giáp với khu vực đo và đặc biệt là gần các cạnh của khu vực này là quan trọng nhất. Rất khó để đưa ra các hướng dẫn đáng tin cậy về khả năng áp dụng của phương pháp trong những trường hợp như vậy. Các sai số thường là do lỗi tổn thất nhiệt ở cạnh, lỗi do phân bố nhiệt độ không đồng đều trong đồng hồ đo dòng nhiệt, v.v., Các sai số này hiện không thể đoán trước do sự không đồng nhất ở các vị trí tương đối khác nhau trong mẫu thử. Kết quả là tất cả các kiểm tra được đề xuất trong 3.4 có thể bị ảnh hưởng bởi các lỗi hệ thống.

Trong một số mẫu thử, sự thay đổi cấu trúc có thể xảy ra trong khoảng cách nhỏ. Điều này đúng với nhiều vật liệu cách nhiệt.

Trong các mẫu thử khác, có thể tồn tại mạch đo dẫn nhiệt trực tiếp giữa các bề mặt của mẫu thử tiếp xúc với các bộ phận và các đồng hồ đo dòng nhiệt. Hiệu ứng lớn nhất xảy ra khi các phần vật liệu dẫn nhiệt (với diện tích bề mặt mở rộng ở mỗi bên của mẫu thử) dễ dàng được kết nối với nhau thông qua một đường dẫn có nhiệt trở thấp so với các đường khác.

### 1.8.1.2 Ảnh hưởng của chênh lệch nhiệt độ

Nhiệt trở hoặc độ dẫn nhiệt có thể là một hàm của chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử. Trong báo cáo, phạm vi chênh lệch nhiệt độ áp dụng cho các giá trị báo cáo của hai đặc tính phải được xác định hoặc phải nêu rõ rằng giá trị được báo cáo được xác định ở một chênh lệch nhiệt độ duy nhất.

### 1.8.2 Độ dẫn nhiệt trung bình của mẫu thử

Để xác định độ dẫn nhiệt hoặc nhiệt trở trung bình của mẫu thử (xem 1.3.4), phải đáp ứng các tiêu chí trong 1.8.1. Mẫu thử phải đồng nhất về nhiệt hoặc đồng nhất về khả năng hút ẩm như được định nghĩa trong TCVN 9312 (ISO 9251). Các mẫu thử có độ hút ẩm đồng nhất phải đảm bảo rằng mọi kích thước không đồng nhất nhỏ hơn 1/10 độ dày của mẫu thử. Ngoài ra, ở bất kỳ nhiệt độ trung bình nào, nhiệt trở cũng phải không phụ thuộc vào sự chênh lệch nhiệt độ được thiết lập qua mẫu thử.

Nhiệt trở của vật liệu phụ thuộc vào cường độ tương đối của các quá trình truyền nhiệt liên quan. Dẫn nhiệt, bức xạ nhiệt và đối lưu nhiệt là các cơ chế chính. Tuy nhiên, các cơ chế này có thể kết hợp để tạo ra các hiệu ứng phi tuyến tính khó phân tích hoặc đo lường ngay cả khi các cơ chế cơ bản đã được nghiên cứu và hiểu rõ.

Độ lớn của tất cả các quá trình truyền nhiệt phụ thuộc vào chênh lệch nhiệt độ được thiết lập trên mẫu thử. Đối với nhiều vật liệu, sản phẩm và hệ thống, sự phụ thuộc phức tạp sẽ xảy ra ở chênh lệch nhiệt độ điển hình trong quá trình sử dụng. Trong những trường hợp này, tốt hơn nên sử dụng một giá trị như vậy và xác định mối quan hệ gần đúng cho một phạm vi chênh lệch nhiệt độ. Sự phụ thuộc có thể là tuyến tính cho một phạm vi rộng chênh lệch nhiệt độ.

Một số mẫu thử, mặc dù đáp ứng các tiêu chí về tính đồng nhất, nhưng lại có tính dị hướng ở chỗ thành phần độ dẫn nhiệt được đo theo hướng song song với các bề mặt khác với thành phần được đo theo hướng vuông góc với các bề mặt. Đối với những mẫu thử như vậy, điều này có thể dẫn đến các lỗi mất cân bằng lớn và tổn thất nhiệt ở cạnh. Nếu tỷ lệ giữa hai giá trị đo được này thấp hơn hai, thì vẫn có thể báo

cáo theo phương pháp này nếu sai số mất cân bằng và tổn thất nhiệt ở biên được xác định riêng biệt với các mẫu không đẳng hướng được gắn trong thiết bị.

### **1.8.3 Hệ số dẫn nhiệt, nhiệt trở suất hoặc độ truyền nhiệt của vật liệu**

#### **1.8.3.1 Yêu cầu chung**

Để xác định độ dẫn nhiệt hoặc nhiệt trở suất của vật liệu, phải đáp ứng các tiêu chí trong 1.8.2. Ngoài ra, việc lấy mẫu phải tuân thủ chặt chẽ các quy định về lấy mẫu để đảm bảo mẫu thử là đồng nhất và có tính chất đại diện cho toàn bộ vật liệu, sản phẩm hoặc hệ thống. Độ dày của mẫu thử phải được lựa chọn sao cho hệ số truyền của vật liệu, sản phẩm, hệ thống không thay đổi quá 2% khi độ dày tăng thêm.

#### **1.8.3.2 Sự phụ thuộc vào độ dày mẫu thử**

Trong số các quá trình liên quan, chỉ có dẫn nhiệt tạo ra nhiệt trở là tỷ lệ thuận với độ dày của mẫu thử. Các quá trình khác dẫn đến mối quan hệ phức tạp hơn. Vật liệu càng mỏng và càng ít đậm đặc thì nhiệt trở của vật liệu phụ thuộc nhiều vào quá trình khác hơn là quá trình dẫn nhiệt. Kết quả là một điều kiện không thỏa mãn yêu cầu của các định nghĩa về độ dẫn nhiệt và nhiệt trở suất, cả hai đều xác định các đặc tính nội tại, vì các hệ số truyền cho thấy sự phụ thuộc vào độ dày của mẫu thử. Đối với những vật liệu như vậy, có thể mong muốn xác định nhiệt trở ở các điều kiện áp dụng cho việc sử dụng chúng. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng có một độ dày giới hạn thấp hơn đối với tất cả các vật liệu dưới đó xảy ra sự phụ thuộc như vậy. Dưới độ dày này, mẫu thử có thể có các đặc tính truyền nhiệt duy nhất, nhưng không phải là của vật liệu. Do đó, phải thiết lập độ dày tối thiểu của các vật liệu này bằng các phép đo.

#### **1.8.3.3 Xác định chiều dày tối thiểu để có thể xác định đặc tính truyền nhiệt của vật liệu**

Nếu không biết độ dày tối thiểu mà hệ số truyền nhiệt có thể được xác định, thì cần phải ước tính độ dày này. Không có yêu cầu cụ thể, quy trình cơ bản được nêu trong 3.4.2 có thể được sử dụng để xác định độ dày và giới hạn đo theo phạm vi độ dày cho phép.

Điều quan trọng là phải phân biệt giữa nhiệt trở bổ sung trong các phép đo gây ra bởi việc đặt các cặp nhiệt điện bên dưới bề mặt của các tấm hoặc đồng hồ đo dòng nhiệt, điện trở bổ sung do bề mặt mẫu kém chất lượng và nhiệt trở bổ sung gây ra bởi sự kết hợp dẫn nhiệt và bức xạ nhiệt. Cả ba đều có thể ảnh hưởng đến các phép đo theo cùng một cách và thường cả ba có thể bổ sung cho nhau.

### **1.8.4 Cong vênh**

Cần đặc biệt cẩn thận với các mẫu thử có hệ số giãn nở nhiệt lớn gây cong vênh quá mức khi chịu chênh lệch nhiệt độ. Sự cong vênh có thể làm hỏng thiết bị hoặc có thể gây ra nhiệt trở tiếp xúc bổ sung có thể dẫn đến sai số nghiêm trọng trong phép đo. Thiết bị cần được thiết kế đặc biệt để có thể đo lường các vật liệu như vậy.

## **2 Thiết bị và đánh giá sai số**

### **2.1 Mô tả thiết bị và yêu cầu thiết kế**

Trong hầu hết phần lớn Điều này, các yêu cầu của thiết bị sử dụng hai mẫu thử được mô tả; có thể dễ dàng xác định các yêu cầu áp dụng cho thiết bị mẫu đơn.

#### **2.1.1 Bộ phận gia nhiệt**

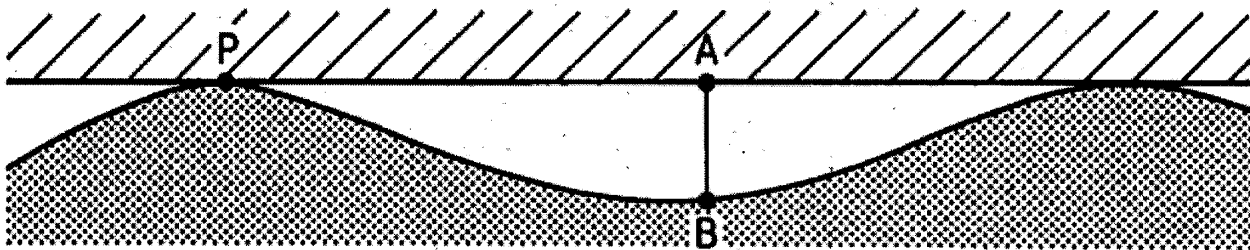
##### **2.1.1.1 Yêu cầu chung**

## TCVN xxxxx:2024

Bộ phận gia nhiệt bao gồm phần đo trung tâm và phần bảo vệ. Phần đo lường bao gồm khu vực đo của bộ phận gia nhiệt và các tấm bề mặt. Phần bảo vệ bao gồm một hoặc nhiều bộ phận gia nhiệt được bảo vệ và các tấm bề mặt được bảo vệ. Các tấm bề mặt thường được làm bằng kim loại có độ dẫn nhiệt cao.

Các bề mặt làm việc của tấm nóng và tấm làm lạnh không được phản ứng hóa học với mẫu thử và môi trường, phải được hoàn thiện nhẵn để phù hợp với mặt phẳng thật và phải được kiểm tra định kỳ.

Độ lệch tối đa của bề mặt so với mặt phẳng không được vượt quá 0,025 % trong mọi điều kiện vận hành, tức là với tham chiếu đến hình 2, giả sử một mặt phẳng lý tưởng tiếp xúc với bề mặt tại P, thì tại bất kỳ điểm B nào khác của bề mặt, tỷ lệ giữa khoảng cách AB từ mặt phẳng và khoảng cách AP từ điểm tiếp xúc tham chiếu phải nhỏ hơn 0,025/100.



Hình 2 – Độ lệch của bề mặt với mặt phẳng thực

### 2.1.1.2 Vật liệu

Các vật liệu được sử dụng để chế tạo bộ phận gia nhiệt phải được lựa chọn cẩn thận có xem xét đầy đủ đến hiệu suất của chúng ở nhiệt độ mà bộ phận gia nhiệt sẽ được vận hành.

Bộ phận gia nhiệt phải được thiết kế để đảm bảo đủ mật độ dòng nhiệt và các đặc tính phù hợp cho mục đích sử dụng. Bộ phận gia nhiệt phải được thiết kế và kết cấu sao cho khi vận hành, sai lệch so với độ đồng đều nhiệt độ đối với từng mặt không lớn hơn 2 % chênh lệch nhiệt độ qua mẫu thử.

Đối với thiết bị hai mẫu thử, hai bề mặt của phần đo và của phần bảo vệ phải nằm trong khoảng 0,2 K so với nhiệt độ trung bình của chúng, ít nhất là đối với các mẫu có nhiệt trở lớn hơn 0,1 m<sup>2</sup>.KW và được thử nghiệm ở nhiệt độ thử nghiệm trung bình gần với nhiệt độ phòng. .

Bộ phận gia nhiệt cũng phải được thiết kế và xây dựng sao cho hai mặt không bị cong vênh hoặc lệch phẳng ở nhiệt độ vận hành.

Bề mặt của tất cả các tấm phải có và duy trì tổng phát xạ bán cầu lớn hơn 0,8 ở nhiệt độ vận hành.

### 2.1.1.3 Khoảng trống và vùng đo

Bộ phận gia nhiệt phải có khoảng cách hoặc khe hở nhất định giữa các tấm bề mặt của phần đo lường và phần bảo vệ. Diện tích của khe hở trên mặt phẳng của tấm bề mặt không được lớn hơn 5 % diện tích phần đo.

Khoảng cách giữa các cuộn dây gia nhiệt và khe hở giữa phần đo và phần bảo vệ liền kề phải được thiết kế để phân phối nhiệt đồng đều lên các tấm bề mặt theo tiêu chí đồng nhất nhiệt độ trong 2.1.1.2.

Kích thước của khu vực đo phải được xác định bằng các phép đo đến tâm của khe hở bao quanh khu vực này, trừ khi các tính toán hoặc thử nghiệm được sử dụng để xác định khu vực chính xác hơn. Đối với một số ứng dụng đặc biệt, xem 3.1 c).

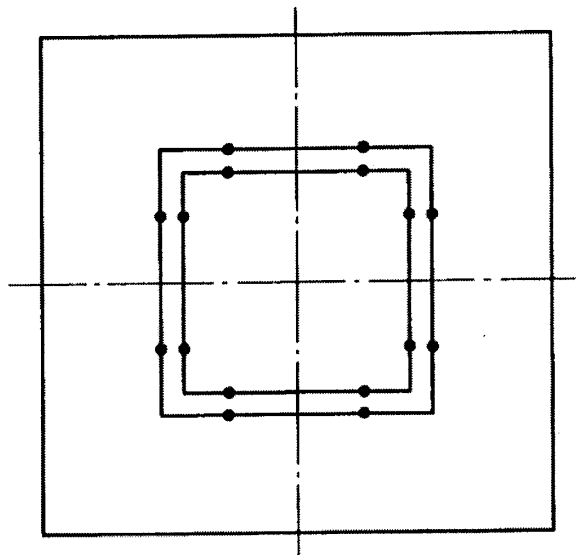
#### 2.1.1.4 Mất cân bằng qua khe hở

Một phương tiện thích hợp chẳng hạn như một pin nhiệt điện đa điểm nối sẽ được cung cấp để phát hiện mức độ mất cân bằng nhiệt độ trung bình giữa các tấm bề mặt của phần đo lường và phần bảo vệ.

Khi có sự mất cân bằng nhiệt độ giữa phần đo lường và phần bảo vệ, một lượng nhiệt sẽ truyền, giữa hai thành phần, một phần qua mẫu thử (tốc độ dòng nhiệt phụ thuộc vào sự mất cân bằng nhiệt độ và độ dẫn nhiệt của mẫu thử) và một phần qua chính khe hở (tốc độ dòng nhiệt chỉ phụ thuộc vào sự mất cân bằng nhiệt độ). Mật độ dòng nhiệt này đi qua khe hở dưới sự mất cân bằng nhiệt là giới hạn nghiêm trọng nhất khi đo các mẫu thử có nhiệt trở cao.

Trong thiết bị tẩm nóng được bảo vệ hình vuông, đã biết rằng sự mất cân bằng nhiệt độ không hoàn toàn đồng đều dọc theo toàn bộ khe hở, mặc dù có rất ít thông tin định lượng về chủ đề này. Khi chỉ sử dụng một số lượng hạn chế cảm biến mất cân bằng, các vị trí đại diện nhất để phát hiện sự cân bằng trung bình sẽ là những vị trí cách các góc của phần đo lường bằng một phần tư cạnh của phần đo lường dọc theo hướng khe hở.

Phải tránh các góc và trục (xem hình 3 và tài liệu tham khảo [5])



**Hình 3– Vị trí đề xuất cho các cảm biến mất cân bằng**

#### 2.1.1.5 Cảm biến mất cân bằng



biến được làm cho không đáng kể so với các nhiệt trở khác được đề cập hoặc khi tốc độ dòng nhiệt truyền từ các tấm kim loại đến mẫu thử không đi qua các cảm biến, như trong hình 4b) hoặc 4c). Những cân nhắc tương tự cũng đúng khi các cảm biến được lắp đặt giữa các tấm kim loại và bộ phận gia nhiệt bằng điện của bộ phận gia nhiệt.

Do đó, nên tránh lắp đặt các cảm biến trong các rãnh trên các tấm kim loại đối diện với mẫu hoặc bộ phận gia nhiệt, sử dụng các tấm mỏng hỗ trợ các cảm biến mất cân bằng hoặc các giải pháp tương tự trừ khi kiểm tra thực nghiệm và phân tích cẩn thận trong tất cả các điều kiện hoạt động của nhiệt trở được đề cập đã được thực hiện.

Sự hiện diện của khe hở và các kết nối cơ khí thông qua nó tạo ra các chênh lệch nhiệt độ nhỏ trong các tấm kim loại của bộ phận gia nhiệt tiếp xúc với các mẫu và do đó, các cảm biến mất cân bằng sẽ được định vị để ghi lại sự mất cân bằng nhiệt độ tồn tại dọc theo mép của khe hở và không tồn tại sự mất cân bằng giữa một số điểm tùy ý của các tấm kim loại trên phần đo và trên phần bảo vệ. Có ý kiến cho rằng khoảng cách giữa cạnh khe hở và cảm biến phải nhỏ hơn 5% cạnh hoặc đường kính của phần đo.

Do sự không chắc chắn trong cân bằng nhiệt độ thực sẽ luôn tồn tại, nên nhiệt trở của khe hở phải được tạo ra càng cao càng tốt trên thực tế. Các quy tắc chung tốt là bất kỳ kết nối cơ học nào giữa phần đo và phần bảo vệ phải được thực hiện càng nhỏ càng tốt, tránh các kết nối kim loại hoặc liên tục nếu có thể.

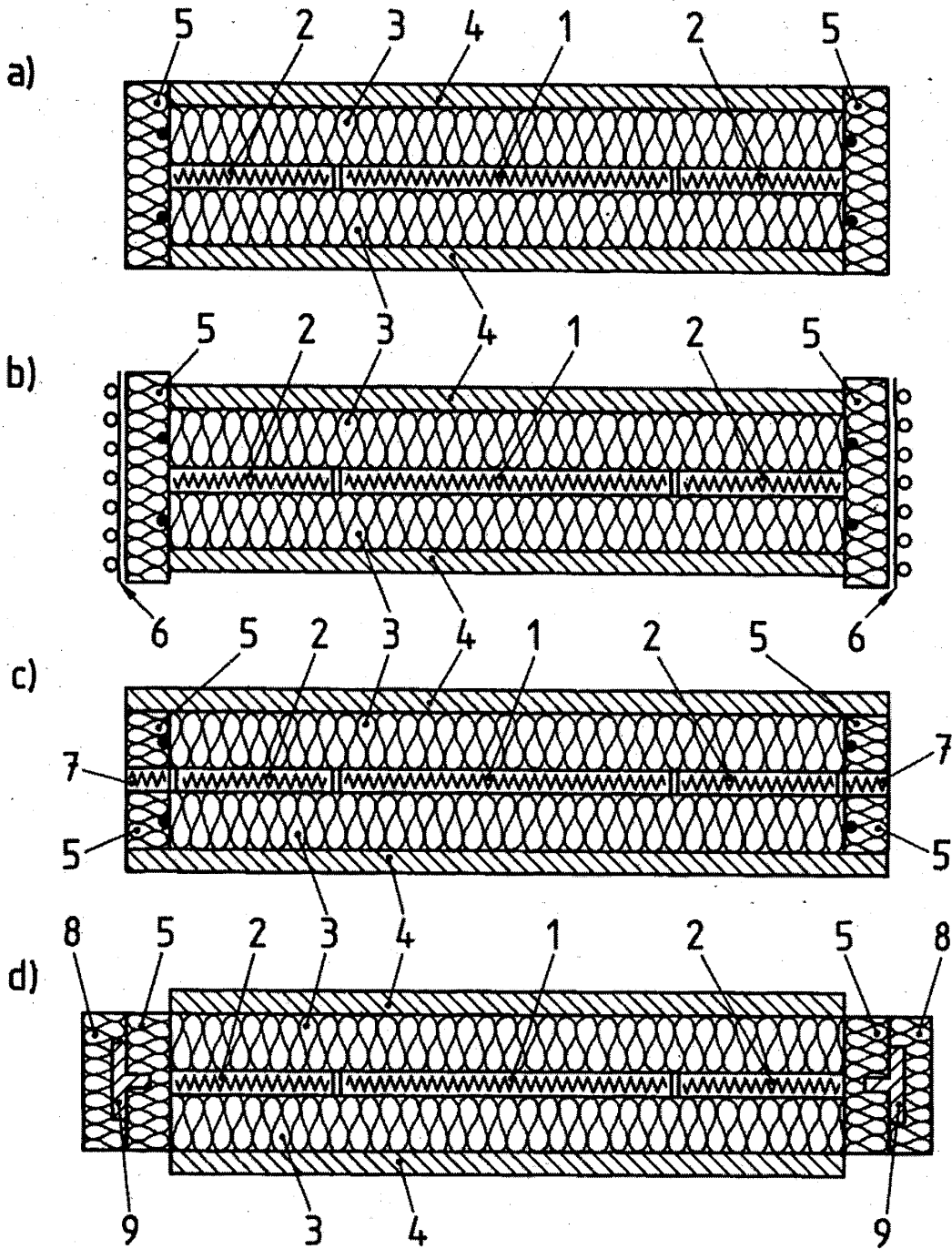
Dây điện phải đi qua khe hở bằng các đường xuyên và phải có đường kính mỏng và bằng kim loại có độ dẫn nhiệt thấp. Việc sử dụng đồng nên được hạn chế ở mức tối thiểu.

