

INSO

14950

1st.Edition

Mar.2013



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۴۹۵۰

چاپ اول

اسفند ۱۳۹۱

عایق کاری حرارتی - تعیین مقاومت گرمایی  
پایا و خصوصیات مربوط به آن - دستگاه  
فلومتر حرارتی

**Thermal insulation – Determination of  
steady-state thermal resistance and related  
properties-Heat flow meter apparatus**

ICS:27.220

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد  
«عایق کاری حرارتی - تعیین مقاومت گرمایی پایا و خصوصیات مربوط به آن - دستگاه  
فلومتر حرارتی»

سمت و / یا نمایندگی

دانشگاه شهید بهشتی

رئیس:

شرقی، عبدالعلی

(دکترای مهندسی عمران)

دبیر:

مجتبوی، سیدعلیرضا

(کارشناس مهندسی مواد- سرامیک)

سازمان ملی استاندارد

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

سامانیان، حمید

(کارشناس ارشد مهندسی مواد- سرامیک)

پژوهشگاه استاندارد

حسینی مقدم، علیرضا

(کارشناس ارشد مهندسی معدن)

عضو هیئت علمی

دانشگاه آزاد

رحمتی، علیرضا

(کارشناس ارشد مهندسی عمران)

شرکت پاکدشت بتن

عباسی رزگله، محمدحسین

(کارشناس مهندسی مواد- سرامیک)

سازمان ملی استاندارد

قهری، هما

(کارشناس ارشد شیمی محض)

پژوهشگاه استاندارد

گلبخش، محمد حسین

(کارشناس مهندسی عمران)

اداره کل استاندارد

استان یزد

مرشدی، عبدالرضا  
(کارشناس شیمی)

پژوهشگاه استاندارد

میر شکرایبی، افشین  
(کارشناس ارشد فیزیک)

شرکت پشم شیشه  
ایزوفام

## فهرست مندرجات

صفحه	عناوین
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ نمادها، اختصارات، کمیت‌ها و یکاها
۷	۵ اهمیت
۹	۶ اصول اولیه
۱۰	۷ محدودیت‌های دستگاه
۱۱	۸ محدودیت‌های ناشی از نمونه
۱۴	۹ دستگاه و واسنجی آن
۳۳	۱۰ روش‌های آزمون
۴۶	پیوست الف(الزامی) ارقام کرانی برای عملکرد دستگاه و شرایط آزمون

## پیش‌گفتار

استاندارد «عایق کاری حرارتی- تعیین مقاومت گرمایی پایا و خصوصیات مربوط به آن- دستگاه فلومتر حرارتی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در سیصد و نود و هفتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۹۱/۱۲/۲۲ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 8301: 1991Amd1: 2010, Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties-Heat flow meter apparatus

# عیاق کاری حرارتی - تعیین مقاومت گرمایی پایا و مشخصات مربوط به آن - دستگاه فلومتر حرارتی

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد تعیین مقاومت گرمایی با استفاده از روش فلومتری حرارتی می‌باشد، تا به کمک آن انتقال حرارت پایا از طریق نمونه‌های دال تخت و نیز برآورد مشخصات انتقال حرارت نمونه‌ها را مورد سنجش و ارزیابی قرار دهد.

این روش یک شیوه ثانویه یا نسبی است چرا که در آن نسبت مقاومت دمایی نمونه(ها) به مقاومت دمایی یک نمونه استاندارد سنجیده می‌شود.

گزارشاتی که با این روش آزمون استاندارد منطبق می‌باشند باید بر روی نمونه‌هایی با مقاومت دمایی بیشتر از  $0.1 \text{ m}^2 \text{ k/w}$  انجام شوند مشروط بر اینکه از حدود ضخامت ارائه شده در بند ۷-۲ تجاوز نکند.

۲-۱ چنانچه نمونه‌ها همه الزامات مورد نیاز بند ۸-۱ را داشتند، می‌توان آنها را دارای ویژگی رسانایی گرمایی و مقاومت گرمایی توصیف کرد.

۳-۱ چنانچه نمونه‌ها شرایط مورد نیاز بند ۸-۲ را دارا بودند، می‌توان ویژگی رسانایی گرمایی متوسط را برای آنها توصیف نمود.

۴-۱ چنانچه نمونه‌ها شرایط مورد نیاز بند ۸-۳ را دارا بودند، می‌توان ویژگی رسانایی گرمایی یا انتقال پذیری کامل را برای آنها در نظر گرفت.

## ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد اجباری است:

- 2-1 ISO 7345:1987, Thermal insulation- Physical quantities and definitions.
- 2-2 ISO 8302: 1991, Thermal insulation- Determination of steady-state thermal resistance and related properties- Guarded hot plate apparatus.
- 2-3 ISO 9229, Thermal insulation- materials products and systems- vocabulary.
- 2-4 ISO 9251: 1987, Thermal insulation- Heat transfer conditions and properties and of materials - vocabulary.
- 2-5 ISO 9288: 1989, Thermal insulation- Heat transfer by radiation- Physical quantities and definitions.
- 2-6 ISO 9346: 1987, Thermal insulation- Mass transfer - Physical quantities and

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استانداردهای بند ۲-۱ و ۲-۴، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۱-۳

#### محیط همگن گرمایی

محیطی است که رسانندگی گرمایی  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$  آن تابعی از موقعیت درون محیط نبوده بلکه تابعی از جهت، زمان و دما می‌باشد.

۲-۳

#### محیط ایزوتوپی گرمایی

محیطی است که رسانندگی گرمایی  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$  آن تابعی از جهت نبوده بلکه ممکن است تابعی از موقعیت محیط، تابع زمان و یا دما باشد  $\left( \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \right)$  از طریق مقدار واحد  $\lambda$  در هر نقطه تعریف می‌شود.

۳-۳

#### محیط پایدار گرمایی

محیطی است که رسانندگی گرمایی  $\lambda$  یا  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$  آن تابعی از زمان نبوده بلکه ممکن است تابعی از دما و در صورت امکان تابعی از جهت باشد.

۴-۳

#### متوسط رسانندگی گرمایی یک نمونه

ویژگی است که در شرایط پایا در عضوی تعریف می‌شود که به شکل یک دال با دو وجه موازی، تخت و ایزوترمال (هم دما) بوده و لبه‌های ادیباتیک (بی در رو) به صورت عمود بر وجوه قرار گرفته‌اند، از ماده‌ای ساخته شده که به لحاظ گرمایی همگن، ایزوتوپیک (یا غیر ایزوتوپیک با یک محور متقارن عمود بر وجوه) و پایدار، در صورت انجام اندازه‌گیری‌های دقیق و رعایت زمان دقیق مورد نیاز برای اجرای آن بوده و رسانندگی گرمایی  $\lambda$  یا  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$  آن تابعی ثابت یا خطی از دما می‌باشد.

۵-۳

#### ضریب انتقال یک نمونه

از طریق معادله زیر تعیین می‌گردد:



$$\mathfrak{S} = \frac{qd}{\Delta T} = \frac{d}{R} w(m..k)$$

ضریب انتقال به شرایط آزمون بستگی دارد و توصیف کننده نمونه در ارتباط با ضریب انتقال ترکیبی رسانش و تابش می باشد. اغلب در جاهای دیگر به عنوان رسانندگی گرمایی سنجیده ، هم ارز، ظاهری و یا موثر یک نمونه از آن یاد می شود.

۶-۳

### انتقال پذیری گرمایی یک ماده

از طریق فرمول زیر تعیین می شود:

$$\lambda_t = \frac{\Delta d}{\Delta R} w/m.k$$

هنگامی که  $\Delta d/\Delta R$  مستقل از ضخامت  $d$  می باشد، از شرایط آزمون نیز مستقل بوده و در این صورت نشان دهنده یک نمونه نارسانا در خصوص رسانش و تابش ترکیبی می باشد. انتقال پذیری گرمایی را می توان هنگامی مشاهده کرد که ضریب انتقال در لایه های ضخیم که در آنها انتقال گرمایی تابشی و رسانشی رخ می دهد، به حد خود می رسد. ممکن است در جاهای دیگر از آن به عنوان رسانندگی گرمایی هم ارز، ظاهری یا موثر یک نمونه یاد شود.

۷-۳

### ویژگی انتقال گرمایی پایا(دائمی)

واژه ای کلی برای تعیین یکی از ویژگی های زیر: مقاومت گرمایی، ضریب انتقال، رسانندگی گرمایی، مقاومت گرمایی ویژه، انتقال پذیری گرمایی، رسانش گرمایی، متوسط رسانندگی گرمایی.

۸-۳

### دمای اتاق

واژه ای کلی برای تعیین متوسط دمای آزمون به طوری که فردی که در اتاق قرار گرفته در آن دما احساس راحتی کند.

۹-۳

### دمای محیط

واژه ای کلی برای تعیین دما در نزدیکی لبه نمونه یا در مجاورت کل دستگاه. این دما شامل دمای درون کابینت یا محفظه ای که دستگاه درون آن جای گرفته و یا دمای آزمایشگاه برای دستگاه هایی که درون محفظه قرار ندارند نیز می شود.