### 2.1.2 Bộ phận làm lạnh

Các bộ làm lạnh phải có kích thước bề mặt ít nhất lớn bằng kích thước bề mặt của bộ phận gia nhiệt, bao gồm cả (các) bộ phận gia nhiệt được bảo vệ. Chúng phải bao gồm các tấm kim loại được duy trì ở nhiệt độ không đổi và đồng đều, trong phạm vi 2 % chênh lệch nhiệt độ giữa mẫu và thấp hơn nhiệt độ của bộ phận gia nhiệt. Điều này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng chất lỏng có nhiệt độ không đổi, sử dụng bộ phận gia nhiệt điện, sử dụng vật liệu cách nhiệt có nhiệt trở đồng đều được áp dụng giữa các bề mặt ngoài cùng của bộ phận gia nhiệt và các tấm làm lạnh phù hợp, hoặc bằng cách kết hợp các biện pháp này, sao cho phù hợp với nhiệt độ làm lạnh mong muốn.

Các tấm kim loại được làm lạnh bằng chất lỏng cần được chú ý đặc biệt trong thiết kế để có được sự đồng đều về nhiệt độ (xem tài liệu [5] và [24]). Chênh lệch nhiệt độ giữa chất lỏng đầu vào và đầu ra phải được đánh giá cho tình huống nhiệt độ tải cao nhất kết hợp với lưu lượng dòng chất lỏng nhất định. Đối với hầu hết các bố trí đường dẫn chất lỏng, chênh lệch nhiệt độ này lớn hơn bất kỳ sự không đồng đều nhiệt độ nào của tấm. Các kết quả tốt nhất sẽ thu được với các dòng xoắn ốc ngược dòng. Tuy nhiên, trong trường hợp này, nhiệt trở giữa chất lỏng và tấm kim loại phải đủ cao (xem tài liệu [5] và [24]), nếu không, sự không đồng đều về nhiệt độ của tấm có thể còn lớn hơn chênh lệch nhiệt độ giữa đầu vào và đầu ra của chất lỏng.

### 2.1.3 Cách nhiệt mép và tổn thất nhiệt mép



CHÚ DẪN:

- 1 Phần đo lường trung tâm tấm nóng
- 2 Phần bảo vệ tấm nóng
- 3 Mẫu thử
- 4 Bộ phận làm lạnh
- 5. Cách nhiệt mép (các chấm là cảm biến nhiệt độ, khi được lắp đặt)
- 6 Bảo vệ đẳng nhiệt bên ngoài bổ sung
- 7 Bảo vệ mặt phẳng bên ngoài bổ sung
- 8 Lớp cách nhiệt bảo vệ bên ngoài bổ sung
- 9 Tấm chắn hình chữ T bên ngoài bổ sung

Hình 5–Các cấu hình khả thi để hạn chế tổn thất nhiệt ở mép

Độ lệch so với dòng nhiệt một chiều trong mẫu thử là do điều kiện không đoạn nhiệt ở các mép của thiết bị gia nhiệt và của mẫu thử. Ngoài ra, tổn thất nhiệt từ các mép của thiết bị gia nhiệt và mẫu thử sẽ gây ra chênh lệch nhiệt độ bên trong các tấm bề mặt của phần bảo vệ, do đó tạo ra độ lệch bổ sung so với mô hình dòng nhiệt một chiều lý tưởng dự kiến.

Tổn thất nhiệt từ mép mẫu thử gây ra sai số mất nhiệt mép chỉ có thể được tính toán đối với các mẫu đẳng hướng đồng nhất trong các điều kiện biên đơn giản hóa. Các sai số này sẽ nhỏ nhất nếu nhiệt độ môi trường xung quanh tương ứng với nhiệt độ trung bình của mẫu thử. Để biết thông tin về tính toán, xem 2.2.1 và các tài liệu [4], [5], [10], [11], [19], [28] và [37].

Có rất ít hoặc không có thông tin về các sai số do mất nhiệt mép khác. Do đó, tổn thất nhiệt từ các mép bên ngoài của phần bảo vệ và mẫu thử phải được hạn chế. Điều này có thể được thực hiện bằng cách cách nhiệt cạnh, bằng cách kiểm soát nhiệt độ môi trường, bằng bộ phận bảo vệ bên ngoài bổ sung, bằng một bộ bảo vệ dọc theo độ dốc tuyến tính hoặc bằng sự kết hợp của các phương pháp này; bốn cấu hình có thể được hiển thị trong Hình 5.

Một đường dẫn nhiệt rất quan trọng từ các mép của bộ phận gia nhiệt là dọc theo dây của bộ phận gia nhiệt và cảm biến nhiệt độ. Do đó, cần phải cung cấp một bề mặt đẳng nhiệt gần bộ phận gia nhiệt và ở cùng nhiệt độ. Tất cả các dây dẫn phải được gắn chặt vào bề mặt. Bề mặt đẳng nhiệt này có thể là bộ phận bảo vệ bổ sung hoặc bất kỳ bề mặt thích hợp nào khác. Mức độ mất cân bằng nhiệt phải được giới hạn sao cho tốc độ dòng nhiệt trao đổi qua dây dẫn sẽ không vượt quá 10 % tốc độ dòng nhiệt đi qua các mẫu trong điều kiện lý tưởng một chiều.

## 2.1.4 Thiết bị đo lường

### 2.1.4.1 Đo nhiệt độ

#### 2.1.4.1.1 Cảm biến mất cân bằng

Các cảm biến mất cân bằng nhiệt độ có thể được đọc riêng lẻ và tính toán chênh lệch nhiệt độ, hoặc tốt hơn là chúng có thể được kết nối để biểu thị trực tiếp chênh lệch nhiệt độ đó. Các cặp nhiệt điện có đường kính nhỏ (không lớn hơn 0,3 mm) được kết nối dưới dạng pin nhiệt điện, thường được sử dụng cho mục đích này. Hệ thống phát hiện phải đủ nhạy để đảm bảo rằng sai số trong đặc tính đo được do sự mất cân bằng nhiệt độ khe hở phải được hạn chế ở mức 0,5 %, như được xác định bằng thực nghiệm hoặc phân tích. Độ nhạy của nhiều cảm biến nhiệt độ giảm mạnh khi nhiệt độ giảm. Do đó, phải đặc biệt cẩn thận trong việc thiết kế các hệ thống đo lường và điều khiển nhiệt điện để hoạt động trong điều kiện nhiệt độ thấp.

#### 2.1.4.1.2 Chênh lệch nhiệt độ trong thiết bị

Bất kỳ phương pháp đã được chứng minh nào có khả năng đo chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt tấm nóng và tấm lạnh với độ chính xác 1 % đều có thể được sử dụng để đo nhiệt độ trong thiết bị. Nhiệt độ bề mặt thường được đo bằng các cảm biến nhiệt độ được gắn cố định, chẳng hạn như cặp nhiệt điện, được đặt trong các rãnh trên tấm bề mặt hoặc đặt ngay dưới bề mặt tiếp xúc với mẫu thử.

Các giải pháp khác, chẳng hạn như cặp nhiệt điện nhúng trong các tấm mỏng, cần được chuẩn bị đặc biệt để giảm sai sót khi đo nhiệt độ bề mặt, chủ yếu là với các mẫu có nhiệt trở thấp. Một số ví dụ về kết nối cặp nhiệt điện được thể hiện trong hình 6. Các lỗi hệ thống liên quan đến phép đo cặp nhiệt



## TCVN xxxxx:2024

điện thường do thực tế là dây dẫn của chúng không hoàn toàn đồng nhất, do đó có sự chênh lệch nhiệt độ dọc theo chúng tạo ra lực điện động nhỏ. Hiệu ứng này thường lớn hơn trong hợp kim so với kim loại nguyên chất. Trong hình 6a), mỗi cặp nhiệt điện có mối nối tham chiếu trong R và có thể được đọc riêng lẻ.

Khi yêu cầu độ chính xác cao trong các phép đo chênh lệch nhiệt độ nhưng không cần thiết lập nhiệt độ tuyệt đối của thiết bị gia nhiệt và làm lạnh, thì các kết nối vi sai trong hình 6b) hoặc 6c) là hai ví dụ để đạt được mục tiêu này. Khi sử dụng kết nối vi sai, kết quả tốt nhất thu được khi dây  $1_c$ ,  $2_c$ ,  $1_h$  và  $2_h$  trong hình 6b) và 6c) được làm bằng kim loại nguyên chất (ví dụ: đồng) và các dây nối với hoặc H<sub>2</sub> đến C<sub>2</sub> trong các hình giống nhau, nằm trong tủ A, ở nhiệt độ gần với nhiệt độ của các phần gia nhiệt và làm lạnh. Trong tình huống này, chênh lệch nhiệt độ dọc theo các kết nối được giữ ở mức tối thiểu. Ngược lại, hầu hết các ưu điểm sẽ bị mất nếu kết nối vi sai được thực hiện bằng cách kẹp các dây dẫn 1 và 1' của hình 6a).

Loại kết nối được minh họa trong hình 6b) cho phép lấy trung bình các sai số hệ thống của mỗi phép đo chênh lệch, trong khi các kết nối được minh họa trong hình 6c) giảm đến mức tối thiểu các mối liên kết kim loại giữa các thiết bị gia nhiệt và làm lạnh.

Cảm biến nhiệt độ có thể được cách điện hoàn toàn khỏi các tấm hoặc chỉ được nối đất với chúng tại một điểm duy nhất của toàn bộ mạch (do đó, trong các kết nối vi sai, chỉ có thể nối đất một điểm nối của cặp nhiệt điện). Mức độ cách điện cần thiết tùy thuộc vào việc các cảm biến được che chắn bởi các tấm kim loại nối đất của thiết bị gia nhiệt hoặc làm lạnh hay chúng chỉ được cách điện với các mạch điện khác; trong trường hợp sau, điện trở cách điện thường phải lớn hơn 100 MΩ. Việc tính toán và xác minh bằng thực nghiệm phải được thực hiện để đảm bảo rằng các mạch khác không ảnh hưởng đến độ chính xác của các phép đo đặc tính truyền nhiệt.

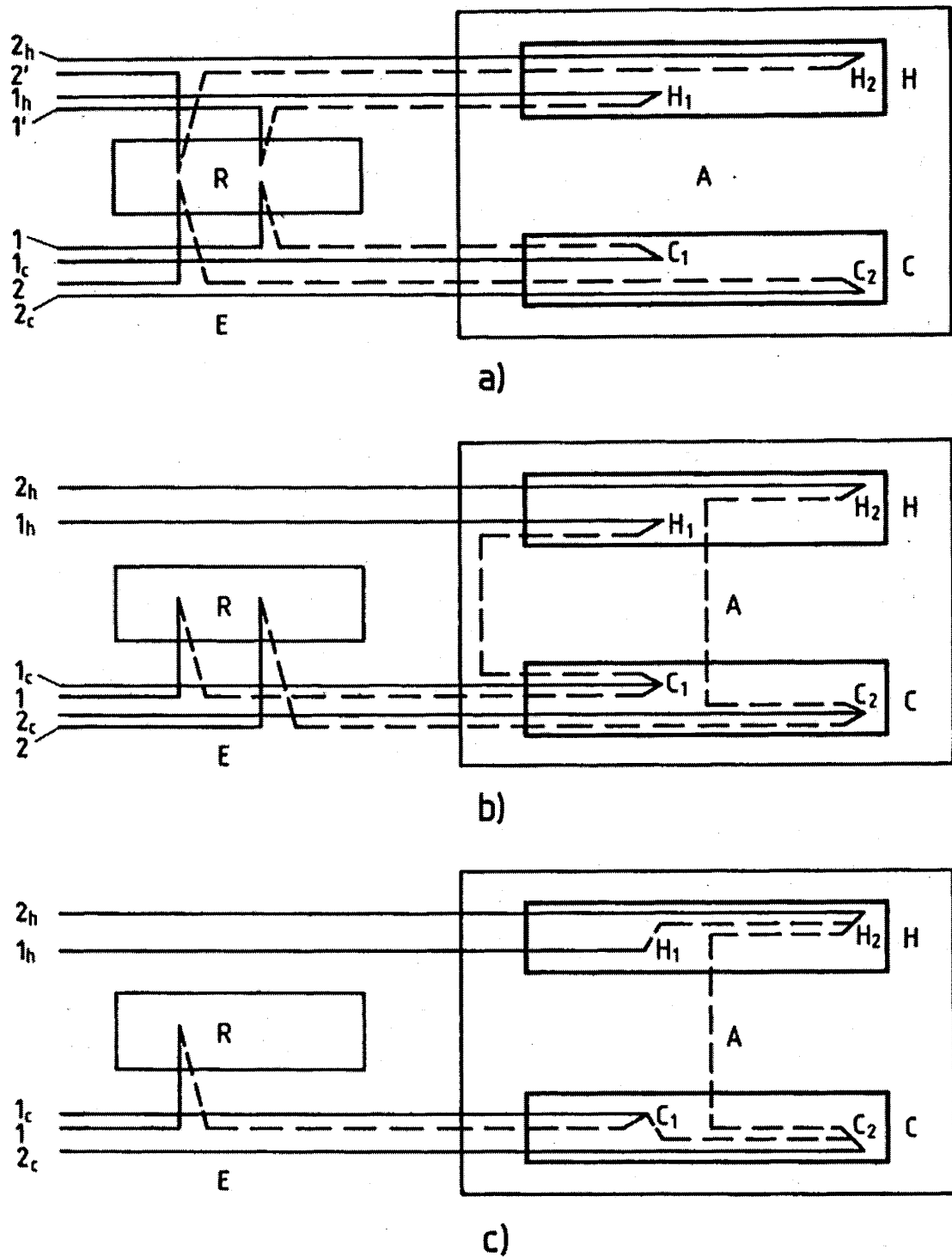
Số lượng cảm biến nhiệt độ ở mỗi bên không được nhỏ hơn  $N\sqrt{A}$  hoặc 2, tùy theo giá trị nào lớn hơn, trong đó  $N = 10 \text{ m}^{-1}$  và A là diện tích tính bằng mét vuông của một mặt của tấm phần đo. Nên đặt một cảm biến nhiệt độ ở trung tâm của khu vực đo sáng và một số cảm biến nhiệt độ tương tự được lắp đặt vĩnh viễn và tương tự tại các vị trí tương ứng trong các thiết bị làm lạnh đối diện.

### 2.1.4.1.3 Chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử

Do ảnh hưởng của nhiệt trở tiếp xúc giữa mẫu thử và thiết bị, nên tồn tại các phương pháp khác nhau để xác định chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử.

Một số kỹ thuật được khuyến nghị như sau; các sai số vốn có của một số phương pháp được mô tả trong tài liệu [6], tuy nhiên trong một số trường hợp, việc lựa chọn phương pháp nào là do người vận hành quyết định.

a) Đối với các mẫu không cứng (xem 1.7.1) có bề mặt phẳng đồng nhất phù hợp tốt với bề mặt phẳng của tấm và có nhiệt trở lớn hơn 0,5 m<sup>2</sup>.KW, chênh lệch nhiệt độ giữa chúng bình thường được chỉ định bởi các cảm biến nhiệt độ, thường là cặp nhiệt điện, được gắn cố định trên bề mặt bộ phận gia nhiệt và làm lạnh.



## CHÚ DẪN:

H Bộ phận gia nhiệt

H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> Mỗi nối cặp nhiệt điện trên thiết bị gia nhiệt

C Bộ phận làm lạnh

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> Mỗi nối cặp nhiệt điện trên bộ phận làm lạnh

R Bể đẳng nhiệt tham chiếu, thường là bể nước đá

A Tủ thiết bị, thường được ổn định gần với nhiệt độ thử nghiệm trung bình

E Môi trường, thường là không khí trong phòng thí nghiệm

Hình 6– Một số cách bố trí cặp nhiệt điện

#### 2.1.4.1.4 Loại và vị trí của cảm biến nhiệt độ

Cặp nhiệt điện được lắp trên bề mặt của các tấm phải được làm bằng dây có đường kính không lớn hơn 0,6 mm và tốt nhất là đường kính không lớn hơn 0,2 mm đối với thiết bị có kích thước nhỏ hơn. Cặp nhiệt điện được đặt dựa vào hoặc đặt vào bề mặt của mẫu phải được làm bằng dây có đường kính không lớn hơn 0,2 mm. Đối với các mẫu có điện trở thấp, nên đặt các cặp nhiệt điện trong bề mặt mẫu bất cứ khi nào có thể; nếu không thì phải sử dụng cặp nhiệt điện có đường kính mỏng hơn.

Các cặp nhiệt điện được sử dụng để đo nhiệt độ của các mặt nóng và lạnh của mẫu phải được chế tạo từ dây của cặp nhiệt điện đã hiệu chuẩn hoặc từ dây đã được nhà cung cấp chứng nhận là nằm trong các giới hạn sai số được đưa ra trong bảng B.1. Cặp nhiệt điện dùng để đo nhiệt độ trong khoảng từ 21 K đến 170 K nên có giới hạn sai số tiêu chuẩn là  $\pm 1\%$ . Để biết thông tin liên quan đến việc lắp đặt, độ nhạy và độ chính xác của cặp nhiệt điện trong phạm vi nhiệt độ đông lạnh, xem tài liệu [7] đến [9].

Sai số dẫn đến chênh lệch nhiệt độ do biến dạng của dạng dòng nhiệt xung quanh cảm biến nhiệt độ, do độ lệch của cảm biến nhiệt độ và do đặc tính của cảm biến nhiệt độ khác phải nhỏ hơn 1%.

Các tiêu chí tương tự sẽ được áp dụng cho các cảm biến nhiệt độ khác với cặp nhiệt điện.

#### 2.1.4.2 Đo độ dày

Phải cung cấp các phương tiện phù hợp để đo độ dày của mẫu thử với độ chính xác trong khoảng 0,5%. Do sự thay đổi của độ dày của mẫu thử có thể xảy ra do sự giãn nở nhiệt, hoặc bị nén bởi các tấm, nên khuyến khích rằng (khi có thể) độ dày của mẫu thử nên được đo trong thiết bị ở nhiệt độ thử nghiệm hiện tại và trong điều kiện nén. Các điểm đo, hoặc đỉnh đo độ dày ở các góc ngoài cùng của các tấm bộ phận làm lạnh hoặc theo các trục vuông góc với các tấm tại trung tâm của chúng, sẽ được sử dụng cho những đo lường này. Độ dày hiệu quả của mẫu được xác định từ sự chênh lệch trung bình giữa khoảng cách các điểm đo khi mẫu đặt trong thiết bị và khi mẫu không đặt vào, và cùng một lực được sử dụng để nén các tấm bộ phận làm lạnh về phía nhau.

#### 2.1.4.3 Hệ thống đo lường điện

Thiết kế của hệ thống đo sẽ phụ thuộc vào thiết kế bộ phận gia nhiệt, loại cảm biến nhiệt độ được sử dụng và mạch cảm biến chênh lệch nhiệt độ. Phạm vi của đầu ra từ những yếu tố này sẽ thay đổi tùy theo phạm vi hoạt động của thiết bị. Có khả năng sẽ thay đổi theo mức độ lớn, có thể lên đến nhiều hạng số. Điều này đòi hỏi các dụng cụ đo có tính tuyến tính cao, phạm vi rộng (nhiều chữ số) hoặc ít tuyến tính hơn, đa dải. Sự lựa chọn sẽ được điều chỉnh bởi các yêu cầu chung của người dùng.

Một hệ thống đo lường có độ nhạy và độ chính xác ít nhất là 0,2 % so với chênh lệch nhiệt độ qua mẫu thử sẽ được sử dụng để đo đầu ra của tất cả các cảm biến nhiệt độ và chênh lệch nhiệt độ. Phép đo công suất của thiết bị gia nhiệt phải được thực hiện trong phạm vi 0,1 % trên toàn bộ phạm vi hoạt động.

#### 2.1.5 Lực giữ

Phải cung cấp một phương tiện để áp đặt lực kẹp không đổi có thể tái tạo lên hệ thống nhằm tăng cường tiếp xúc nhiệt tốt hoặc để duy trì khoảng cách chính xác giữa các tấm của thiết bị.

Có thể tạo ra một lực ổn định sẽ đẩy các bộ phận làm lạnh về phía nhau bằng các lò xo có lực không đổi, một hệ thống đòn bẩy và trọng lượng hoặc một phương pháp tương đương. Hầu như không cần áp suất lớn hơn 2,5 KPa đối với phần lớn các vật liệu cách nhiệt.

Khi thử nghiệm các mẫu có thể nén được, có thể cần phải sử dụng các điểm dừng có diện tích mặt cắt ngang nhỏ và độ dẫn nhiệt thấp giữa các góc của tấm bộ phận làm lạnh và các góc của phần bảo vệ. Các phương tiện khác có thể được sử dụng để áp đặt khoảng cách giữa các tấm của bộ phận sưởi ấm và bộ phận làm lạnh; không cần bố trí áp suất không đổi đối với các phép thử như vậy.

### 2.1.6 Vỏ bọc

Thiết bị tấm nóng được bảo vệ phải được đặt trong vỏ bọc được trang bị để duy trì nhiệt độ khí môi trường bên trong mong muốn và điểm sương hoặc điểm ngưng tụ khi nhiệt độ của bộ phận làm lạnh thấp hơn nhiệt độ phòng hoặc khi nhiệt độ trung bình về cơ bản cao hơn nhiệt độ phòng.

Cần cung cấp các phương tiện để kiểm soát áp suất môi trường và đặc tính của khí nếu cần thực hiện các phép đo trong các môi trường khí khác nhau.

## 2.2 Đánh giá sai số

### 2.2.1 Mất cân bằng và sai số tổn thất nhiệt mép

Hầu hết việc đánh giá sai số giả định rằng các mẫu thử dẫn nhiệt và không trong suốt với bức xạ nhiệt. Trong trường hợp vật liệu tỷ trọng thấp bán trong suốt đối với bức xạ, một số biểu thức có thể không chính xác.

Nếu là  $\Phi$  là lưu lượng dòng nhiệt mà trong điều kiện một chiều lý tưởng sẽ đi qua mẫu thử (trong thiết bị mẫu thử đơn) hoặc cả hai mẫu thử (trong thiết bị hai mẫu thử) và  $\Phi_T$  là giá trị thực, sai số trong phép đo dòng nhiệt,  $E_\Phi$  là:

$$E_\Phi = \frac{\Phi_T - \Phi}{\Phi}$$

Lưu lượng dòng nhiệt ( $\Phi$ ) có thể được biểu thị bằng  $\Phi = (JA\Delta T)/d$  (xem 3.5.2), đối với các mẫu thử dẫn nhiệt không trong suốt đối với bức xạ  $\lambda$  thay thế  $\mathcal{J}$ .

Giả sử rằng phần đo, phần bảo vệ và bộ phận làm lạnh ở các nhiệt độ đồng nhất tương ứng là  $T_1$ ,  $T_1 - \Delta T_g$  và  $T_2$ , các mẫu đồng nhất và đẳng hướng với độ dẫn nhiệt  $\lambda$  và các cạnh của chúng trao đổi nhiệt với môi trường ở nhiệt độ đồng đều  $T_e = T_2 + e(T_1 - T_2)$  trong đó  $e$  là một số không thứ nguyên, phân tích lý thuyết (Bode, [28]) cho thấy rằng

$$E_\Phi = Z_1 + e \cdot Z_2 + \frac{\Delta T_g}{\Delta T} Z_3$$

trong đó  $Z_1$ ,  $Z_2$ , và  $Z_3$  phụ thuộc vào kích thước mẫu thử, vào khe hở và chiều rộng phần bảo vệ, vào độ dẫn nhiệt của mẫu thử, hệ số truyền nhiệt bề mặt, vào các cạnh của mẫu thử và vào các kết nối nhiệt qua khe hở.

Khi chênh lệch nhiệt độ mất cân bằng qua khe hở ( $\Delta T_g$ ) bằng 0,  $\Phi_T$  chỉ bị ảnh hưởng bởi tốc độ dòng nhiệt, tương ứng với sai số tổn thất nhiệt tại mép  $E_e$ , do đó  $Z_3$  là một tham số liên quan đến lỗi mất cân bằng. Ví dụ: Việc đánh giá  $Z_1$ ,  $Z_2$ , và  $Z_3$  yêu cầu mở rộng chuỗi rất phức tạp, tuy nhiên, khi hệ số truyền nhiệt bề mặt tiến tới vô cùng, có thể rút ra biểu thức gần đúng sau (xem tài liệu [11]):

$$E_e = \frac{\Phi_e}{\Phi} = Z_1 + eZ_2 = \left\{ \frac{d}{\pi l} \left[ e \ln \frac{\cosh\left(\pi \frac{b+l}{d}\right) + 1}{\cosh\left(\pi \frac{b}{d}\right) + 1} + (1-e) \ln \frac{\cosh\left(\pi \frac{b+l}{d}\right) - 1}{\cosh\left(\pi \frac{b}{d}\right) - 1} \right] \right\}^2 - 1$$

Biểu thức lý thuyết đơn giản hóa này chỉ cho kết quả chính xác khi các điều kiện thử nghiệm phù hợp với mô hình: ví dụ: nó không hoạt động đối với các mẫu thử bán trong suốt đối với bức xạ hoặc đối với các mẫu vật không đẳng hướng hoặc không đồng nhất, không trong suốt hoặc bán trong suốt đối với bức xạ. Việc sử dụng công thức chỉ được đề xuất để giới hạn cho thiết kế của thiết bị nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của tổn thất nhiệt ở cạnh nhưng sẽ không bao giờ được sử dụng để hiệu chỉnh dữ liệu đã đo.

Các giá trị thấp nhất thu được khi giá trị của  $e$  gần bằng 0,5. Tuy nhiên, rất khó để duy trì chính xác các cạnh của mẫu thử ở nhiệt độ thử nghiệm trung bình tương ứng với  $e = 0,5$ , vì vậy các tính toán phải được thực hiện với  $e$  không lớn hơn 0,25.

Từ sai số mất cân bằng  $E_g = (\Delta T_g / \Delta T)$ .  $Z_3$ , tốc độ dòng nhiệt lỗi  $\Phi_g = E_g \Phi$  có thể được biểu thị bằng

$$\Phi_g = (\Phi_0 + \lambda c) \Delta T_g$$

Trong đó:

$\Phi_0 \Delta T_g$  biểu thị tốc độ dòng nhiệt trực tiếp qua khe hở do sự dẫn nhiệt trong bộ gia nhiệt và dây dẫn của cảm biến nhiệt độ, trong các kết nối cơ học, v.v.;

$\lambda c \Delta T_g$  là tốc độ dòng nhiệt đi qua một mẫu thử hoặc cả hai mẫu trong thiết bị hai mẫu thử.

Từ biểu thức trên, có thể thấy là

$$Z_3 = \frac{d}{A} \left( \frac{\Phi_0}{\lambda} + c \right)$$

Hệ số  $c$  không hoàn toàn là một hằng số và được dự đoán về mặt lý thuyết (xem tài liệu [12]) là

$$c = \frac{16l}{\pi} \ln \left( \frac{4}{1 - e^{-(\pi g l d)}} \right)$$

xem xét, trong các điều kiện biên gần đúng, tốc độ dòng nhiệt qua cả hai mẫu trong thiết bị hai mẫu thử.

Giá trị của  $\Phi_0$  có thể được tính toán bằng cách sử dụng các công thức truyền nhiệt cơ bản cho bất kỳ thiết kế cụ thể nào của thiết bị gia nhiệt, với điều kiện là đã biết kích thước và vật liệu xây dựng. Các giá trị của  $\Phi_0$  và  $c$  cũng có thể được kiểm tra bằng thực nghiệm (xem [1] và 2.4.4). Trong cuộc thảo luận này, sự khác biệt về mất cân bằng nhiệt độ xung quanh khe hở phần bảo vệ đo đối với thiết bị hình vuông như được mô tả trong 2.1.1.4 được giả định là không đáng kể; các vấn đề do vị trí của các cảm biến mất cân bằng được mô tả trong 2.1.1.5 cũng được coi là không đáng kể. Nếu những sai số này không đáng kể, thì các sai số tương ứng sẽ được thêm vào  $E_g$ .

### 2.2.2 Sai số do điều kiện không đối xứng

Nếu hai mẫu không giống nhau, chênh lệch nhiệt độ có thể khác một chút. Nếu giả định rằng mỗi mẫu có độ dẫn nhiệt như nhau và độ dẫn nhiệt này không đổi theo nhiệt độ, thì sai số do các điều kiện không đối xứng có thể được viết như sau:

$$E_s = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \left(\frac{d_A - d_B}{2d}\right)^2 + \frac{(T_{1A} - T_{2A}) - (T_{1B} - T_{2B})}{2(T_1 - T_2)} \times \frac{(d_A - d_B)}{2d}$$

trong đó các chỉ số A biểu thị các đại lượng được đo trên mẫu thử đầu tiên, các chỉ số B biểu thị các đại lượng được đo trên mẫu thử hai và các chỉ số không có chỉ số dưới là các giá trị trung bình.

Nếu độ dẫn nhiệt của từng mẫu thử khác nhau hoặc phụ thuộc vào nhiệt độ, thì các công thức xác định  $E_s$  sẽ phức tạp hơn. Các biểu thức tương tự có thể được rút ra cho các đặc tính truyền nhiệt khác.  $E_s$  là không đáng kể nếu các yêu cầu của 3.2.1 và 3.3.6 được đáp ứng.

### 2.2.3 Các sai số khác

Các đặc tính đo được bị ảnh hưởng bởi các sai số xác định khác phải được cả người thiết kế thiết bị và người vận hành xem xét. Những sai số này phụ thuộc vào độ chính xác của phép đo kích thước và điện áp ở mức thấp. Những sai số chính gồm:

- sai số trong công suất điện đo được ở phần đo lường,  $E_E$ ;
- sai số về kích thước của vùng đo thích hợp đối với các mẫu đã cắt và chưa cắt cũng như đối với bộ phận gia nhiệt và kích thước khe hở,  $E_A$ ;
- sai số về giá trị nhiệt độ và chênh lệch nhiệt độ,  $E_T$ , những sai số này phụ thuộc vào độ chính xác của việc hiệu chuẩn cảm biến nhiệt độ, độ chính xác và độ nhiễu của dụng cụ đo, độ không đảm bảo trong định nghĩa của điểm đo nhiệt độ bằng các cảm biến và độ không đảm bảo do nhiệt trở tiếp xúc giữa các mẫu và cảm biến nhiệt độ;
- sai số trong phép đo chiều dày,  $E_d$ ; những điều này phụ thuộc vào độ chính xác của dụng cụ, vào sự không chắc chắn trong việc xác định độ dày trung bình do mẫu thử và bề mặt thiết bị không bằng phẳng, và vào sự không phù hợp với các điều kiện thử nghiệm nếu độ dày không được đo khi mẫu thử được gắn trong thiết bị.

### 2.2.4 Tổng sai số

Phần lớn các lỗi được trích dẫn trong 2.2.3 là có hệ thống và do đó tổng sai số có tính cộng dồn. Tuy nhiên, khả năng tất cả chúng hoạt động theo một hướng nào đó, có nghĩa tăng hoặc giảm thuộc tính đo được (độ dẫn nhiệt, hệ số truyền nhiệt hoặc nhiệt trở suất, nhiệt trở, hệ số truyền hoặc độ dẫn nhiệt) bị hạn chế. Định nghĩa chính xác về sai số tối đa có thể xảy ra có thể đòi hỏi phân tích thống kê phức tạp, nhưng nếu không có sai số nào lớn hơn nhiều so với tất cả các sai số khác, thì sai số tối đa có nằm trong khoảng từ 50% đến 75% tổng sai số.

## 2.3 Thiết kế thiết bị

### 2.3.1 Hiệu suất yêu cầu

Khi thiết kế một thiết bị tẩm nóng được bảo vệ, sẽ phụ thuộc vào những thông tin sơ bộ về các thông số sau:

- độ dày tối thiểu và tối đa của mẫu được thử nghiệm trong thiết bị;
- khả năng chịu nhiệt tối thiểu và tối đa của mẫu thử;
- chênh lệch nhiệt độ tối thiểu và tối đa giữa các mẫu;

## TCVN xxxxx:2024

- d) độ nhạy của hệ thống cân bằng của bộ phận bảo vệ;
- e) nhiệt độ tối thiểu của bộ phận làm lạnh;
- f) nhiệt độ tối đa của bộ phận gia nhiệt;
- g) độ chính xác và khả năng tái lập tổng thể của thiết bị là sai số tối đa có thể chấp nhận được đối với đặc tính đo được trong điều kiện trường hợp xấu nhất đã xác định;
- h) môi trường xung quanh

### 2.3.2 Lựa chọn dự kiến kích thước thiết bị

Như một bước thử nghiệm đầu tiên, chọn chiều dài hoặc đường kính của phần trung tâm vùng đo lường bằng bốn lần độ dày tối đa của mẫu và chiều dài hoặc đường kính bên ngoài của phần bảo vệ bằng tám lần độ dày tối đa của mẫu.

So sánh các kích thước này với các kích thước được đề xuất trong 1.7.9 và chọn một trong số chúng.

### 2.3.3 Độ đồng đều nhiệt độ của thiết bị gia nhiệt

Xác định độ dày dự kiến cho các tấm kim loại của thiết bị gia nhiệt. Tồn tại sự không đồng đều về nhiệt độ lớn trong phần bảo vệ do tổn thất nhiệt ở các cạnh.

Tính tổn thất nhiệt ở cạnh  $\Phi_w$  qua dây dẫn và tổn thất nhiệt ở cạnh  $\Phi_{el}$  qua mặt bên của phần bảo vệ và qua mặt bên của mẫu thử (xem 2.1.3).

Đối với trường hợp đầu tiên được thể hiện trong hình 5, khi không sử dụng phần bảo vệ phụ trợ, giả sử xung quanh lớp cách nhiệt có nhiệt trở đồng nhất  $R_e$  trong đó  $R_e$  hoặc là chỉ do đối lưu tự nhiên hoặc là nhiệt trở của lớp cách nhiệt được coi như một tấm phẳng. Một ước tính rất sơ bộ về tổn thất nhiệt ở cạnh  $\Phi_{el}$  có thể được tính như sau

$$\Phi_{el} = \frac{P}{R_e} \left[ \frac{y}{4} (T_1 - T_2) + \left( d + \frac{y}{2} \right) (T_m - T_a) \right]$$

Trong đó

$d$  là độ dày mẫu thử, tính bằng mét;

$(T_1 - T_2)$  là chênh lệch nhiệt độ giữa bề mặt nóng và lạnh của mẫu, tính bằng kelvin;

$y$  là chiều dày của phần gia nhiệt, tính bằng mét;

$P$  là chu vi của phần bảo vệ, tính bằng mét;

$R_e$  là nhiệt trở tối thiểu của phần cách nhiệt cạnh, tính bằng kelvins mét vuông trên watt;

$T_m$  là nhiệt độ trung bình của mẫu, tính bằng kelvins;

$T_a$  là nhiệt độ của bề mặt ngoài của lớp cách điện cạnh (trong thực tế, nhiệt độ này có thể được coi là bằng với nhiệt độ môi trường xung quanh), tính bằng kelvin.

Cần lưu ý rằng  $\Phi_{el}$  phụ thuộc vào cả  $(T_m - T_a)$  và  $(T_1 - T_2)$  do đó, điều không mong muốn là tốc độ dòng nhiệt thực từ các cạnh bên ngoài của mẫu được giữ gần bằng không,  $(T_m - T_a)$  nên được giữ ở mức nhỏ.

Sau đó, đánh giá độ lệch so với điều kiện đẳng nhiệt trong các tấm kim loại của thiết bị gia nhiệt tính toán sơ bộ tốc độ dòng nhiệt  $\Phi_{el} + \Phi_w$  trong phần bảo vệ vượt quá tốc độ dòng nhiệt đi qua trong điều kiện một chiều. Sau đó, giả sử rằng lưu lượng dòng nhiệt này được truyền đồng đều bởi bộ gia nhiệt của phần bảo vệ đến các tấm kim loại của phần bảo vệ khi mật độ của dòng nhiệt  $q_e$  và nó chỉ được

trao đổi qua các cạnh của phần bảo vệ bên ngoài, hãy tính nhiệt độ không đồng nhất trên các tấm kim loại (xem hình 7).

Có thể sử dụng các cân nhắc tương tự để đánh giá sự không đồng đều về nhiệt độ trong phần đo sáng và Trong phần bảo vệ do có khe hở. Việc kiểm tra này phải được thực hiện khi mật độ của tốc độ dòng nhiệt qua thiết bị gia nhiệt là tối đa: nên sử dụng một thiết kế đã được kiểm chứng khi nhà thiết kế không có kinh nghiệm trước đó về thiết kế thiết bị tấm nóng có bảo vệ.

Khi kết thúc tính toán, kiểm tra xem độ dày của các tấm kim loại của bộ gia nhiệt có đạt yêu cầu hay không; độ dày này không được vượt quá độ dày tối thiểu cần thiết để đạt được độ đồng đều nhiệt độ nêu trong 2.1.1.2, vì các tấm dày sẽ làm tăng sai số mất cân bằng.

### 2.3.4 Độ đồng đều nhiệt độ dàn lạnh

Tính tốc độ dòng nhiệt lớn nhất đi qua mẫu thử khi nhiệt trở của nó nhỏ nhất và chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử lớn nhất. Cộng lưu lượng nhiệt do tổn thất nhiệt ở cạnh và lưu lượng nhiệt trao đổi từ dàn lạnh ra môi trường. Xác định hệ thống làm lạnh, độ dày tấm kim loại và lưu lượng khối lượng của chất lỏng làm lạnh (khi thích hợp) để đạt được sự đồng nhất về nhiệt độ nêu trong 2.1.2.

### 2.3.5 Sai số mất cân bằng và mất nhiệt cạnh

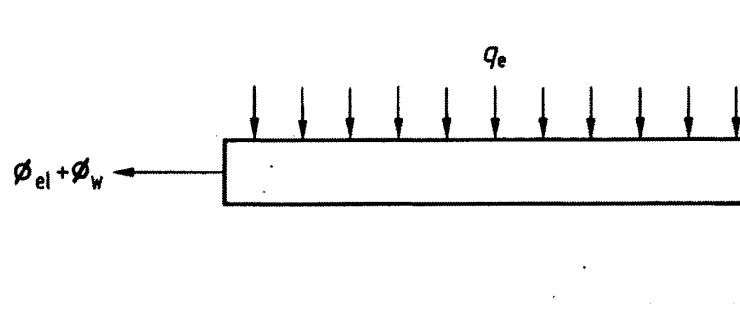
Xác định giá trị tối đa cho phép đối với  $E_g + E_e$  và xác định chiều rộng khe hở dự kiến theo 2.1.1.3.

Khoảng cách hẹp làm tăng lỗi mất cân bằng trong khi khoảng cách rộng làm tăng độ không chắc chắn trong việc xác định khu vực đo.

Tính toán các thông số của thiết bị  $\phi_0$  và c theo 2.2.1.

Đánh giá sai lệch do mất cân bằng và tổn thất nhiệt ở mép như được đề xuất trong 2.2.1. Chúng là tối đa khi nhiệt trở của mẫu và độ dày của mẫu là tối đa và khi  $(T_1 - T_2)$  là tối thiểu.

Nếu không thể đánh giá sai số do tổn thất nhiệt ở cạnh qua mẫu thử và phần bảo vệ, thì phải tính tốc độ dòng nhiệt trong phần bảo vệ: lượng nhiệt do tổn thất nhiệt ở cạnh không được vượt quá 20 % của tốc độ dòng nhiệt đi qua mẫu trong điều kiện một chiều lý tưởng; xem 2.3.3 để tính toán sơ bộ.