۱۰-۳

#### اپراتور

فردی که مسئول انجام آزمون بر روی دستگاه فلومتر گرمایی و نیز مسئول نشان دادن نتایج حاصله از طریق ارائه گزارش است.

۱۱-۳

#### کاربر داده‌ها

فردی که در به کارگیری و تفسیر نتایج دخیل است تا طبق آنها در مورد عملکرد سیستم یا ماده قضاوت کند.

۱۲-۳

#### طراح

فردی که جزئیات ساختاری دستگاه را تعیین می‌کند تا آن را با محدودیت‌های عملکردی از پیش تعیین شده دستگاه در شرایط آزمایش منطبق سازد و همچنین روش‌های آزمون برای تایید صحت و درستی دستگاه را تعریف می‌نماید.

#### ۴ نمادها، کمیت‌ها و یکاها

نمادهایی که در این استاندارد کاربرد دارد به همراه کمیت‌ها و یکاهای آنها بشرح جدول زیر می‌باشد.

یکای	کمیت	نماد
$m^2$	ناحیه اندازه گیری شده بر روی یک سطح ایزو ترمال انتخابی، یا ناحیه در حال	$A$
$J/(kg.K)$	ظرفیت گرمایی ویژه	$c_s$
$m$	ضخامت نمونه که در امتداد یک مسیر قائم بر سطوح ایزوترمال اندازه گیری	$d$
$m$	ضخامت هر یک از نمونه ها در دستگاه HFM دو نمونه ای	$d, d''$
$m$	میانگین ضخامت یک جفت از دو نمونه	$d_m$
$m$	ضخامت نمونه های	$d_1, d_2, \dots, d_5$
$m$	بیشینه فاصله مجاز میان صفحات داغ و سرد در طول تست	$D_t$
$mV$	بازده (خروجی) فلومتر گرمایی	$e$
$W/(mV.m^2)$	ضریب کالیبراسیون (تنظیم) فلومتری گرمایی	$f$
$m$	طول وجه جانبی فلومتر گرما	$L$
$m$	طول وجه جانبی ناحیه در حال اندازه گیری فلومتر گرما	$L_m$
--	تغییر جرم نسبی پس از تعیین شرایط و آمادگی	$m_c$
--	تغییر جرم نسبی ناشی از تعیین شرایط پس از خشک شدن	$m_d$
--	تغییر جرم نسبی پس از خشک شدن	$m_t$
--	تغییر جرم نسبی یک نمونه در طول تست	$m_w$
$kg$	جرم با توجه به شرایط دریافت شده	$M_1$
$kg$	جرم پس از خشک شدن	$M_2$
$kg$	جرم پس از تعیین شرایط	$M_3$
$kg$	جرم پس از تست	$M_4$
$kg$	جرم ماده خشک شده یا در معرض شرایط خاصی قرار گرفته، درست قبل از تست	$M_5$
$W/m^2$	چگالی سرعت جریان گرما	$q$
$W/m^2$	چگالی سرعت جریان گرما برای هریک از نمونه ها در دستگاه HFM دو	$q', q''$
$m.K/W$	مقاومت گرمایی ویژه	$r$
$m.K/W$	میانگین مقاومت گرمایی ویژه در دستگاه HFM دو نمونه ای	$r_{avg}$
$m^2.K/W$	مقاومت گرمایی	$R$
$m^2.K/W$	مقاومت گرمایی نمونه استاندارد	$R_s$
$m^2.K/W$	مقاومت گرمایی نمونه نامعلوم	$R_u$