Hình 7– Đánh giá tính đồng nhất nhiệt độ trong một tấm kim loại

Sai số mất cân bằng phải tương thích với độ nhạy của hệ thống phát hiện mất cân bằng và không được lớn hơn hoặc nhỏ hơn nhiều so với sai số tổn thất nhiệt ở cạnh. Tại thời điểm này, chiều rộng phần bảo vệ tối ưu và độ dày mẫu thử tối đa được phép phải được xác minh (xem tài liệu [5]), Phụ lục C chứa danh sách chương trình máy tính cung cấp độ dày mẫu thử tối đa, khi tổng  $(E_g + E_e)$  đã được xác định, Đối với một loạt các biến thích hợp của thiết bị tấm nóng được bảo vệ, điều này có thể được sửa đổi để đánh giá hiệu suất của bất kỳ thiết bị nào.



## **TCVN xxxxx:2024**

Nếu kết quả không đạt yêu cầu, có thể cần phải thay đổi kích thước thiết bị hoặc có thể cần thêm phần bảo vệ ngoại vi thứ hai; tìm một cách tiếp cận mới và quay lại từ đầu 2.3.

### **2.3.6 Thiết kế chi tiết**

Khi các giá trị thỏa đáng cho kích thước và kích thước của thiết bị đã được tìm thấy

- a) Xác định dung sai bề mặt theo độ dày tối thiểu của mẫu thử;
- b) Chọn lớp hoàn thiện bề mặt để đạt độ phát xạ từ 0,8 trở lên (ở nhiệt độ phòng, các bề mặt kim loại bị oxy hóa và nhiều loại sơn đáp ứng yêu cầu này);
- c) Xác định tất cả các chi tiết của thiết bị như vị trí và cách lắp đặt phần tử cảm biến nhiệt độ, cách bố trí bộ gia nhiệt, hệ thống dây điện, kết nối cơ học, thiết bị đo độ dày, v.v.;
- d) Chọn hệ thống làm lạnh theo nhiệt độ đơn vị làm lạnh tối thiểu;
- e) Lựa chọn một phương pháp ổn định phù hợp theo yêu cầu của môi trường xung quanh và theo nhu cầu về độ ổn định và độ trôi của nó để giữ sai số tổn thất nhiệt biên trong các giá trị đã nêu;
- f) Lựa chọn hệ thống điều khiển nhiệt độ tự động theo độ lệch và dao động nhiệt độ tối thiểu có thể chấp nhận được đối với thiết bị;
- g) Chọn nguồn cấp điện cho phần trung tâm đo lường theo các yêu cầu về công suất tối đa được nêu trong 2.3.1 và với độ biến động tương thích với công suất tối thiểu tương ứng với khả năng chịu nhiệt tối đa của mẫu thử và chênh lệch nhiệt độ tối thiểu;
- h) Chọn hệ thống đo điện có độ nhạy và độ chính xác phù hợp với chênh lệch nhiệt độ tối thiểu trên thiết bị.

### **2.3.7 Tổng sai số**

Đánh giá tất cả các sai số được giải thích trong 2.2, tính tổng sai số và so sánh nó với độ chính xác tổng thể của thiết bị đưa ra trong 2.3.1: thiết kế sẽ hiệu quả khi tổng sai số xác định trong 2.2.4 nhỏ hơn độ chính xác tổng thể của thiết bị.

## **2.4 Kiểm tra hiệu năng**

Khi phát triển một thiết kế mới hoặc sửa đổi, một loạt kiểm tra cẩn thận phải được thực hiện trước khi bắt đầu thử nghiệm thường xuyên.

### **2.4.1 Độ phẳng**

Độ phẳng của bề mặt có thể được kiểm tra bằng một thước kẻ kim loại được giữ gần bề mặt và được quan sát ở góc nghiêng bằng ánh sáng phía sau thước kẻ. Có thể dễ dàng nhìn thấy độ lệch nhỏ như 25µm và các độ lệch lớn có thể được đo bằng miếng chêm hoặc giấy mỏng.

### **2.4.2 Đấu nối điện và bộ điều khiển tự động**

(Các) mẫu thử mỏng, có nhiệt trở thấp phải được lắp vào thiết bị và tổ hợp được phép đạt trạng thái cân bằng nhiệt với không khí của phòng thí nghiệm khi thiết bị được lắp đặt. Tất cả các cảm biến nhiệt độ phải chỉ thị nhiệt độ rất gần với nhiệt độ không khí trong phòng thí nghiệm; kiểm tra độ nhiễu của từng cảm biến. Kiểm tra độ cách điện của tất cả các mạch điện bằng đồng hồ đo Ôm.

Tính toán điện áp dự kiến tối đa trên các lò sưởi của bộ phận gia nhiệt; áp dụng một liều điện áp đã được tính toán giữa các tấm kim loại của bộ gia nhiệt và một dây dẫn của bộ gia nhiệt của phần đo hoặc của phần bảo vệ (không có dòng điện chạy qua): nếu nối đất, bảo vệ và cách điện của cảm biến

hiệt độ là chính xác, không có thay đổi sẽ được quan sát trong các số liệu đọc được. Lập lại quy trình cũng ở nhiệt độ cực cao của thiết bị; dưới nhiệt độ phòng, một lý do thường xuyên dẫn đến sự xuống cấp của cách điện là độ ẩm. Ngoài ra ở nhiệt độ cao, cách điện có thể thay đổi nhiều.

Bước tiếp theo là kiểm tra độ nhiễu và độ lệch của tất cả các bộ điều khiển tự động.

#### 2.4.3 Đo nhiệt độ

Khi thiết bị được đặt trong tủ ổn định, lắp (các) mẫu thử vào thiết bị, điều chỉnh nhiệt độ bộ phận làm lạnh ở một số giá trị phù hợp trong phạm vi của nó. Kiểm soát nhiệt độ môi trường bên trong tủ ở cùng nhiệt độ.

Không cung cấp bất kỳ nguồn điện nào cho phần trung tâm của bộ phận gia nhiệt và phần bảo vệ. Nhiệt độ bộ phận gia nhiệt phải phù hợp với nhiệt độ bộ phận làm lạnh trong khoảng nhiễu của hệ thống đo lường. Ngoài ra, nhiệt độ của phần bảo vệ cũng phải được cân bằng với phần đo lường, một lần nữa nhiễu của thiết bị phát hiện sự mất cân bằng (cấu hình đẳng nhiệt này cũng có thể được sử dụng để kiểm tra các cặp nhiệt điện). Kết quả sai lệch có thể do thiết kế kém của tủ ổn định và lớp cách nhiệt của thiết bị hoặc hệ thống dây điện và kết nối sai của cảm biến nhiệt độ.

#### 2.4.4 Lỗi mất cân bằng

Các thử nghiệm nên được thực hiện trên thiết bị mới sử dụng các mẫu thử khác nhau và bảo vệ sự mất cân bằng-nhiệt độ của phần đo lường, để xác định sai số mất cân bằng tối đa đối với bất kỳ loại mẫu thử nào (xem 2.2.1; tài liệu [1] đến [5] và [12]), Tham số  $\Phi_0$  và  $c$  được giải thích trong 2.2.1 sẽ được xác định như sau. Một loạt các phép đo nên được thực hiện trên (một vài) mẫu thử có độ dẫn nhiệt thấp với một dải giá trị cho sự mất cân bằng nhiệt độ  $\Delta T_g$  và ghi lại sự thay đổi của độ dẫn nhiệt đo được. Các kết quả phải được khớp với một đường thẳng để xác định  $\Delta\lambda/\Delta T_g$

Các thí nghiệm và tính toán nên được lặp lại đối với (một vài) mẫu vật có độ dẫn nhiệt cao. Bằng các giá trị  $\Delta\lambda = E_g$  và hai phương trình kiểu  $E_g = (\Delta T_g / \Delta T) Z_3$ , có thể thu được hai ẩn số  $\Phi_0$  và  $c$ . Có thể sử dụng các phương trình tương tự cho các thuộc tính đo được khác.

Độ nhiễu và độ lệch của thiết bị phát hiện mất cân bằng phải nhỏ hơn điện áp tương ứng với mức mất cân bằng tối thiểu cho phép trong điều kiện thử nghiệm tồi tệ nhất.

#### 2.4.5 Tổn thất nhiệt cạnh

Tổn thất nhiệt ở cạnh làm tăng độ không chính xác của phép đo lớn nhất khi cả độ dày và khả năng chịu nhiệt của mẫu đều lớn và khi chênh lệch nhiệt độ giữa chúng nhỏ.

Gắn (một vài) mẫu vật có khả năng chịu nhiệt và độ dày gần với giá trị thiết kế tối đa. Sau đó đo công suất cung cấp cho phần bảo vệ; nó không được vượt quá nhiều so với giá trị được cân bằng bởi mẫu vật trong các điều kiện một hướng hoàn hảo.

Sau đó, phải tiến hành kiểm tra để đo bằng thực nghiệm đối với các đặc tính đo được của tổn thất nhiệt ở cạnh. Phương pháp trực tiếp duy nhất, nếu có thể áp dụng, là thay đổi nhiệt độ xung quanh và quan sát sự thay đổi tương ứng về công suất phần bảo vệ và các đặc tính nhiệt đo được. Thông tin này giúp ích đáng kể trong việc xác định, đối với bất kỳ loại mẫu thử nào (đồng nhất hay không, đẳng hướng hay không, v.v.), độ lệch chấp nhận được ở nhiệt độ môi trường (xem 2.2.1).

## TCVN xxxxx:2024

Khi không thể thay đổi nhiệt độ môi trường xung quanh, một phương pháp hữu ích để xác định xem có đủ lớp bảo vệ hoặc lớp cách nhiệt cạnh để giảm sai số tổn thất nhiệt ở cạnh trong mẫu thử hay không là đo nhiệt độ bằng cách sử dụng cặp nhiệt điện được hàn hoặc khoét vào. một dải kim loại mỏng được nhúng vào một mẫu vật ở tâm của một cạnh. Trong các điều kiện này, tiêu chí sau phải được đáp ứng:

$$\frac{(T_e - T_m)}{\Delta T} < 0,1$$

Trong đó:

$T_m$  là nhiệt độ trung bình của (các) mẫu thử;

$\Delta T$  là chênh lệch nhiệt độ giữa (các) mẫu vật.

Phương pháp này sẽ chỉ hoạt động đối với các mẫu vật đồng nhất. Để có độ chính xác tốt nhất, hệ số phải nhỏ hơn 0,02.

### 2.4.6 Độ phát xạ của bề mặt làm việc của thiết bị

Nếu một khe hở không khí có độ dày  $d$ , nằm trong khoảng từ 5 mm đến 30 mm, được tạo ra giữa các bề mặt của thiết bị gia nhiệt và làm lạnh, ngăn cản sự khởi đầu của đối lưu tự nhiên, thì mật độ của tốc độ dòng nhiệt trên mỗi đơn vị chênh lệch nhiệt độ ( $h_i$ ) là tổng của  $\lambda/d$  và  $4\sigma_n T_m^3 / (\varepsilon - 1)$  ( $\lambda$  là độ dẫn điện của không khí và  $\sigma_n$  là hằng số Stefan- Boltzmann). Sự phù hợp nhất của biểu đồ  $h_i$ , so với  $1/d$  phù hợp nhất cung cấp cả độ dẫn không khí và  $4\sigma_n T_m^3 / (\varepsilon - 1)$  từ đó tính được độ phát xạ của thiết bị. Khi không thể tránh được sự khởi đầu của đối lưu tự nhiên, cần có các quy trình phức tạp hơn (xem tài liệu [21]) và [38]).

### 2.4.7 Kiểm tra độ tuyến tính

Khi thiết bị đã đáp ứng các yêu cầu thiết kế trong suốt quá trình kiểm tra từ 2.4.3 đến 2.4.6, hãy lắp một mẫu thử (hoặc một vài mẫu thử) làm bằng vật liệu ổn định nhiệt, độ dẫn điện của nó là một hàm tuyến tính của nhiệt độ. Vật liệu tham chiếu của Bureau Communautaire de Reference (BCR) RM 64 (tám sợi thủy tinh có tỷ trọng danh nghĩa đến  $90 \text{ kg/m}^3$ ) và vật liệu tham chiếu của National Bureau of Standards (NBS) SRM 1450 (tám sợi thủy tinh có tỷ trọng từ  $110 \text{ kg/m}^3$  đến  $170 \text{ kg/m}^3$ ) đáp ứng các yêu cầu này trong khoảng từ 170 K đến 370 K, và 255 K và 330 K tương ứng. Đo độ dẫn điện ở nhiệt độ thử nghiệm trung bình nhất định với chênh lệch nhiệt độ rất khác nhau, ví dụ 10 K, 20 K và 40 K. Kết quả phải độc lập với chênh lệch nhiệt độ.

Lặp lại kiểm tra ở một số nhiệt độ thử nghiệm trung bình có liên quan khác. Nếu kết quả không đạt yêu cầu, điều này có thể là do tác động kết hợp của tổn thất nhiệt ở cạnh và vị trí không tốt của các cảm biến mất cân bằng.

### 2.4.8 Kiểm tra hiệu suất đã được chứng minh

Khi tất cả các kiểm tra khác đều thành công, các thử nghiệm phải được thực hiện trên ít nhất hai bộ vật liệu có độ ổn định nhiệt đã biết đã được hiệu chuẩn tại phòng thí nghiệm được công nhận. Các thử nghiệm phải được thực hiện cho từng mẫu ở hai nhiệt độ trung bình điển hình của dải hoạt động. Tất cả các thử nghiệm phải được tiến hành trong vòng 90 ngày sau khi hiệu chuẩn, nếu có thể. Bất kỳ sự khác biệt nào về kết quả cần được nghiên cứu cẩn thận để xác định lý do tại sao chúng phát sinh và

cách loại bỏ chúng. hành động thích hợp nên được thực hiện. Các báo cáo về vật liệu được thử nghiệm theo phương pháp này chỉ được đưa ra sau khi so sánh thành công. Không cần kiểm tra thêm nữa thông qua kiểm tra định kỳ được khuyến nghị.

### 3 Quy trình thử nghiệm

#### 3.1 Yêu cầu chung

Phép đo đặc tính truyền nhiệt của mẫu có độ dẫn nhiệt thấp hoặc của vật liệu, sản phẩm hoặc hệ thống cách nhiệt có thể được thực hiện theo một tập hợp các thông số kỹ thuật dựa trên tiêu chuẩn này.

Giả định rằng người vận hành hoàn toàn thông thạo tất cả các nguyên tắc truyền nhiệt cơ bản đã nói ở trên cũng như các nguyên tắc thiết kế và vận hành thiết bị tẩm nóng được bảo vệ. Đồng thời người vận hành có thể thảo luận về các tác động ảnh hưởng đến việc đo lường với người gửi mẫu cụ thể hoặc mẫu để kiểm tra hoặc cần thông tin cụ thể về các đặc tính truyền nhiệt của một vật liệu, sản phẩm hay hệ thống.

Do đó, trước khi thực hiện đo lường, cần phải đưa ra một số quyết định liên quan đến đặc tính cụ thể mong muốn hoặc cần thiết của bất kỳ phép đo trực tiếp nào (ví dụ như hệ số dẫn nhiệt hoặc nhiệt trở), hoặc liên quan đến bất kỳ mối tương quan mong muốn hoặc cần thiết của các đặc tính được đo (ví dụ hệ số dẫn nhiệt là một hàm của nhiệt độ hoặc hệ số dẫn nhiệt là một hàm của khối lượng riêng tại một nhiệt độ nhất định).

Cụ thể, các quyết định này sẽ bị ảnh hưởng bởi:

a) Kích thước và hình dạng của thiết bị sẵn có hoặc cần thiết. Một thiết bị cụ thể có kích cỡ nhất định có thể không đủ để thực hiện các phép đo đối với tất cả các mẫu có độ dày khác nhau để xác định được các đặc tính truyền nhiệt cần thiết bằng phương pháp đo trực tiếp hoặc phép tính nội suy từ kết quả đo của các mẫu có độ dày phù hợp với thiết bị đo. (xem mục 3.4.2). Tương tự, phạm vi nhiệt độ và điều kiện môi trường có sẵn hoặc cần thiết có thể không đủ để thu được kết quả trực tiếp hoặc nội suy từ các phép đo trong phạm vi có sẵn của thiết bị.

b) Kích thước, số lượng và hình thức mẫu thử là được cung cấp hoặc cần thiết. Điều này phụ thuộc vào các yêu cầu cuối cùng của một mẫu hoặc vật liệu cụ thể, nếu vật liệu, sản phẩm hay hệ thống có tính dị hướng cao, cần phải xác định xem các phép đo này có thể thực hiện được trong các thiết bị tẩm nóng được bảo vệ hay không (xem mục 3.4.1).

c) Nhu cầu hoặc mong muốn đặt các tấm mỏng có nhiệt trở thấp giữa mẫu và thiết bị và nhu cầu hoặc mong muốn gắn vào mẫu bộ cảm biến nhiệt độ hoặc cặp nhiệt điện (xem 2.1.4.1.3). Các kỹ thuật này nhằm mục đích thực hiện các phép đo chính xác chèn lệch nhiệt độ giữa các mẫu vật có nhiệt trở thấp hoặc vật liệu cứng. Đối với các vật liệu, sản phẩm hoặc hệ thống có độ dẫn nhiệt cao, đặc biệt khi chúng có tính chất dị hướng, trong một số phòng thí nghiệm, các mẫu thử được chế tạo ở dạng các phần trung tâm và hình khuyên có kích thước tương ứng với các phần đo và phần bảo vệ của thiết bị được sử dụng, hoặc có cùng kích thước với phần trung tâm, thay thế khe hở và phần bảo vệ của mẫu thử bằng vật liệu cách nhiệt phù hợp.

## TCVN xxxxx:2024

Các kỹ thuật này không được khuyến khích cho đến khi có sẵn đánh giá lý thuyết về các sai số, tuy nhiên trong cả hai trường hợp, vùng đo lường A, được sử dụng trong tính toán sẽ là

$$A = A_m + A_g \frac{1}{2} \frac{\lambda_g}{\lambda}$$

Trong đó:

$A_m$  là diện tích phần đo;

$A_g$  là diện tích khe hở;

$\lambda$  là độ dẫn của mẫu thử;

$\lambda_g$  là độ dẫn điện của vật liệu cách nhiệt hoặc độ dẫn điện của vật liệu lấp đầy vùng đối diện với khe hở.

d) Nhu cầu hoặc mong muốn bọc mẫu trong túi hơi nước kín. Kỹ thuật này giúp ngăn hấp thụ độ ẩm sau khi sấy khô hoặc thay đổi lượng ẩm của mẫu thử sau khi được ổn định.

e) Sự cần thiết phải áp độ dày của mẫu thử nghiệm hay áp lực lên mẫu thử nghiệm.

Người vận hành cũng phải biết được độ chênh lệch giữa phép đo mà mục tiêu của nó là xác định một trong những đặc tính truyền nhiệt ở trạng thái ổn định được đưa ra trong Điều 1, và các phép đo được yêu cầu bởi thông số kỹ thuật của vật liệu. . Phép đo về thông số kỹ thuật của vật liệu có thể cũng được yêu cầu bởi kế hoạch lấy mẫu đối với các mẫu không tuân thủ theo các yêu cầu được nêu ra trong Tiêu chuẩn này. Trường hợp điển hình là các mẫu thử không đủ phẳng nên không thể đáp ứng việc tiếp xúc tốt với thiết bị, hoặc không song song, như yêu cầu trong 3.2.2.2.1, hoặc được kiểm thử ở một độ dày khác xa với mục đích sử dụng cuối cùng. Vì thế, các kết quả số của các thử nghiệm này được coi là công cụ hỗ trợ để chấp nhận hoặc từ chối nhiều vật liệu cụ thể, nhưng không nhất thiết được coi là một đặc tính truyền nhiệt của vật liệu.

### 3.2 Mẫu thử

#### 3.2.1 Lựa chọn và kích thước

Một hoặc hai mẫu được chọn từ mỗi mẫu thử tùy theo loại thiết bị (xem 1.6.2). Khi yêu cầu hai mẫu thử, chúng phải càng gần giống nhau càng tốt với độ dày chênh lệch ít hơn 2 %. Mẫu hoặc các mẫu thử phải có kích thước bao phủ hoàn toàn bề mặt của bộ gia nhiệt, ngoại trừ các ứng dụng đặc biệt được mô tả trong 3.1 c). Chúng phải có độ dày thực tế được áp dụng hoặc có độ dày đủ để đưa ra đại diện trung bình thực của vật liệu được thử nghiệm (xem thêm 3.4.2). Chúng cũng phải đáp ứng các yêu cầu chung được nêu trong 1.7 và 1.8. Mối quan hệ giữa độ dày của mẫu thử được sử dụng và kích thước của thiết bị gia nhiệt phải được hạn chế để giới hạn tổng sai số mất cân bằng và tổn thất nhiệt ở cạnh là 0,5 % khi sử dụng các công thức trong 2.2.1, nếu áp dụng. Trong trường hợp thiết bị gia nhiệt có các chi tiết kết cấu khác, phải thực hiện phân tích riêng để xác định điểm tại đó tổng sai số mất cân bằng và tổn thất nhiệt cạnh sẽ bằng 0,5 %.

#### 3.2.2 Chuẩn bị và ổn định mẫu thử

##### 3.2.2.1 Tuân thủ các thông số kỹ thuật của vật liệu

Việc chuẩn bị và ổn định mẫu thử phải phù hợp với thông số kỹ thuật của vật liệu. Các hướng dẫn sau đây được đưa ra khi không có thông số có sẵn.

### 3.2.2.2 Hướng dẫn cho tất cả các mẫu ngoại trừ các mẫu vật liệu rời

#### 3.2.2.2.1 Chuẩn bị

Bề mặt của các mẫu thử nghiệm phải được làm phẳng bằng các phương tiện thích hợp (thường sử dụng giấy nhám, cắt bằng máy tiện và mài), sao cho có thể tạo ra sự tiếp xúc chặt giữa các mẫu thử và thiết bị hoặc các tấm xen kẽ.

Đối với vật liệu cứng, các mặt của mẫu thử phải được làm phẳng như bộ phận gia nhiệt (xem 2.1.1.1) và phải song song trên tổng diện tích bề mặt trong phạm vi 2 % độ dày của mẫu thử.

Khi mẫu là vật liệu cứng và có nhiệt trở nhỏ hơn  $0,1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , thì có thể là tấm mỏng [xem 2.1.4.1.3 b)] hoặc cảm biến nhiệt độ được gắn trên mẫu [xem 2.1.4.1, 3 c)] sẽ được sử dụng để xác định chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử. Khi sử dụng giải pháp nêu trong 2.1.4.1.3 b), nhiệt trở của các tấm không được lớn hơn một phần mười nhiệt trở của mẫu thử. Nhiệt trở của tấm composite (tấm/mẫu cứng/tấm) sẽ được xác định bằng cách sử dụng độ giảm nhiệt độ được đo bởi các cảm biến nhiệt độ cố định trong các tấm bề mặt của bộ phận gia nhiệt và làm lạnh. Nhiệt trở của riêng tấm xen kẽ sẽ được đo tương tự trong một thử nghiệm riêng biệt được thực hiện ở cùng nhiệt độ trung bình và có cùng độ dày trung bình như khi được sử dụng trên bề mặt của mẫu thử. Nhiệt trở của mẫu cứng sau đó sẽ được tính từ hai nhiệt trở thu được.

Quy trình này có thể dẫn đến các sai số nghiêm trọng nếu sử dụng không cẩn thận, vì nhiệt trở của các tấm mỏng bao gồm nhiệt trở tiếp xúc giữa thiết bị và các tấm mỏng, và do đó không phải lúc nào nhiệt trở của tấm mỏng cũng có thể được suy ra bằng kiến thức về độ dẫn nhiệt của cùng một vật liệu trong mẫu vật dày hơn. Ngoài ra, trường nhiệt bên trong các tấm đối với trường hợp khi chúng được lắp bên trong thiết bị và mẫu thử có thể rất khác so với khi thử nghiệm đơn lẻ. Chênh lệch trường nhiệt cũng có thể lớn hơn khi độ dẫn nhiệt của mẫu và tấm tương tự nhau và khi độ dày của tấm bằng hoặc nhỏ hơn độ rộng của khe hở (xem giới hạn độ dày được nêu trong 1.7.5 và 1.7.6).

Khi sử dụng phương pháp nêu trong 2.1.4.1.3 c), nên sử dụng lại cặp nhiệt điện loại dây hoặc lá mỏng. Chúng phải được lắp đặt trên hoặc trên bề mặt mẫu thử và độ dày đo phải được điều chỉnh để tạo khoảng trống thích hợp cho vị trí của cặp nhiệt điện.

Phương pháp đo chênh lệch nhiệt độ của mẫu thử có thể có độ không đảm bảo khó đánh giá, trong số đó là ảnh hưởng của sự biến dạng của các đường dòng nhiệt ở vùng lân cận ngay lập tức của cặp nhiệt điện do sự hiện diện của nó, ảnh hưởng của việc thiếu chính xác trong việc xác định độ chính xác vị trí của các điểm nối cặp nhiệt điện hiệu quả và ảnh hưởng của tính không đồng nhất cục bộ trên bề mặt của mẫu tại điểm nối cặp nhiệt điện, chẳng hạn như các lỗ rỗng, lỗ rỗng hoặc tạp chất.

So sánh kết quả thu được bằng cả hai phương pháp sẽ giúp giảm sai số đo lường.

Số lượng cặp nhiệt điện phân bố đều trên mỗi mặt của mẫu trong khu vực tiếp giáp với phần đo không được nhỏ hơn  $N\sqrt{A}$  hoặc 2, tùy theo giá trị nào lớn hơn, trong đó  $N=10\text{m}^{-1}$  và  $A$  là diện tích tính bằng mét vuông của một mặt của phần đo. Nếu sử dụng các cặp nhiệt ngẫu nhiên riêng biệt, độ dày hiệu dụng của mẫu phải được lấy bằng khoảng cách trung bình, vuông góc với các mặt của mẫu, giữa tâm của các cặp nhiệt điện ở hai bên.

## TCVN xxxxx:2024

Để biết loại và vị trí của cặp nhiệt điện, xem 2.1.4.1.4. Việc sử dụng các quy trình được mô tả trong 2.1.4.1.3 b) hoặc 2.1.4.1.3 c) cũng được khuyến nghị khi điện trở nhiệt của mẫu nằm trong khoảng từ 0,5 m<sup>2</sup> K/W đến 0,1 m<sup>2</sup> K/W hoặc khi mẫu là vật liệu cứng.

### 3.2.2.2.2 Ổn định mẫu thử

Sau khi xác định khối lượng của mẫu thử, chúng phải được ổn định đến khối lượng không đổi trong bình hút ẩm hoặc tủ sấy thông gió ở nhiệt độ thích hợp đối với vật liệu. Các vật liệu nhạy cảm với nhiệt không được tiếp xúc với nhiệt độ sẽ làm thay đổi mẫu thử theo cách không điển hình. Khi các mẫu thử được sử dụng trong một phạm vi nhiệt độ nhất định, chúng phải được ổn định đến khối lượng không đổi ở giới hạn trên của phạm vi này, trong một môi trường không đứng yên và được kiểm soát.

Hệ thống có thể bị kín nếu sử dụng chất hấp thụ hoặc chất hấp phụ. Một ví dụ là bình hút ẩm kín ở 330 K đến 335 K với không khí được khuấy để ổn định một số loại nhựa xốp.

Khối lượng hao hụt tương đối được tính toán từ khối lượng được xác định trước và sau khi sấy khô. Khi thời gian cần thiết để thực hiện các phép đo đặc tính truyền nhiệt là ngắn so với thời gian mẫu cần thiết để hấp thụ một lượng ẩm đáng kể từ không khí trong phòng thí nghiệm (ví dụ: mẫu bê tông), nên lắp đặt mẫu thử nhanh chóng vào thiết bị khi kết thúc giai đoạn sấy khô để tránh hút ẩm. Trong tình huống ngược lại (ví dụ, khi thử nghiệm các mẫu vật liệu sợi mật độ nhẹ hoặc bột nhựa), nên tiếp tục ổn định bằng cách để mẫu trong phòng ở môi trường phòng thí nghiệm tiêu chuẩn (nhiệt độ 296 K ± 1 K, và độ ẩm tương đối là 50 % ± 10 %) để đạt trạng thái cân bằng với không khí trong phòng (khối lượng không đổi). Trong các tình huống trung gian (ví dụ với một số vật liệu dạng sợi có mật độ cao), việc đánh giá quy trình ổn định tùy thuộc vào kinh nghiệm của người vận hành.

Để giảm thời gian thử nghiệm, (các) mẫu thử có thể được ổn định về nhiệt độ thử nghiệm trung bình ngay trước khi đặt vào thiết bị. Để ngăn hơi ẩm di chuyển vào hoặc từ mẫu thử trong quá trình thử nghiệm, bản thân mẫu thử có thể được bọc trong một phong bì kín hơi. Nếu sự hiện diện của lớp bao gây ra nhiệt trở đáng kể giữa mẫu thử và thiết bị, thì lớp bao đó phải được coi là các tấm mỏng được sử dụng để kiểm tra các mẫu cứng, như được mô tả trong 2.1.4.1.3.

### 3.2.2.3 Hướng dẫn đối với vật liệu rời

#### 3.2.2.3.1 Yêu cầu chung

Khi thử nghiệm vật liệu rời, khuyến nghị rằng độ dày của mẫu ít nhất phải gấp 10 lần và bất cứ khi nào có thể, gấp 20 lần kích thước trung bình của hạt, mảnh, v.v. của vật liệu rời. Hầu hết các điều kiện quan trọng là những điều kiện khi hạt, v.v. cứng. Khi yêu cầu không thể được đáp ứng, các phương pháp thử nghiệm thay thế như hộp nóng được bảo vệ hoặc hiệu chuẩn nên được xem xét. Để chuẩn bị (các) mẫu, nên lấy một phần đại diện, lớn hơn một chút so với lượng cần thiết cho phép thử, được lấy từ mẫu và cân trước và sau khi ổn định hóa như trong 3.2.2.2.2, khi thích hợp.

Từ những khối lượng này, phần trăm khối lượng được tính toán. Một lượng vật liệu đã ổn định được cân sao cho nó sẽ tạo ra một (hai) mẫu thử có mật độ như đã thử nghiệm mong muốn bằng cách sử dụng quy trình được mô tả trong thông số kỹ thuật của vật liệu hoặc, nếu không có thông số kỹ thuật nào tồn tại, thì sử dụng phương pháp A hoặc B đưa ra dưới đây.

Khi đã biết thể tích cuối cùng của mẫu thử, khối lượng yêu cầu có thể được xác định. Các mẫu sau đó nhanh chóng được gắn vào thiết bị hoặc để đạt trạng thái cân bằng với môi trường phòng thí nghiệm tiêu chuẩn, theo các hướng dẫn đã đưa ra trước đó. Khi sử dụng phương pháp A hoặc phương pháp B với các tấm bọc có nhiệt trở không đáng kể, nhiệt độ bề mặt mẫu thử phải được lấy bằng với nhiệt độ bề mặt của các tấm nóng và làm lạnh.

#### 3.2.2.3.2 Phương pháp A

Phương pháp này được đề xuất khi vận hành thiết bị ở vị trí thẳng đứng.

Thiết lập thiết bị tấm nóng được bảo vệ với khoảng cách cần thiết giữa bộ phận gia nhiệt và (các) bộ phận làm lạnh. Đặt vật liệu có độ dẫn điện thấp phù hợp để giữ mẫu xung quanh hoặc giữa các cạnh bên ngoài của phần bảo vệ và (các) bộ phận làm lạnh sao cho nó tạo thành một (hai) hộp mở trên đỉnh (một ở hai bên của bộ phận gia nhiệt).

Chia vật liệu đã cân, đã ổn định thành bốn (tám) phần bằng nhau (bốn phần cho mỗi mẫu thử). Lần lượt đặt từng phần vào (mỗi trong số) (hai) không gian mẫu thử, rung, nén hoặc nén từng phần vào vị trí cho đến khi nó chiếm một phần tích thích hợp của không gian và cẩn thận để tạo ra (các) mẫu vật có mật độ đồng nhất.

#### 3.2.2.3.3 Phương pháp B

Phương pháp này được đề xuất khi vận hành thiết bị ở vị trí nằm ngang.

Sử dụng (hai) hộp nông bằng vật liệu có độ dẫn điện thấp thành mỏng có kích thước bên ngoài giống với kích thước của thiết bị gia nhiệt. Các cạnh của hộp phải có chiều rộng sao cho độ sâu của hộp bằng với độ dày của mẫu được thử nghiệm. Làm nắp đậy cho các mặt mở của (các) hộp bằng vật liệu nhựa tấm mỏng dày không quá 50  $\mu\text{m}$  hoặc tấm chịu nhiệt và không phản xạ (giấy amiăng hoặc vật liệu tấm đồng nhất phù hợp khác), những tấm này được dán hoặc khác được gắn chặt vào các cạnh của (các) hộp.

Tổng phát xạ hình bán cầu của các bề mặt nhìn thấy từ mẫu thử phải từ 0,8 trở lên ở nhiệt độ vận hành. Nếu các nắp có khả năng chịu nhiệt đáng kể, thì có thể sử dụng phương pháp xác định điện trở nhiệt thực của mẫu được trình bày trong 3.2.2.2 đối với các mẫu cứng. (Chia vật liệu đã ổn định đã cân thành hai phần bằng nhau, mỗi phần cho một mẫu thử). Đặt một nắp vào đúng vị trí và (các) hộp nằm ngang trên một bề mặt phẳng, đặt (một) phần vào (mỗi) hộp, cẩn thận để tạo ra (hai) (các) mẫu vật (bằng và) mật độ đồng đều trong suốt. Sau đó, dán (các) nắp còn lại, để tạo (các) mẫu kín có thể đặt vào vị trí trong thiết bị tấm nóng được bảo vệ.

Làm tơi các vật liệu có thể nén được trong quá trình đặt sao cho các nắp hơi phòng lên để tiếp xúc tốt với các tấm của thiết bị ở mật độ mong muốn. Đối với một số vật liệu, sự hao hụt vật liệu trong quá trình chuẩn bị mẫu thử có thể cần phải cân lại trước khi thử nghiệm, trong trường hợp đó, xác định khối lượng của hộp và nắp đã ổn định sau khi thử nghiệm để tính mật độ vật liệu như đã thử nghiệm.

### 3.3 Phương pháp thử nghiệm

#### 3.3.1 Khối lượng

Ngay trước khi lắp (các) mẫu thử vào thiết bị, hãy xác định khối lượng mẫu thử với độ chính xác cao trên 0,5 %.



**3.3.2 Độ dày và khối lượng riêng**

Độ dày thử nghiệm (và do đó thể tích thử nghiệm) là độ dày được xác định bằng cách định vị thiết bị gia nhiệt và làm lạnh hoặc độ dày của các mẫu được đo khi bắt đầu thử nghiệm.

Độ dày của (các) mẫu thử có thể được đo như mô tả trong 2.1.4.2 hoặc bên ngoài thiết bị với công cụ tái tạo áp lực lên mẫu thử trong suốt quá trình thử nghiệm. Từ các dữ liệu này và khối lượng mẫu được ổn định được xác định trong mục 3.3.1, ta tính toán được khối lượng riêng thử nghiệm.

Các vật liệu dạng chần hoặc mềm thường được thử nghiệm ở độ dày xác định; các thông số kỹ thuật của vật liệu xác định độ dày này cho nhiều vật liệu nhưng đôi khi kết quả đo lường chỉ là kết quả thông thường, như được chỉ trong mục 3.1

Với một vài vật liệu (ví dụ vật liệu dạng sợi có khối lượng riêng nhẹ), có thể sẽ chính xác hơn khi đo khối lượng riêng của phần mẫu được giới hạn bởi diện tích đo chứ không phải khối lượng riêng của toàn bộ mảnh mẫu thử nghiệm; điều này đạt được mối tương quan chính xác hơn giữa khối lượng riêng và các đặc tính truyền nhiệt được đo

Bất cứ khi nào có thể cần theo dõi độ dày trong quá trình thử nghiệm.

Khi quy trình 2.1.4.1.3 c) được sử dụng, độ dày được sử dụng để đánh giá các đặc tính truyền nhiệt phải được điều chỉnh sao cho có dung sai thích hợp cho vị trí của cặp nhiệt điện.

**3.3.3 Lựa chọn khoảng chênh lệch nhiệt độ**

Lựa chọn khoảng chênh lệch nhiệt độ phù hợp với một trong các điều kiện sau:

- a) Các yêu cầu của một đặc điểm kỹ thuật hệ thống hoặc sản phẩm vật liệu cụ thể.
- b) Các điều kiện sử dụng đối với mảnh mẫu thử nghiệm cụ thể hoặc mẫu thử được đánh giá. Nếu cho ra khoảng chênh lệch nhiệt độ rất thấp, thì độ chính xác yêu cầu để đánh giá số lượng có thể bị giảm. Nếu sự chênh lệch nhiệt độ lớn, thì không thể dự đoán được sai số, vì các đánh giá theo lý thuyết cho rằng các mẫu có tính dẫn nhiệt không phụ thuộc vào nhiệt độ (xem 2.2.1)].
- c) Ở mức thấp nhất, ví dụ tối thiểu từ 5 K -10 K khi xác định mối quan hệ không rõ ràng giữa nhiệt độ và các đặc tính truyền nhiệt.
- d) Chênh lệch nhiệt độ thấp nhất so với tính chính xác yêu cầu cho việc đo lường số lượng này, khi truyền đổi khối lượng trong mẫu thử nghiệm giảm đến mức tối thiểu, điều này có thể ám chỉ việc không tuân thủ Tiêu chuẩn này và phải được ghi chú trong báo cáo, như đã đề cập trong 1.7.3.

**3.3.4 Điều kiện môi trường**

**3.3.4.1 Độ ẩm tương đối của không khí**

Khi muốn có các đặc tính truyền nhiệt đối với tình huống trong đó mẫu thử được đặt trong không khí (hoặc một số khí khác), hãy điều chỉnh độ ẩm của không khí xung quanh thiết bị tắm nóng được bảo vệ trong quá trình thử nghiệm đến nhiệt độ điểm sương ít nhất 5 K dưới nhiệt độ dàn lạnh.

Để so sánh giữa các phòng thí nghiệm, nên sử dụng môi trường tiêu chuẩn có nhiệt độ điểm sương nằm trong khoảng từ 5 K đến 10 K dưới nhiệt độ của thiết bị làm lạnh.

Khi bọc mẫu trong một phong bì kín hơi để ngăn hơi ẩm di chuyển vào hoặc ra khỏi mẫu, các điều kiện thử nghiệm phải sao cho không có sự ngưng tụ nước trên phần của bao bì tiếp xúc với mặt lạnh của mẫu.

### 3.3.4.2 Phép thử với các khí khác hoặc trong chân không

Để vận hành ở nhiệt độ đông lạnh, thiết bị có gắn mẫu thử phải được làm sạch bằng khí khô trước khi làm lạnh. Ở nhiệt độ từ 77 K đến 230 K, sử dụng khí khô thay vì không khí làm khí quyển và đặt thiết bị trong tủ kín. Nếu nitơ được sử dụng ở nhiệt độ đơn vị lạnh dưới 125 K, hãy cẩn thận điều chỉnh áp suất nitơ để tránh ngưng tụ. Ở nhiệt độ từ 21 K đến 77 K, các khí có nhiệt độ ngưng tụ thấp hơn như heli thường được yêu cầu làm tủ kín khí quyển. Đôi khi hydro khô được sử dụng.

**THẬN TRỌNG — Hydro là khí không màu, không mùi và rất dễ cháy và chỉ được xử lý bởi nhân viên có trình độ và kinh nghiệm.**

Độ dẫn nhiệt của không khí, nitơ, hydro và heli khá khác nhau và do đó sẽ có ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính truyền nhiệt của vật liệu được thử nghiệm. Cần lưu ý ghi lại loại khí xung quanh, áp suất và nhiệt độ của nó để đưa thông tin này vào báo cáo.

Khi các đặc tính truyền nhiệt được mong muốn cho tình huống trong đó mẫu ở trạng thái chân không, hãy hút chân không hệ thống trước khi làm lạnh.

### 3.3.5 Phép đo tốc độ dòng nhiệt

Đo công suất điện trung bình cung cấp cho phần đo lường với độ chính xác không nhỏ hơn 0,2 %; dòng một chiều được khuyến nghị mạnh mẽ. Với dòng điện một chiều, thường sử dụng đo điện trở bốn dây để đo dòng và điện áp.

Tự động điều chỉnh công suất đầu vào được khuyến nghị. Dao động hoặc thay đổi ngẫu nhiên trong công suất đầu vào phải nhỏ hơn mức cần thiết để làm cho nhiệt độ của bề mặt bộ gia nhiệt dao động hoặc thay đổi trong giai đoạn thử nghiệm nhiều hơn 0,3 % của chênh lệch nhiệt độ giữa bộ gia nhiệt và bộ làm lạnh.

Điều chỉnh và duy trì nguồn điện đầu vào cho phần bảo vệ, tốt nhất là bằng điều khiển tự động, để đạt được mức độ cân bằng nhiệt độ giữa phần đo sáng và bảo vệ cần thiết để tuân thủ 2.1.4.1.1.