یکا	کمیت	نماد
$m^2.K/W$	مقاومت گرمایی کل در یک دستگاه HFM دو نمونه ای	$R_t$
--	مجموعه ای از نمونه ها با ضخامت های مختلف	$s_1, s_2, \dots, s_5$
$W/(m.K)$	ضریب انتقال یک نمونه	
$K$	متوسط دما	$T_m = (T_1 + T_2)/2$
$K$	دمای گرم جانبی برای هر یک از نمونه ها در دستگاه HFM دو نمونه ای	$T_1, T_1'$
$K$	دمای سرد جانبی برای هر یک از نمونه ها در دستگاه HFM دو نمونه ای	$T_2, T_2'$
$K$	متوسط دمای نمونه ('') در دستگاه HFM دو نمونه ای	$T_m$
$K$	متوسط دمای نمونه ('') در دستگاه HFM دو نمونه ای	$T_m'$
$m^3$	حجم	$V$
$m$	افزایش ضخامت	$\Delta d$
$m$	میانگین اختلاف ضخامت نمونه های ('') و ('') در دستگاه HFM دو نمونه ای	$\delta d = (d' + d'')/2$
$W/(m.K)$	انحراف رسانندگی گرمایی در متوسط دمای $T_m'$ نمونه های ('') و ('')	$\delta \lambda$
$K$	انحراف میانگین میان دمای متوسط نمونه های ('') و ('')	$\delta T_m = (T_m + T_m')/2$
$K$	انحراف میانگین میان اختلافات دمایی نمونه های ('') و ('')	$\delta T = (\Delta T - \Delta T')/2$
$m^2.K/W$	افزایش مقاومت گرمایی	$\Delta R$
$K$	اختلاف دمایی	$\Delta T = T_1 - T_2$
$K$	اختلافات دمای هر یک از نمونه های ('') و ('') در دستگاه HFM دو نمونه ای	$\Delta T, \Delta T'$
$mV/(W.m^2)$	ضریب حساسیت HFM	$\frac{\Delta e}{\Delta q}$
$W$	سرعت جریان گرما	$\Phi$
$W$	سرعت جریان گرما با یک نمونه نامعلوم	$\Phi_u$
$W$	سرعت جریان گرما با یک نمونه استاندارد یا مرجع	$\Phi_s$
$W/(m.K)$	رسانندگی گرمایی	$\lambda$
$W/(m.K)$	رسانندگی گرمایی برای هر یک از نمونه های ('') و ('') در یک دستگاه HFM	$\lambda', \lambda''$
$W/(m.K^2)$	مشتق مرتبه اول دما از $\lambda(T)$	$\lambda'(T)$
$W/(m.K^3)$	مشتق مرتبه دوم دما از $\lambda(T)$	$\lambda''(T)$
$W/(m.K)$	میانگین رسانندگی گرمایی در یک دستگاه HFM با پیکربندی دو نمونه ای	$\lambda_{avg}$

نماد	کمیت	یکا
$\lambda_m$	متوسط رسانندگی گرمایی یک نمونه یا رسانندگی گرمایی در دمای متوسط $T_m$	$W/(m.K)$
$\lambda_M$	رسانندگی گرمایی متوسط نمونه های (' و ") که در یک دستگاه صفحه داغ محفوظ اندازه گیری شده است	$W/(m.K)$
$\lambda_t$	انتقال پذیری گرمایی یک ماده	$W/(m.K)$
$\Lambda$	رسانایی گرمایی	$W/(m^2.K)$
$\rho_d$	چگالی ماده خشک مورد آزمایش	$kg/m^3$
$\rho_s$	چگالی ماده پس از تعیین شرایط	$kg/m^3$
$\rho.c_s$	محصول چگالی مورد آزمایش و گرمای ویژه نمونه	$j/(m^3.k)$
$\xi$	تخلخل	--
$\xi_p$	تخلخل موضعی	--
('), (")	شاخص های مورد استفاده برای نشان دادن ویژگی های نمونه اول و دوم در یک دستگاه HFM با پیکربندی دو نمونه ای	--

## ۵ اهمیت

### ۱-۵ فاکتورهای تاثیرگذار بر ویژگی های گرمایی

ویژگی های انتقال گرمایی یک نمونه از ماده ممکن است

- به موجب تغییر پذیری ترکیب مواد یا نمونه هایی از آن تغییر کند؛

- تحت تاثیر رطوبت یا عوامل دیگر قرار گیرد؛

- در طول زمان تغییر پیدا کند؛

- با تغییر متوسط دما تغییر کند؛

- به پیشینه گرمایی سابق بستگی داشته باشد.

از این رو باید دانست که انتخاب یک مقدار معمول از ویژگی های انتقال گرمایی یک ماده، در یک کاربری خاص، باید با در نظر گرفتن این فاکتورها صورت گرفته و در صورت لزوم باید در همه شرایط استفاده اصلاحاتی بر روی آنها صورت گیرد.

به عنوان مثال در روش مورد بررسی در این استاندارد فرض بر این گذاشته شده که ویژگی های انتقال گرمایی باید بر روی نمونه های خشک بدست بیایند، اما ممکن است در واقعیت و در حین کاربری چنین شرایطی وجود نداشته باشد. از جمله دیگر فاکتورهای اصلی، وابستگی ویژگی های انتقال گرمایی به متغیرهایی همچون

متوسط دما و اختلاف دمایی است؛ چنین وابستگی را باید حتما مورد سنجش قرار داده و یا اینکه باید آزمون را تحت شرایط معمول کاربری انجام داد.