### 3.3.6 Kiểm soát bề mặt lạnh

Khi sử dụng thiết bị hai mẫu thử, hãy điều chỉnh bộ phận làm lạnh hoặc bộ gia nhiệt bề mặt lạnh sao cho chênh lệch nhiệt độ qua hai mẫu thử không chênh lệch quá 2 %.

### 3.3.7 Phát hiện chênh lệch nhiệt độ

Xác định nhiệt độ của bộ gia nhiệt và làm lạnh, nhiệt độ bề mặt mẫu thử [nếu quy trình trong 2.1.4.1.3 c) được sử dụng và cân bằng nhiệt độ từ trung tâm đến bộ phận bảo vệ bằng các phương pháp đã được chứng minh có đủ độ đúng và chính xác để đáp ứng tất cả các yêu cầu yêu cầu đưa ra trong phương pháp này.

Chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử được xác định bằng một trong các quy trình được mô tả trong 2.1.4.1.3. Quy trình 2.1.4.1.3 b) cũng yêu cầu các phép xác định đăng ký bổ sung được thực hiện trên các tấm mỏng.

### 3.3.8 Thời gian ổn định và khoảng thời gian đo

Vi nguyên tắc của phương pháp giả định các điều kiện ở trạng thái ổn định, để đạt được giá trị chính xác cho các đặc tính, điều cần thiết là phải có đủ thời gian để thiết bị và mẫu vật đạt được trạng thái cân bằng nhiệt.

## TCVN xxxxx:2024

Trong các phép đo trên chất cách nhiệt tốt có công suất nhiệt thấp và đối với các trường hợp có sự hấp thụ hoặc giải hấp ẩm dẫn đến trao đổi nhiệt tiềm ẩn, mẫu thử bên trong có thể cần một thời gian rất dài để đạt được trạng thái cân bằng nhiệt.

Thời gian cần thiết để đạt được trạng thái cân bằng có thể thay đổi từ vài phút đến vài ngày và sẽ phụ thuộc vào thiết bị, mẫu thử và tương tác của chúng.

Các mục sau đây phải được xem xét một cách chính xác để đánh giá thời gian này:

- Công suất nhiệt và hệ thống điều khiển của thiết bị làm lạnh), của phần đo lường thiết bị gia nhiệt và của phần bảo vệ thiết bị gia nhiệt;
- Cách nhiệt của thiết bị;
- Hệ số khuếch tán nhiệt, độ thấm hơi nước và độ dày của mẫu thử;
- Nhiệt độ thử nghiệm và môi trường trong quá trình thử nghiệm;
- Nhiệt độ và độ ẩm của (các) mẫu thử khi bắt đầu phép thử.

Hoạt động trong chân không cũng có thể làm tăng đáng kể thời gian cần thiết để thiết bị và mẫu vật đạt đến trạng thái cân bằng nhiệt (do thiết bị và mẫu vật thoát khí ra ngoài và do khả năng khuếch tán nhiệt của mẫu vật thường thấp trong các thử nghiệm như vậy). Tác dụng của một số trong số này được thảo luận trong tài liệu [18] và [20].

Theo hướng dẫn chung, các hệ thống kiểm soát có thể giảm đáng kể thời gian để đạt đến trạng thái cân bằng nhiệt, nhưng có thể làm rất ít để giảm thời gian để đạt đến trạng thái cân bằng độ ẩm.

Khi không thể ước tính chính xác hơn thời gian ổn định hoặc khi không có kinh nghiệm thử nghiệm trên các mẫu thử tương tự trong cùng một thiết bị ở cùng điều kiện thử nghiệm, hãy tính khoảng thời gian sau  $\Delta t$ :

$$\Delta t = (\rho_p c_p d_p + \rho_s c_s d) R$$

Trong đó

$\rho_p$  là khối lượng riêng của tấm kim loại bộ phận gia nhiệt;

$c_p$  là nhiệt dung riêng của tấm kim loại của bộ phận gia nhiệt;

$d_p$  là độ dày của tấm kim loại bộ phận gia nhiệt;

$\rho_s$  là khối lượng riêng của mẫu vật;

$C_s$  là nhiệt dung riêng của mẫu;

$d$  là độ dày của mẫu thử;

$R$  là nhiệt trở của mẫu vật.

Thực hiện các quan sát như trong 3.3.5 và 3.3.7 ở các khoảng thời gian bằng hoặc lớn hơn khoảng thời gian  $\Delta t$  cho đến khi bốn bộ quan sát liên tiếp cho các giá trị điện trở nhiệt không sai khác quá 1 % và không thay đổi đơn điệu trong một hướng đi. Tiếp tục các quan sát này cho đến khi ít nhất 24 h trôi qua kể từ khi bắt đầu các điều kiện trạng thái ổn định được xác định như vậy bất cứ khi nào không thể ước tính chính xác thời gian ổn định hoặc bất cứ khi nào không có kinh nghiệm thử nghiệm trên các mẫu thử tương tự trong cùng một thiết bị ở cùng điều kiện thử nghiệm.

Có thể hữu ích khi kiểm tra việc đạt được các điều kiện trạng thái ổn định, để ghi lại chênh lệch nhiệt độ và/hoặc điện áp hoặc dòng điện qua phần đo bộ gia nhiệt khi nhiệt độ của nó được điều khiển tự động.

### 3.3.9 Phép đo khối lượng và độ dày cuối cùng

Sau khi hoàn thành các quan sát trong 3.3.8, đo khối lượng của (các) mẫu thử ngay lập tức. Người vận hành cũng nên lặp lại phép đo độ dày và báo cáo bất kỳ thay đổi thể tích mẫu thử nào.

## 3.4 Quy trình yêu cầu các phép đo

### 3.4.1 Quy trình đánh giá tính đồng nhất của mẫu thử

Một cách để thử ước lượng sai số do tính không đồng nhất là so sánh kết quả của hai mẫu từ cùng một mẫu, được chọn sao cho chúng có cấu trúc khác nhau nhiều nhất có thể gần các cạnh của khu vực đo. Nếu không thể xác định được hai điểm cực trị, có thể phải thử nghiệm một vài mẫu.

Khi các biến thể về cấu trúc xảy ra trong khoảng cách nhỏ, có thể sử dụng một mẫu thử được cắt lớn hơn thiết bị. Mẫu vật có kích thước quá khổ này được thử nghiệm hai lần, trong mỗi trường hợp, mẫu vật được định vị cẩn thận sao cho các cạnh của khu vực tiêu chuẩn tiếp xúc với hai điểm cực của cấu trúc. Hai kết quả sau đó được so sánh và sự khác biệt được quy cho sự biến dạng. Phần của (các) mẫu thử nhô ra khỏi thiết bị phải được cách nhiệt tốt trong hai thử nghiệm để giảm khả năng phản tiếp xúc làm tăng tổn thất cạnh. Kích thước và độ dày của mẫu thử ảnh hưởng đến kích thước của các biến thể trong cấu trúc hơn mức có thể được cung cấp. Vùng đo càng lớn thì ảnh hưởng đến kết quả càng nhỏ. Ảnh hưởng của biến dạng có thể tăng hoặc giảm theo độ dày của mẫu thử.

Khi ngắn mạch nhiệt trực tiếp tồn tại giữa các bề mặt mẫu thử, cách tốt nhất để nhận diện hiệu ứng là phá vỡ các đường dẫn nhiệt, đặc biệt là khi các bề mặt kết nối có thể bị ngắt khỏi phần còn lại của đường dẫn. Các tấm vật liệu cách nhiệt có thể được sử dụng tại các bề mặt chính để tạo ra sự phá vỡ đó.

Các tấm làm bằng gỗ bần nghiền mịn, hoặc vật liệu tương tự có độ dày từ 0,002 m trở lên, hoạt động tốt. Bề mặt phải được mài phẳng như bề mặt tấm (xem 2.1.1.1). Nhiệt trở của các tấm này có thể được xác định trong các phép đo riêng biệt.

Rất khó để đánh giá độ chính xác cho các điều kiện thử nghiệm này. Thực tế, không thể đánh giá tính đồng nhất đến mức tương đương với độ chính xác của phương pháp; sự khác biệt được phát hiện sẽ có ý nghĩa vật lý và không chỉ là sai số đo lường.

Do đoản mạch nhiệt, nên có thể xác định được sự thay đổi rỗng về điện trở nhiệt của mẫu. Nếu lớn hơn 1%, phải thực hiện phép đo khác với các tấm dày hơn.

Cũng có thể đánh giá tác động của biến dạng trường nhiệt thông qua việc sử dụng các phân tích và tính toán. Nên tham chiếu một phương pháp cụ thể hoặc các phương pháp được sử dụng để xác định các tác động này trong báo cáo. Sai số khi đo các đặc tính truyền nhiệt nhỏ hơn 2% có thể được coi là không đáng kể đối với mục đích của tiêu chuẩn này.

### 3.4.2 Quy trình xác định độ dày tối thiểu có thể xác định đặc tính truyền nhiệt của vật liệu

Chọn một mẫu đồng nhất về khối lượng riêng và phân chia mật độ, có chiều dày  $d_5$  bằng chiều dày lớn nhất của vật liệu cần đặc trưng hoặc bằng chiều dày lớn nhất cho phép đối với thiết bị thử nghiệm.

## TCVN xxxxx:2024

Cắt năm bộ mẫu thử từ phạm vi mẫu có độ dày từ bộ nhỏ nhất có khả năng sử dụng trong thực tế theo các bước xấp xỉ bằng nhau. Bộ mẫu thử được ký hiệu từ  $s_1$  đến  $s_5$  theo chiều dày tương ứng là  $d_1$  đến  $d_5$ .

Đối với các vật liệu có khối lượng riêng rất thấp, có thể tồn tại các gradient mật độ do khối lượng của bản thân mẫu thử; kiểm tra tính đồng nhất cũng tham chiếu đến tham số này.

Đối với các vật liệu có khối lượng riêng thấp mà nhiệt được truyền theo cơ chế bức xạ và dẫn nhiệt và khi không có đối lưu đã được xác minh, thì độ dốc của đồ thị nhiệt trở so với độ dày thường giảm từ 1cm đến 2cm và sau đó sẽ không đổi khi độ dày tăng lên. Nghịch đảo của độ dốc không đổi này là độ truyền nhiệt được chỉ định cho các mẫu có độ dày cao.

Đo độ dày và nhiệt trở của  $s_1$ ,  $s_3$ ,  $s_5$  ở cùng nhiệt độ trung bình và với cùng mức chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử. Vẽ sơ đồ nhiệt trở so với độ dày. Nếu ba giá trị này nhỏ hơn  $\pm 1\%$  khác với mối tương quan đường thẳng, thì hệ số góc của đường thẳng sẽ được tính toán. Nếu ba giá trị khác hơn 1%, sẽ thực hiện các phép đo tương tự trên  $s_2$  và  $s_4$  để kiểm tra xem có độ dày nào mà ở đó nhiệt trở không chênh lệch quá 1% so với đường thẳng hay không.

Nếu độ dày này tồn tại, thì hệ số góc của đường thẳng sẽ được xác định để tính độ truyền nhiệt  $\lambda_t = \Delta d / \Delta R$ , là tỷ lệ giữa số gia của độ dày  $\Delta d$  và số gia của nhiệt trở  $\Delta R$ .

Độ dày xảy ra trong trường hợp này sẽ thay đổi tùy theo mật độ, loại và hình thức của các vật liệu, sản phẩm và hệ thống khác nhau với nhiệt độ trung bình khác nhau.

Sau đó, độ truyền nhiệt sẽ đặc trưng cho vật liệu, sản phẩm hoặc hệ thống có độ dày mà trên đó hệ số truyền nhiệt khác nhau dưới 2 % so với  $\lambda_t$

Cho phép sai số thử nghiệm trong phần giải thích kết quả. Điều chỉnh đường cong bình phương nhỏ nhất của  $R$  với  $d$  cũng có thể hữu ích. Có thể sử dụng số lượng mẫu thử lớn hơn khi cần độ rõ nét hơn.

Sự phụ thuộc vào độ dày có thể là một hàm của chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử. Đối với mục đích của phương pháp này, các thử nghiệm trên, nếu được thực hiện ở các chênh lệch về nhiệt độ vận hành điển hình, phải đủ để chỉ ra mức độ phụ thuộc vào độ dày.

### 3.4.3 Quy trình xác định sự phụ thuộc vào chênh lệch nhiệt độ

Nếu không biết sự phụ thuộc vào chênh lệch nhiệt độ của các đặc tính truyền nhiệt đối với vật liệu, thì cần thực hiện tối thiểu ba phép đo. Chúng được tạo ra với các chênh lệch nhiệt độ rất khác nhau. Sự phụ thuộc bậc hai có thể xác định bằng các phép đo này. Khi một mối quan hệ tuyến tính đơn giản được biết là xảy ra, chỉ cần thực hiện hai phép đo, tức là một phép đo bổ sung. Điều này thiết lập sự phụ thuộc tuyến tính cho mẫu cụ thể đó.

## 3.5 Tính toán

### 3.5.1 Thay đổi khối lượng riêng và khối lượng

#### 3.5.1.1 Khối lượng riêng

Tính khối lượng riêng  $\rho_d$  và/hoặc  $\rho_s$  của mẫu có điều kiện như đã thử nghiệm như sau:

$$\rho_d = M_2 / V$$

$$\rho_s = M_3 / V$$

trong đó

$\rho_d$  là khối lượng riêng của vật liệu khô khi thử nghiệm, tính bằng kilôgam trên mét khối;

$\rho_s$  là khối lượng riêng của vật liệu sau quy trình ổn định phức tạp hơn (thường đạt đến trạng thái cân bằng với môi trường phòng thí nghiệm tiêu chuẩn), tính bằng kilôgam trên mét khối;

$M_2$  là khối lượng vật liệu sau khi sấy, tính bằng kilôgam;

$M_3$  là khối lượng của vật liệu sau quy trình ổn định phức tạp hơn, tính bằng kilôgam;

$V$  là thể tích chiếm chỗ của vật liệu sau khi sấy khô hoặc ổn định, tính bằng mét khối;

### 3.5.1.2 Thay đổi khối lượng

Tính toán sự thay đổi khối lượng tương đối của vật liệu nhận được sau khi sấy khô ( $m_r$ ) hoặc sau quá trình điều chỉnh nhiệt độ phức tạp ( $m_c$ ).

$$m_r = \frac{M_1 - M_2}{M_2}$$

$$m_c = \frac{M_1 - M_3}{M_3}$$

$M_1$  là khối lượng của vật liệu ở trạng thái như khi nhận, tính bằng kilôgam;

$M_2$  và  $M_3$  được định nghĩa trong 3.5,1,1.

Khi được yêu cầu bởi các thông số kỹ thuật, hoặc khi được coi là hữu ích để đánh giá điều kiện thử nghiệm một cách chính xác, ngoài  $m_c$ , hãy tính toán sự thay đổi khối lượng tương đối  $m_d$  với điều kiện ổn định sau khi sấy khô:

$$m_d = \frac{M_3 - M_2}{M_2}$$

Tính khối lượng lấy lại tương đối,  $m_w$ , của mẫu thử trong quá trình thử nghiệm, liên quan đến khối lượng ngay trước khi thử nghiệm, với phương trình:

$$m_w = \frac{M_4 - M_5}{M_5}$$

Trong đó

$M_4$  là khối lượng vật liệu trong mẫu thử ngay sau khi thử nghiệm, tính bằng kilôgam;

$M_5$  là khối lượng vật liệu được sấy khô hoặc ổn định trong mẫu ngay trước khi thử nghiệm (có thể là  $M_5 = M_3$  hoặc  $M_5 = M_2$ ), tính bằng kilôgam.

### 3.5.2 Đặc tính truyền nhiệt

Để thực hiện tất cả các tính toán, hãy sử dụng các giá trị trung bình của dữ liệu trạng thái ổn định được quan sát. Bốn bộ quan sát được mô tả trong 3.3.8 sẽ được sử dụng trong các tính toán; các bộ quan sát khác trong trạng thái ổn định có thể được sử dụng miễn là các đặc tính truyền nhiệt thu được từ mỗi bộ này không khác nhau quá 1 % so với các đặc tính truyền nhiệt từ bốn bộ được mô tả trong 3.3.8.

Tính nhiệt trở,  $R$ , theo mét vuông kelvin trên watt, sử dụng công thức sau:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\Phi} A$$

hoặc hệ số truyền,  $J$ , tính bằng oát trên mét kelvin, sử dụng công thức sau:

$$J = \frac{\Phi d}{A(T_1 - T_2)}$$

Trong đó:

$\Phi$  là công suất trung bình cung cấp cho phần đo lường của thiết bị gia nhiệt, tính bằng oát;

$T_1$  là nhiệt độ bên nóng trung bình của (các) mẫu, tính bằng kelvins;

$T_2$  là nhiệt độ trung bình của (các) mẫu ở phía lạnh, tính bằng kelvins;

$A$  là diện tích đo như được định nghĩa trong 1.7.6 và 2.1.1.3, tính bằng mét vuông. Đối với thiết bị hai mẫu, diện tích đo được xác định trong 1.7.6 và 2.1.1.3 phải được nhân với hai;

$d$  là độ dày trung bình của mẫu thử, tính bằng mét.

Nếu các điều kiện được mô tả trong 1.8.2 và 1.8.3 được áp dụng, hãy tính hệ số dẫn nhiệt của vật liệu,  $\lambda_t$ , hoặc hệ số dẫn nhiệt,  $\lambda$  (hoặc nhiệt trở suất,  $1/\lambda$ ), sử dụng công thức sau:

$$\lambda \text{ hoặc } \lambda_t = \frac{\Phi d}{A(T_1 - T_2)}$$

### 3.6 Báo cáo kết quả thử nghiệm

Nếu kết quả được báo cáo là thu được bằng phương pháp này thì phải đáp ứng tất cả các yêu cầu thích hợp. Khi không đáp ứng được các điều kiện đó, cần bổ sung thông tin là báo cáo tuân thủ theo yêu cầu trong 3.6.19.

Báo cáo kết quả của mỗi lần thử nghiệm phải bao gồm các nội dung sau (các giá trị số phải thể hiện giá trị trung bình đối với hai mẫu được khi thử nghiệm hoặc giá trị của một mẫu thử đối với thiết bị mẫu thử đơn).

3.6.1. Tên và bất kỳ nhận dạng thích hợp nào khác của vật liệu, bao gồm cả mô tả vật lý do nhà sản xuất cung cấp.

3.6.2. Mô tả mẫu thử và mối tương quan với mẫu, do người vận hành cung cấp. Sự phù hợp với một đặc điểm kỹ thuật vật liệu nếu có. Phương pháp chuẩn bị mẫu thử cho vật liệu rời.

3.6.3 Độ dày của mẫu tính bằng mét, chỉ định nếu áp đặt hoặc đo lường. Các tiêu chí để xác định độ dày áp đặt.

3.6.4 Phương pháp và nhiệt độ ổn định.

3.6.5 Khối lượng riêng của vật liệu đã ổn định khi thử nghiệm, tính bằng kilôgam trên mét khối.

3.6.6 Sự thay đổi khối lượng tương đối trong quá trình làm khô và/hoặc ổn định (xem 3.5.1).

3.6.7 Sự thay đổi khối lượng tương đối trong quá trình thử nghiệm (xem 3.5.1). Độ dày (và thể tích) quan sát biến đổi trong quá trình thử nghiệm (xem 3.3.9),

3.6.8 Chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa (các) mẫu trong quá trình thử nghiệm và quy trình xác định (xem 2.1.4.1.3), tính bằng kelvin hoặc độ C.

3.6.9 Nhiệt độ trung bình của phép thử, tính bằng kelvins hoặc độ C.

3.6.10 Mật độ dòng nhiệt qua (các) mẫu trong quá trình thử nghiệm, tính bằng oát trên mét vuông.

3.6.11 Nhiệt trở, tính bằng mét vuông kelvin trên watt hoặc hệ số truyền tính bằng watt trên mét kelvin của (các) mẫu thử. Nếu có thể áp dụng, Nhiệt trở suất, tính bằng mét kelvin trên watt, độ dẫn nhiệt

hoặc hệ số truyền nhiệt tính bằng watt trên mét kelvin và phạm vi độ dày mà các giá trị này đã được đo hoặc đã biết để áp dụng (xem 3.4.2).

3.6.12 Ngày hoàn thành phép thử; thời lượng của phép thử đầy đủ và của phần trạng thái ổn định của phép thử nếu thông tin đó có thể giúp giải thích kết quả.

3.6.13 Hướng của thiết bị: dọc, ngang hoặc bất kỳ hướng nào khác. Trong trường hợp thiết bị mẫu đơn, vị trí của mặt nóng của mẫu khi không thẳng đứng: trên, dưới hoặc bất kỳ vị trí nào khác.

3.6.14 Đối với các thử nghiệm được thực hiện bằng cách sử dụng vật liệu dạng tấm xen kẽ giữa mẫu thử và bề mặt thiết bị hoặc đối với các thử nghiệm được thực hiện bằng cách sử dụng bao bì kín hơi nước, thông tin phải được cung cấp về bản chất và độ dày của vật liệu dạng tấm hoặc của bao bì.

Thông tin phải được cung cấp về loại và cách bố trí cảm biến nhiệt độ (khi được sử dụng) để xác định chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu thử.

3.6.15 Loại thiết bị tấm nóng được bảo vệ sử dụng, với một hoặc hai mẫu thử. Phương pháp giảm tổn thất nhiệt cạnh. Nhiệt độ xung quanh của môi trường xung quanh thiết bị trong quá trình thử nghiệm.

3.6.16 Loại và áp suất của khí bao quanh mẫu thử và loại khí được sử dụng để làm sạch, nếu có.

3.6.17 Một biểu diễn đồ họa của các kết quả trong các báo cáo sẽ được đưa ra khi thích hợp. Điều này sẽ bao gồm một biểu đồ của từng giá trị của các đặc tính nhiệt thu được so với nhiệt độ trung bình tương ứng của thử nghiệm, được vẽ dưới dạng tọa độ và trục hoành tương ứng. Đồ thị của nhiệt trở nhiệt hoặc hệ số truyền như một hàm của độ dày mẫu vật cũng rất hữu ích.

3.6.18 Ước tính sai số: khuyến nghị cần có một bản thuyết minh về dự kiến sai số tối đa của đặc tính được đo trong báo cáo; khi một hoặc nhiều yêu cầu trong tiêu chuẩn này không được đáp ứng (xem mục 3.6.19), nên đưa vào một báo cáo hoàn chỉnh về ước lượng sai số hoặc sai số của đặc tính được đo.

3.6.19 Thuyết minh tuân thủ: trong trường hợp hoặc các yêu cầu ngăn cản việc tuân thủ hoàn toàn quy trình thử nghiệm như mô tả trong tiêu chuẩn này, có thể đưa ra các trường hợp ngoại lệ đã được thống nhất nhưng phải được giải thích cụ thể trong các báo cáo. Đề xuất sử dụng câu như sau: "Thử nghiệm này đáp ứng toàn bộ yêu cầu về Phương pháp thử nghiệm tiêu chuẩn – TCVN xxxx (ISO 8302), ngoại trừ... (đính kèm một danh sách đầy đủ các ngoại lệ)."



## PHỤ LỤC A

(Quy định)

## Các giá trị giới hạn đối với hiệu suất thiết bị và điều kiện thử nghiệm

Điều	Mô tả	Giá trị
1.1	Nhiệt trở tối thiểu có thể đo được trong thiết bị tắm nóng được bảo vệ	0,1 m <sup>2</sup> .K/W
1.1	Nhiệt trở tối thiểu có thể đo được trong một thiết bị tắm nóng được bảo vệ chấp nhận độ chính xác giảm dần	0,02 m <sup>2</sup> .K/W
1.5.3	Dự kiến độ chính xác của phương pháp tắm nóng được bảo vệ (ở nhiệt độ phòng)	2%
1.5.3	Độ chính xác dự kiến của phương pháp tắm nóng được bảo vệ (dải nhiệt độ đầy đủ)	5%
1.5.3	Khả năng lặp lại dự kiến (mẫu vật được lấy ra và gắn lại)	1%
1.7.1	Khả năng chịu nhiệt tối đa đối với các mẫu cứng yêu cầu các kỹ thuật đặc biệt để đo nhiệt độ bề mặt	0,1 m <sup>2</sup> .K/W
1.7.3	Giới hạn dưới cho chênh lệch nhiệt độ được đo khác nhau	5K
1.7.3	Giới hạn khuyến nghị thấp hơn cho chênh lệch nhiệt độ	10K
1.7.6	Độ dày mẫu tối thiểu liên quan đến chiều rộng khe hở	10 lần
1.7.9	Kích thước thiết bị được đề xuất	0,3 m; 0,5 m
1.7.9	Kích thước thiết bị được đề xuất (chỉ dành cho vật liệu đồng nhất)	0,2 m
1.7.9	Kích thước thiết bị được đề xuất (chỉ để đánh giá hiệu ứng độ dày)	1m
1.8.2	Kích thước tối đa cho tính không đồng nhất liên quan đến độ dày của mẫu vật	1/10
1.8.2	Tỷ lệ dẫn nhiệt tối đa theo các hướng vuông góc và song song với độ dày của mẫu trong các mẫu không đẳng hướng	2
1.8.3.1	Giới hạn hệ số truyền nhiệt thay đổi theo độ dày để ấn định hệ số truyền nhiệt cho vật liệu	2%
2.1.1.1	Độ lệch tối đa so với mặt phẳng của bề mặt thiết bị hoặc bề mặt của mẫu cứng	0,025%
2.1.1.2	Độ đồng đều nhiệt độ của bộ gia nhiệt cần thiết liên quan đến chênh lệch nhiệt độ qua mẫu thử	3%
2.1.1.2	Chênh lệch nhiệt độ tối đa giữa nhiệt độ trung bình của các bề mặt đối diện của bộ gia nhiệt	0,2K
2.1.1.2; 2.3.6; 3.2.2.3.3	Tổng phát xạ bán cầu tối thiểu đối với bất kỳ bề mặt nào tiếp xúc với mẫu thử	0,8
2.1.1.3	Diện tích khe hở tối đa liên quan đến diện tích phần đo sáng	5%

2.1.1.5	Khoảng cách tối đa của cảm biến mất cân bằng từ khe hở, liên quan đến cạnh hoặc đường kính của phần đo sáng	25%
2.1.2	Tính đồng nhất và ổn định cần thiết của nhiệt độ bộ phận làm lạnh liên quan đến chênh lệch nhiệt độ trên mẫu thử	2%
2.1.3	Tốc độ dòng nhiệt tối đa qua dây dẫn, liên quan đến tốc độ dòng nhiệt qua mẫu thử	10%
2.1.4.1.1	Đường kính tối đa được đề xuất cho cặp nhiệt điện để phát hiện sự mất cân bằng	0,3mm
2.1.4.1.1	Sai số mất cân bằng tối đa cho phép	0,5%
2.1.4.1.2	Độ chính xác cần thiết trong phép đo chênh lệch nhiệt độ giữa bộ phận làm nóng và làm lạnh	1%
2.1.4.1.2	Điện trở tối thiểu giữa các cảm biến nhiệt độ không được che chắn và các tấm kim loại của thiết bị	100MΩ
2.1.4.1.2	Số lượng cảm biến nhiệt độ tối thiểu ở mỗi bên của phần đo sáng (tùy theo số nào lớn hơn)	$10\sqrt{A}$ hoặc 2
2.1.4.1.3	Nhiệt trở tối thiểu đối với các mẫu không cứng để sử dụng cảm biến nhiệt độ được gắn cố định để đo chênh lệch nhiệt độ giữa các mẫu	0,5 m <sup>2</sup> .K/W
2.1.4.1.4	Đường kính cặp nhiệt điện tối đa khi được gắn trên bề mặt của các tấm để đo chênh lệch nhiệt độ giữa các bộ phận làm nóng và làm lạnh	0,6mm
2.1.4.1.4	Đường kính cặp nhiệt điện tối đa được đề xuất khi được gắn như trên trên bề mặt của các tấm có kích thước nhỏ	0,2 mm
2.1.4.1.4	Các lỗi tiêu chuẩn được đề xuất cho cặp nhiệt điện	Xem bảng B.1
2.1.4.1.4	Sai số tiêu chuẩn được đề xuất cho cặp nhiệt điện trong khoảng từ 21 K đến 170 K	1%
2.1.4.1.4	Sai số kết quả tối đa trong phép đo chênh lệch nhiệt độ	1%
2.1.4.2	Độ chính xác cần thiết trong phép đo độ dày mẫu thử	0,5%
2.1.4.3	Độ chính xác cần thiết của các phép đo điện trên cảm biến nhiệt độ, liên quan đến chênh lệch nhiệt độ trên mẫu thử	0,2%
2.1.4.3	Độ chính xác cần thiết trong đo lường điện năng	0,1%
2.1.5	Áp suất thiết bị đề xuất tối đa trên mẫu đối với hầu hết các vật liệu cách nhiệt	2,5kPa
2.2.4	Sai số tối đa có thể xảy ra theo tỷ lệ phần trăm của tổng sai số	50% to 75%
2.4.5	Tỷ lệ tối đa giữa chênh lệch nhiệt độ giữa cạnh và trung bình của mẫu và chênh lệch nhiệt độ qua mẫu (để có độ chính xác tốt nhất)	0,1(0,02)
3.2.1	Chênh lệch độ dày tối đa cho hai mẫu được gắn trong thiết bị hai mẫu	2%
3.2.1	Giá trị tối đa cho tổng lỗi mất cân bằng và mất nhiệt cạnh	0,5%
3.2.2.2.1	Độ lệch tối đa so với các mặt phẳng song song đối với bề mặt mẫu thử/liên quan đến độ dày mẫu thử	2%

**TCVN xxxxx:2024**

3.2.2.2.1	Nhiệt trở tối đa của tấm xen kẽ đối với điện trở của mẫu	0,1
3.2.2.2.1	Nhiệt trở tối thiểu đối với mẫu thử cứng để đo chênh lệch nhiệt độ thông qua cặp nhiệt điện của thiết bị (được khuyến nghị đối với điện trở của mẫu trong khoảng 0,1 m <sup>2</sup> K/W đến 0,5 m <sup>2</sup> K/W và đối với mẫu thử cứng)	0,1 m <sup>2</sup> .K/W
3.2.2.2.1	Số lượng cặp nhiệt điện tối thiểu trên mỗi mặt của mẫu thử (tùy theo tiêu chí nào lớn hơn trong hai tiêu chí)	$10\sqrt{A}$ hoặc 2
3.2.2.3.1	Tỷ lệ đề xuất tối thiểu giữa độ dày mẫu thử và kích thước trung bình của hạt, hạt, mảnh, v.v.	10, tốt hơn là 20
3.2.2.3.3	Độ dày mẫu thử tối đa đối với tấm nhựa trong phương pháp B đối với vật liệu lấp đầy lỏng lẻo	50 μm
3.3.1	Độ chính xác cần thiết trong việc xác định khối lượng mẫu thử	0,5%
3.3.4.1	Chênh lệch yêu cầu tối thiểu giữa điểm sương không khí và nhiệt độ thiết bị làm lạnh	5K
3.3.4.1	Phạm vi đề xuất cho sự khác biệt trên trong so sánh giữa các phòng thí nghiệm	5K đến 10K
3.3.5	Độ chính xác trong phép đo công suất điện trung bình cung cấp cho phần đo sáng	0,2%
3.3.5	Dao động nhiệt độ tối đa cho phép của thiết bị gia nhiệt (liên quan đến chênh lệch nhiệt độ giữa thiết bị gia nhiệt và làm lạnh) do dao động của nguồn điện đầu vào	0,3%
3.3.6	Chênh lệch tối đa giữa chênh lệch nhiệt độ qua hai mẫu trong thiết bị hai mẫu	2%
3.3.8	Thay đổi điện trở tối đa trong bốn bộ quan sát liên tiếp để đánh giá việc đạt được trạng thái ổn định	1%
3.3.8	Thời gian tối thiểu đã trôi qua kể từ khi bắt đầu ở trạng thái ổn định, đối với các điều kiện thử nghiệm chưa biết, để hoàn thành các quan sát	24h
3.4.1	Thay đổi nhiệt trở trong các mẫu có ngắn mạch yêu cầu đo lại với các tấm dày hơn	1%
3.4.1	Chênh lệch tối thiểu về các đặc tính được đo để coi mẫu thử là không đồng nhất	2%
3.4.2	Chênh lệch tối đa có thể chấp nhận được từ mỗi quan hệ tuyến tính so với độ dày đối với khả năng chịu nhiệt để tính toán độ dốc đường nội suy	1%
3.4.2	Chênh lệch tối đa đối với hệ số truyền ở các độ dày khác nhau được coi là hệ số truyền nhiệt	2%

## Phụ lục B

(Tham khảo)

### Cặp nhiệt điện

#### B.1 Các loại cặp nhiệt điện như sau:

- Loại B: platinum-30 % rhodium (+) so với platinum-6 % rhodium (-)
- Loại E; nickel-10 % crom (+) so với hợp kim constantan (-)
- Loại J: Sắt (+) so với hợp kim constantan (-)
- Loại K: niken-10 % crôm (+) so với niken-5 % (nhôm, silic) (-) (Chú thích 1 trong bảng B.1)
- Loại R: bạch kim-13 % rhodium (+) so với bạch kim (-)
- Loại S: bạch kim-10 % rhodium (+) so với bạch kim (-)
- Loại T: đồng (+) so với hợp kim constantan (-)

#### B.2 Giới hạn sai số đối với cặp nhiệt điện được nêu trong bảng B.1.

Giới hạn sai số áp dụng cho dây cặp nhiệt điện mới, thông thường có kích thước trong khoảng đường kính từ 0,25 mm đến 3 mm (Kích cỡ Awg số 30 đến số 8) và được sử dụng ở nhiệt độ không vượt quá giới hạn đưa ra trong bảng B.2. Nếu được sử dụng ở nhiệt độ cao hơn, các giới hạn sai số này có thể không áp dụng.

Các giới hạn sai số áp dụng cho các dây mới khi được giao cho người dùng và không cho phép sai lệch hiệu chuẩn trong quá trình sử dụng. Mức độ của những thay đổi đó phụ thuộc vào các yếu tố như kích thước dây, nhiệt độ, thời gian tiếp xúc và môi trường.

Khi giới hạn sai số được đưa ra theo tỷ lệ phần trăm, tỷ lệ phần trăm áp dụng cho nhiệt độ được đo khi được biểu thị bằng độ C.

B.3 Các giới hạn nhiệt độ trên khuyến nghị đối với các cặp nhiệt điện và cỡ dây khác nhau được nêu trong bảng B.2. Các giới hạn này áp dụng cho cặp nhiệt điện được bảo vệ, nghĩa là cặp nhiệt điện trong ống bảo vệ đầu kín thông thường. Các giới hạn này không áp dụng cho cặp nhiệt điện có vỏ bọc cách điện oxit khoáng được nén chặt. Có thể sử dụng cặp nhiệt điện có vỏ bọc được thiết kế và ứng dụng phù hợp ở nhiệt độ trên nhiệt độ nêu trong bảng B.1 và bảng B.2.

**Bảng B.1 - Giới hạn sai số của cảm biến nhiệt độ**

Kiểu cảm biến nhiệt độ	Khoảng nhiệt độ °C	Giới hạn sai số - tham chiếu 0°C	
		Tiêu chuẩn (lựa chọn giá trị lớn hơn)	Đặc biệt (lựa chọn giá trị lớn hơn)
T	0 đến 350	± 1°C hoặc ± 0,75%	± 0,5°C hoặc ± 0,4%
J	0 đến 750	± 2,2°C hoặc ± 0,75%	± 1,1°C hoặc ± 0,4%
E	0 đến 900	± 1,7°C hoặc ± 0,5%	± 1°C hoặc ± 0,4%
K	0 đến 1250	± 2,2°C hoặc ± 0,75%	± 1,1°C hoặc ± 0,4%
R hoặc S	0 đến 1450	± 1,5°C hoặc ± 0,25%	± 0,6°C hoặc ± 0,1%
B	800 đến 1700	± 0,5%	-
T <sup>1)</sup>	-200 đến 0	± 1°C hoặc ± 1,5%	-
E <sup>1)</sup>	-200 đến 0	± 1,7°C hoặc ± 1%	-
K <sup>1)</sup>	-200 đến 0	± 2,2°C hoặc ± 2%	-

1) Cặp nhiệt điện và vật liệu của cặp nhiệt điện thường được thay thế để đáp ứng các giới hạn sai số được chỉ định trong bảng đối với nhiệt độ trên 0°C. Tuy nhiên, các vật liệu tương tự có thể không nằm trong giới hạn sai số dưới 0 được đưa ra trong phần thứ hai của bảng. Nếu vật liệu được yêu cầu phải đáp ứng các giới hạn dưới 0, phải ghi rõ thông tin. Lựa chọn vật liệu thường sẽ được yêu cầu.

Có rất ít thông tin cho việc thiết lập các giới hạn sai số đặc biệt đối với nhiệt độ dưới 0 độ. Các giới hạn sau đối với cặp nhiệt điện loại E và T:

- Kiểu E: - 200°C đến 0°C: ± 1°C hoặc ± 0,5 % (chọn giá trị lớn hơn)

- Kiểu T: - 200°C đến 0°C: ± 0,5°C hoặc ± 0,8 % (chọn giá trị lớn hơn)

Các giới hạn này chỉ được đưa ra như một hướng dẫn để thảo luận giữa người mua và nhà cung cấp.

Do các đặc tính của vật liệu, giới hạn sai số dưới 0 đối với cặp nhiệt điện loại J và giới hạn dưới 0 đặc biệt đối với cặp nhiệt điện loại K không được liệt kê.

**Bảng B.2 - Giới hạn nhiệt độ trên được đề xuất cho cặp nhiệt điện được bảo vệ**

Kiểu cảm biến	Giới hạn nhiệt độ lớn nhất đối với các loại dây có kích thước khác nhau					
	3,25mm	1,63mm	0,81mm	0,51mm	0,33mm	0,25mm
T		370	260	200	200	150
J	760	590	480	370	370	320
E	870	650	540	430	430	370
K	1260	1090	980	870	870	760
R hoặc S				1480		
B				1700		

## Phụ lục C

(Tham khảo)

### Chiều dày tối đa mẫu thử

C.1 Phụ lục này đưa ra một chương trình ước tính lý thuyết về độ dày tối đa của mẫu thử có thể được sử dụng trong thiết bị tẩm nóng được bảo vệ thông thường. Một lần chạy mẫu đưa ra trong bảng C.1. Người đọc có thể dễ dàng xây dựng các bảng tương tự cho các giá trị khác nhau. Các tính toán dựa trên công thức được biên soạn trong tài liệu [5]. Một số giả định đã được thực hiện trong các tính toán. Chúng được lập thành bảng để thuận tiện:

- a) hai dây dẫn bằng đồng 0,129 mm<sup>2</sup> (0,0002 in<sup>2</sup> hoặc 26 Awg) vượt qua khe hở (xem đoạn 6 của chương trình);
- b) số lượng cặp nhiệt điện đi qua khe hở để cảm nhận nhiệt độ của phần đo là  $10 \times \sqrt{\text{diện tích tấm (m}^2\text{)}}$  hoặc 2, tùy theo giá trị nào lớn hơn;
- c) bốn cặp nhiệt điện vi sai được sử dụng và cùng loại với những cặp nhiệt điện trong b) ở trên (xem đoạn 6 của chương trình);
- d) nhiệt độ phần bảo vệ và đo đều đồng nhất về nhiệt độ, nhưng có thể ở các mức khác nhau
- e) nhiệt độ cạnh của mẫu là đồng nhất.

Một số tham số được sử dụng như sau:

— E là lượng nhiệt độ cạnh cao hơn nhiệt độ của bộ phận làm lạnh dưới dạng một phần chênh lệch nhiệt độ giữa các tấm của bộ phận làm nóng và làm lạnh,

$$E = [T(\text{cạnh}) - T(\text{lạnh})/T(\text{ấm}) - T(\text{lạnh})]$$

— RATIO T là tỷ lệ chênh lệch nhiệt độ giữa các khe hở với chênh lệch nhiệt độ giữa các tấm; -

— RATIO K là tỷ số giữa độ dẫn điện của dây dẫn điện với độ dẫn điện của mẫu thử;

— RATIO L là tỷ lệ độ dẫn điện của cặp nhiệt điện đến độ dẫn điện của dây đồng; (Biến KCU; T/C K ở đầu ra chương trình):

— GAP là chiều rộng khe hở, tính bằng centimet;

— PLATE là kích thước tổng thể của thiết bị gia nhiệt, tính bằng centimet; (Biến WPLATE);

— GUARD là chiều rộng phần bảo vệ, tính bằng centimet;

— % ERR là tổng sai số lý thuyết trong phép đo;

— MAX. THICKNESS Là độ dày tối đa của mẫu thử tạo ra sai số tổng được chỉ định

C.2 Khi đã xây dựng một bộ dữ liệu bảng, hãy sử dụng chúng như sau. Đối với một thiết bị nhất định, hãy xác định RATIO K, RATIO L và GAP. Nếu những giá trị này ít nhất tương ứng với các giá trị trong bảng, thì các bảng sẽ được áp dụng. Nếu các giá trị khác nhau nhiều, thì hãy tham khảo tài liệu tham khảo. Tính RATIO T cho các điều kiện kiểm tra bình thường. Chọn bảng tương ứng và tìm độ dày tối đa cho phép của mẫu đối với kích thước bộ gia nhiệt và kích thước phần bảo vệ của thiết bị. Nội suy giữa các bảng nếu cần thiết. Lưu ý rằng giá trị trong bảng chỉ áp dụng cho E = 0,5, đây là điều kiện lý tưởng. Khi sử dụng các giá trị khác của E, hãy tham khảo điều 2.2.1 để thực hiện tính toán hoặc sửa đổi chương trình đã cho.

```

C 1
C 2
C PROGRAM TO CALCULATE MAXIMUM SPECIMEN THICKNESS ALLOWED FOR VARIOUS 3
C PERCENTAGE ERRORS (0.1,0.2,0.5,1.0,2.0,5.0) 4
C 5
C MAXIMUM THICKNESSES ARE CALCULATED FOR THREE GUARD WIDTHS: 1/6 PLATE 6
C WIDTH, 1/4 PLATE WIDTH, 1/3 PLATE WIDTH. 7
C 8
C INPUT (CONSISTS OF: E = FRACTION OF TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN PLATES 9
C AT SPECIMEN EDGE. 10
C RATIOIOT = RATIO OF GAP TEMPERATURE DIFFERENCE TO 11
C SPECIMEN TEMPERATURE DIFFERENCE. 12
C RATIOK = RATIO OF THERMAL CONDUCTIVITY OF 13
C LEADS ACROSS GAP TO THERMAL CONDUCTIVITY OF SPECIMEN. 14
C KCU = THERMAL CONDUCTIVITY OF T/C ACROSS GAP 15
C RELATIVE TO THERMAL CONDUCTIVITY OF COPPER. 16
C D = GAP WIDTH. 17
C WPLATE = PLATE WIDTH. 18
C 19
C NO. OF T/C ACROSS GAP IS BASED ON ASTM FORMULA (NO.=1/8*SQRT (AREA PLATE)) 20
C WITH A MINIMUM OF 2 BEING ASSUMED IF NO. = 2 OR LESS. 21
C ONE COPPER LEAD (0.0002 SQ. IN.) WAS ALSO ASSUMED ACROSS THE GAP 22
C AND FOUR DIFFERENTIAL T/C, OF THE SAME MATERIAL AS THE TEST AREA T/C, 23
C WERE ASSUMED ACROSS THE GAP. 24
C 25
  DIMENSION G(5),ER(10),ANS(10),GM(10),ANSN(10) 26
  REAL L,KCU 27
  INTEGER CARD 28
  COMMON WPLATE,E,RATIOIOT,RATIOK,AC,WGUARD,ERR,D,L 29
  CARD=1 30
  LP=3 31
  K=1 32
  ER(1)=0.1 33
  ER(2)=0.2 34
  ER(3)=0.5 35
  ER(4)=1.0 36
  ER(5)=2.0 37
  ER(6)=5.0 38
  EPS=0.00001 39
  IEND=20 40
C 41
1000 READ (CARD,200) WPLATE 42
  IF (WPLATE) 1,99,2 43
1 READ (CARD,100) E,RATIOIOT,RATIOK,KCU,D 44
  DM=D/0.39370079 45
  WPLATE=-WPLATE 46
C 47
  IF (K) 73,72,73 48
72 WRITE (LP,900) 49
  WRITE (LP,901) 50
73 WRITE (LP,700) E,RATIOIOT,RATIOK,KCU,DM 51
  WRITE (LP,500) 52
  WRITE (LP,600) (ER(I),I=1,6) 53
C 54
2 G(1)=WPLATE/6. 55
  G(2)=WPLATE/4. 56
  G(3)=WPLATE/3. 57
  K=0 58
C 59

```

	WPLATM=WPLATE/0.39370079	60
	WRITE (LP,401) WPLATM	61
	DO 40 I=1,3	62
	L=WPLATE/2.-G(I)	63
	WGUARD=G(I)	64
	GM(I)=G(I)/0.39370079	65
C		66
	X=L/4.	67
	IX=X	68
	IF (X-IX) 4,4,3	69
3	IX=IX+1	70
4	IF (IX-1) 5,5,6	71
5	IX=2	72
6	AC=(IX+4.)*0.00007894*KCU+0.0002	73
C		74
	H1=0.0001*WPLATE	75
	DO 30 J=1,6	76
	ERR=ER(J)	77
7	H2=2.*H1	78
	IF (FCT(H1)*FCT(H2)) 9,9,8	79
8	H1=H2	80
	GO TO 7	81
9	CALL RTMIX(ANSH,ANSE,FCT,H1,H2,EPS,IEND,IER)	82
	IF (IER) 10,20,10	83
10	ANS(J)=0.0	84
	GO TO 30	85
20	ANS(J)=ANSH	86
	ANSM(J)=ANS(J)/0.39370079	87
30	CONTINUE	88
	IF (I-2) 70,71,70	89
71	WRITE (LP,400) WPLATE	90
70	WRITE (LP,301) GM(I),(ANSM(J),J=1,6)	91
40	CONTINUE	92
	WRITE (LP,200)	93
	GO TO 1000	94
99	WRITE (LP,900)	95
	WRITE (LP,901)	96
	WRITE (LP,999)	97
	STOP	98
100	FORMAT (F4.2,F6.4,F8.6,F4.2,F6.4)	99
200	FORMAT (F6.2)	100
300	FORMAT (32X,'0',F5.2,')',8X,6('(',F6.3,')'))	101
301	FORMAT (33X,F5.2,7X,6(1X,F7.1))	102
400	FORMAT ('-',16X,'(',F5.2,')')	103
401	FORMAT ('-',16X,F6.2)	104
500	FORMAT (18X,'PLATE',10X,'GUARD',26X,'MAX. THICKNESS')	105
600	FORMAT (44X,'ZERR',2X,F3.1,5(5X,F3.1)/)	106
700	FORMAT ('1',19X,'E=',F4.2,4X,'RATIO T=',F6.4,4X,'RATIO K=',F7.1,4X	107
	1,'T/C K=',F4.2,4X,'GAP=',F5.3,//)	108
900	FORMAT (/ ,32X,'NOTE: 1) TERMS NOT BRACKETED MEASURED IN CENTIMETER	109
	1S.')	110
901	FORMAT (38X,'2) BRACKETED TERMS MEASURED IN INCHES.')	111
999	FORMAT ('1')	112
	END	113



```

SUBROUTINE RTMI(X,F,FCT,XLI,XRI,EPS,IEND,IER) 1
IER=0 2
XL=XLI 3
XR=XRI 4
X=XL 5
TOL=X 6
F=FCT(TOL) 7
IF(F)1,16,1 8
1 FL=F 9
X=XR 10
TOL=X 11
F=FCT(TOL) 12
IF(F)2,16,2 13
2 FR=F 14
IF(FL*FR)3,25,25 15
C 16
3 I=0 17
TOLF=100.*EPS 18
C 19
4 I=I+1 20
C 21
DO 13 K=1,IEND 22
X=.5*(XL+XR) 23
TOL=X 24
F=FCT(TOL) 25
IF(F)5,16,5 26
5 IF(F*FR)6,7,7 27
C 28
6 TOL=XL 29
XL=XR 30
XR=TOL 31
TOL=FL 32
FL=FR 33
FR=TOL 34
7 TOL=F-FL 35
A=F*TOL 36
A=A+A 37
IF(A-FR*(FR-FL))8,9,9 38
8 IF(I-IEND)17,17,9 39
9 XR=X 40
FR=F 41
C 42
TOL=EPS 43
A=ABS(XR) 44
IF(A-1.)11,11,10 45
10 TOL=TOL*A 46
11 IF(ABS(XR-XL)-TOL)12,12,13 47
12 IF(ABS(FR-FL)-TOLF)14,14,13 48
13 CONTINUE 49
C 50
IER=1 51
14 IF(ABS(FR)-ABS(FL))16,16,15 52
15 X=XL 53
F=FL 54
16 RETURN 55
C 56

```

```

17  A=FR-F                               57
    DX=(X-XL)*FL*(1.+F*(A-TOL)/(A*(FR-FL)))/TOL 58
    XM=X                                   59
    FM=F                                   60
    X=XL-DX                               61
    TOL=X                                  62
    F=FCT(TOL)                            63
    IF(F)18,16,18                          64
C                                         65
18  TOL=EPS                               66
    A=ABS(X)                               67
    IF(A-1.)20,20,19                      68
19  TOL=TOL*A                             69
20  IF(ABS(DX)-TOL)21,21,22              70
21  IF(ABS(F)-TOLF)16,16,22             71
C                                         72
22  IF(F*FL)23,23,24                    73
23  XR=X                                   74
    FR=F                                   75
    GO TO 4                                76
24  XL=X                                   77
    FL=F                                   78
    XR=XM                                  79
    FR=FM                                  80
    GO TO 4                                81
C                                         82
25  IER=2                                 83
    RETURN                                 84
    END                                    85

```

```

FUNCTION FCT(H)                            1
REAL NUM,L,LC                              2
COMMON WPLATE,E,RATIOT,RATIOK,AC,WGUARD,ERR,D,L 3

PI=3.1415926535                            4
C                                         5
CONST=16.*ALOG(4.)/PI                      6
C                                         7
LC=D                                         8
C                                         9
VARIA1=1.-EXP(-2.*PI*D/H)                 10
TERM1=RATIOK*AC/(LC*L)                    11
TERM3=16.*ALOG(VARIA1)/PI                 12
EPSIG=H*RATIOT*(TERM1+CONST-TERM3)/(8.*L) 13
C                                         14
TERM4=COSH(PI*(WGUARD+L)/H)               15
TERM5=COSH(PI*WGUARD/H)                   16
TERM6=ALOG((TERM4+1.)/(TERM5+1.))         17
TERM7=ALOG((TERM4-1.)/(TERM5-1.))         18
NUM=E*TERM6+(1.-E)*TERM7                 19
EPSIL=((NUM*H)/(PI*L))**2-1.              20
C                                         21
FCT=ERR/100.-ABS(EPSIG+EPSIL)             22
C                                         23
RETURN                                     24
END                                         25

```

**Bảng C.1 - Độ dày tối đa của mẫu được sử dụng trong thiết bị tắm nóng có bảo vệ thông thường (Chạy mẫu)**

Kích thước theo mm  
(Kích thước trong dấu ngoặc đơn theo inch)

E = 0,5 RATIO T = 0,001 <sup>1)</sup> RATIO K = 30000 <sup>1)</sup> RATIO L = 1,05 <sup>1)</sup> GAP = 0,317							
PLATE	GUARD	Độ dày tối đa					
		%ERR 0,1	%ERR 0,2	%ERR 0,5	%ERR 1,0	%ERR 2,0	%ERR 5,0
10,16 (4.00)	1,69	0,2	0,4	1,0	1,8	2,5	3,5
	2,54	0,1	0,2	0,6	1,2	2,2	3,9
	3,39	0,1	0,1	0,3	0,5	1,0	2,6
20,32 (8.00)	3,39	0,8	1,5	3,3	4,5	5,6	7,3
	5,08	0,4	0,9	2,2	4,1	6,3	8,8
	6,77	0,2	0,4	1,0	2,0	3,9	8,2
30,48 (12.00)	5,08	1,6	3,1	5,6	7,1	8,7	11,2
	7,62	1,0	1,9	4,5	7,6	10,2	13,6
	10,16	0,4	0,9	2,2	4,2	8,1	13,8
45,72 (18.00)	7,62	3,1	5,7	9,0	11,0	13,2	16,9
	11,43	2,1	3,8	8,6	12,7	16,1	20,9
	15,24	1,0	1,9	4,5	8,6	15,0	22,2
60,96 (24.00)	10,16	4,8	8,4	12,3	14,9	17,8	22,7
	15,24	3,1	5,9	12,8	17,7	21,9	28,1
	20,32	1,6	3,1	7,2	13,7	21,7	30,6
91,44 (36.00)	15,24	8,0	13,3	18,7	22,5	26,8	34,1
	22,86	5,4	10	20,5	27,2	33,3	42,5
	30,48	3,1	5,9	13,5	24,4	35,5	47,2
121,92 (48.00)	20,32	11,1	18,1	25,1	30,1	35,8	45,5
	30,48	8,0	14,7	28,6	36,9	44,8	56,9
	40,64	4,9	9,0	20,3	35,2	48,0	63,8

1) Xem C.1 và C.2 cho RATIO T, RATIO K và RATIO L

**Phụ lục D**  
(Tham khảo)

**Thư mục tài liệu tham khảo**

1. Woodside, W. and Wilson, A.G., Unbalance Errors in Guarded Hot Plate Measurements, *Symposium on Thermal Conductivity Measurements and Applications of Thermal Insulations*, ASTM STP217, ASTTA, Am. Soc. Testing Mats., 1956, pp. 32-48.
2. Gilbo, C.F., Experiments with a Guarded Hot Plate Thermal Conductivity Set, *Symposium on Thermal Insulating Materials*, ASTM STP119 ASTTA, Am. Soc. Testing Mats., 1951, pp. 45-57.
3. Donaldson, I.G., A Theory for the Square Guarded Hot Plate — A Solution of the Heat Conduction Equation for a two Layer System, *Quarterly of Applied Mathematics*, QAMAA, Vol. XIX, 1961, pp. 205-219.
4. Donaldson, I.G, Computer Errors for a Square Guarded Hot Plate for the Measurement of Thermal Conductivities of Insulating Materials, *British Journal of Applied Physics*, BJAPA, Vol. 13, 1962, pp. 598-602.
5. De Ponte, F. and Di Filippo, P., Design Criteria for Guarded Hot Plate Apparatus, *Heat Transmission Measurements in Thermal Insulations*, ASTM STP544, ASTTA, Am. Soc. Testing Mats., 1974, p. 97.
6. Marechal, J,C,, Metrologie et Conductivite Thermique, *Matiriaux et Constructions*, Janvier-Fdvrier, 1974, No. 37, pp. 61-65.
7. Vance, R.W. *Cryogenic Technology*, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., 1963, p. 234.
8. Sparks, L.L., Powell, R.L. and Hall, W.J., Cryogenic Thermocouple Tables, *NBS Report 9712*, National Bureau of Standards, Boulder, Colo., 1968.
9. Kopp, J. and Slack, G.A, Thermal Contact Problems in Low Temperature Thermocouple Thermometry, *Cryogenics*, CRYOA, February, 1971, pp. 22-25.
10. Somers, E.V. and Cypbers, J.A., Analysis of Errors in Measuring Thermal Conductivity of Insulating Materials, *Review of Scientific Instruments*, RSINA, Vol. 22, 1951, pp. 583-586.
11. Woodside, W., Analysis of Errors Due to Edge Heat Loss in Guarded Hot Plates, *Symposium on Thermal Conductivity Measurements and Applications of Thermal Insulations*, ASTM STP217, ASTTA, Am. Soc. Testing Mats., 1957, pp. 49-64.
12. Woodside, W., Deviations from OneDimensional Heat Flow in Guarded Hot Plate Measurements, *Review of Scientific Instruments*, RSINA, Vol. 28, 1956, pp. 1933-1937.
13. Tye, R.P., *Thermal Conductivity*, Vols, I and II, Academic Press, London and New York, 1969.
14. NASA/Lewis Research Center — TMX 52454, 1968, "Hydrogen Safety Manual," Advisory Panel on Experimental Fluids and Gases, available from the National Technical Informa- .org/ Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, Va. 22151,
15. Sax, N.I., *Handbook of Dangerous Materials*, Reinhold Publishing Company, New York, N.Y., 1951.

16. Handling and Storage of Liquid Propellants, 1961, Office of the Director of Defense Research and Engineering, available from U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. 20402.
17. NASA Publication SP-5032, Sept. 1965, "Handling Hazardous Materials", available from The National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Poll Royal Road, Springfield, Va, 22151,
18. Shirliffe, C,J, Establishing Steady-State Thermal Conditions in Flat Slab Specimens, *Heat Transmission Measurement in Thermal Insulations*, ASTM STP544, ASTTA, Am, Soc, Testing Mats., 1974, p. 13.
19. Pratt, A.W, Analysis of Error Due to Edge Heat Loss in Measuring Thermal Conductivity by the Hot Plate Method, *Journal of Scientific Instruments*, JSINA Vol. 39, 1962, pp, 63-68,
20. Thermal Conductivity Measurements of Insulating Materials at Cryogenic Temperatures, ASTM STP411, ASTTA, Am. Soc. Testing Mats.1967.
21. Arduini, M.C., and De Ponte, F., Analysis of Emittance Measurements with Heat Flowmeter and Guarded Hot Plate Apparatus. XVIIIICHMT *Symposium on Heat and Mass Transfer in Cryoengineering and Refrigeration*, Dubrovnik, September 1-5 1986, Hemisphere Pub., Washington.
22. Clulow, a. and Rees, W.H., The Transmission of Heat through Textile Fabrics, Part III, A New Thermal Transmission Apparatus, *Journal of the Textile Institute*, JTINA, 1968, pp. 286-294.
23. Zabawsky, a., An Improved Guarded Hot Plate Thermal Conductivity Apparatus with Automatic Controls, *Symposium on Thermal Conductivity Measurements and Applications of Thermal Insulation*, ASTM STP217, ASTTA, Am. Soc. Testing Mats., 1957, pp. 3-17.
24. De Ponte, F. and Di Filippo, P., Some Remarks on the Design of Isothermal Plates, *Proc. Meeting Comm. B1*, International Institute of Refrigeration, HR, Zurich, 1973-4, pp. 145-155.
25. Brendeng, E. and Frivik, P.E., On the Design of a Guarded Hot Plate Apparatus Meeting Comm. II & VI, International Institute of Refrigeration, HR, Liege, 1969.
26. Bankvall, C.G., Enslidig, Evakuerbar oder Roterbar Plattapparat for Warmeisoleringsundersdknigar (A One-sided Evacuatable and Rotatable Guarded Hot Plate for the Investigation of Thermal Insulation), Report No. 14, Lund Institute of Technology — Sweden (with abstract in English), Lund, 1970.
27. Bankvall, C.G., Guarded Hot Plate Apparatus for the Investigation of Thermal Insulations, *Materiaux et Constructions*, Vol. 6, No. 31, 1973.
28. Bode, K.H., Warmeleitfahigkeitsmessungen mit dem Plattengerat: EinfluB der Schutzingbreite auf die MeBungssicherheit, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 23, 1980, pp. 961-970,
29. Fournier, D. and Klarsfeld, S., Mesures de conductivity thermique des mat6riaux isolants par un appareil orientable y plaque chaude bi-gard6e. *Commission 2 et 6 de TInstitut International du Froid, IIF-IIR, Liege 1969, Annexe 1969-7, Bulletin IIF*, pp. 321-331.
30. Troussart, L.R., Three-dimensional Finite Element Analysis of the Guarded Hot Plate Apparatus and its Computer Implementation, *Journal of Thermal Insulation*, Vol. 4, April 1981, pp. 225-254.

31. Jakob, M., Verfahren zur Messung der Wärmeleitzahl fester Stoffe, *Z. Techn. Physik*, Vol. 7. 1926, pp. 475-481.
  32. Cammerer, W.F., Genauigkeit und allgemeine Gültigkeit experimentell bestimmter Wärmeleitzahlen, *Allgemeine Warmetechnik*, Vol. 4, 1953, pp. 209-214.
  33. Achtziger, J., Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Isolierstoffen mit dem Plattengerät bei tiefen Temperaturen, *Kaltetechnik*, Vol. 12, 1960, pp. 372-375.
  34. Zehendner, H., Einfluß der freien Konvektion auf die Wärmeleitfähigkeit einer leichten Mineralfasermatte bei tiefen Temperaturen, *Kalte-technik*. Vol. 16, 1964, pp. 308-311.
  35. Function of the Thickness of Insulating Materials, *Proc. Meeting Comm, B1, International Institute of Refrigeration, UR, ZOrich*, 1973-4, pp. 189-200.
  36. Troussart, L.R., Analysis of Errors in Guarded Hot Plate Measurements as Compiled by the Finite Element Method, in *Guarded Hot Plate and Heat Flow Meter Methodology*, ASTM STP879, ASTTA, Am. Soc. Testing Mats., Philadelphia, 1985, pp. 7-28.
  37. *Guarded Hot Plate and Heat Flow Meter Methodology*, ASTM STP879, ASTTA, American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1985.
-