#### ۲-۵ نمونه برداری

برای اینکه ویژگی‌های انتقال گرما بتوانند نشانگر و توصیف کننده خوبی از یک ماده باشند، باید اطلاعات کافی و مناسبی در مورد آنها بدست آورد. یک ویژگی انتقال گرمایی از یک ماده را می‌توان از طریق یک آزمون سنجشی تعیین کرد، به شرطی که نمونه انتخابی از نوع ماده باشد. روش انتخاب نمونه باید معمولا در شرح خصوصیات ماده مشخص شود. از آنجا که روش‌های نمونه برداری در چهارچوب این استاندارد قرار نمی‌گیرند، در صورت بروز هر گونه مشکلی که در بخش مشخصات ماده پوشش داده نشده، باید به مکتوبات مناسب و مقتضی رجوع نمود.

#### ۳-۵ صحت و تکرارپذیری

ارزیابی صحت و درستی این روش پیچیده بوده و تابعی از طراحی دستگاه، ابزارها و تجهیزات مربوطه و نوع نمونه‌های تحت آزمون می‌باشد. صحت و تنظیم دستگاه باید به عنوان تابعی از ماده استاندارد (مرجع) در نظر گرفته شود.

۳-۵-۱ تکرارپذیری سنجش‌های انجام شده توسط دستگاه بر روی یک نمونه بدون تغییر در شرایط آزمون معمولا بیشتر از ۱ درصد است. هنگامی که آزمون‌های سنجشی بر روی یک نمونه مرجع که حذف شده و پس از فواصل زمانی طولانی مجددا سنجش شده است، صورت می‌گیرند، تکرارپذیری سنجش‌ها معمولا بهتر از  $\pm 1$  درصد می‌باشد. این افزایش دامنه به موجب تغییرات اندکی است که در شرایط آزمون پیش می‌آید، همچون فشار صفحات و فلومتر گرما بر نمونه (که مقاومتهای تماس را تحت تاثیر قرار می‌دهد) و رطوبت نسبی هوای اطراف نمونه (که بر میزان رطوبت نمونه تاثیر می‌گذارد). این سطوح تکرارپذیری برای تعیین خطاهای موجود در این روش ضروری‌اند و در کاربری کنترل کیفی مطلوب در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۵-۲ درستی و صحت تنظیم (واسنجی) دستگاه جریان سنج گرما وقتی که متوسط دمای آزمون نزدیک دمای اتاق است، معمولا  $\pm 2$  درصد می‌باشد.

درستی تنظیم و درجه بندی دستگاه عمدتا ناشی از درستی روش صفحه داغ محفوظ به هنگام سنجش ویژگی‌های نمونه‌های مرجع است.

۳-۵-۳ در نتیجه، این روش قادر به تعیین ویژگی‌های انتقال گرمایی در دامنه  $\pm 3$  درصد به هنگامی است که متوسط دمای آزمون نزدیک به دمای اتاق می‌باشد.

#### ۴-۵ روش تنظیم

برای تنظیم دستگاه باید از یکی از روش‌های زیر پیروی کرد:

۴-۵-۱ دستگاه آزمایشگاهی باید ظرف ۲۴ ساعت قبل یا بعد از آزمون با استفاده از استانداردهای درجه بندی و تنظیمی که توسط یک لابراتوار استاندارد و شناخته شده تعیین شده اند تنظیم شود. ثبات استانداردهای

درجه‌بندی به نوع ماده بستگی دارد، برخی از استانداردهای درجه‌بندی به مدت ۲۰ سال با موفقیت به کار گرفته می‌شدند اما پیشنهاد می‌شود که چنین استانداردهایی هر ۵ سال یک بار حتما مورد بررسی قرار گیرند. آزمون گزارش شده و آزمون درجه‌بندی دستگاه باید حتی‌المقدور با بهره‌گیری از دماهای سرد و گرمی که در استانداردهای درجه‌بندی ذکر شده انجام شوند.

۲-۴-۵ در جایی که ثابت شده پایداری درجه خوانی کوتاه مدت و بلند مدت دستگاه فلومتر گرمایی بهتر از  $\pm 1$  درصد است، می‌توان دستگاه را در فواصل زمانی طولانی‌تر، برای مثال ۱۵ تا ۳۰ روزه، تنظیم و درجه بندی کرد. نتایج آزمون نمونه‌هایی که مورد آزمون قرار گرفته‌اند را نمی‌توان تا زمانی که تنظیم بعد از آزمون دستگاه انجام نشده و تنها در صورتی که تغییر در درجه‌بندی مربوط به آزمون قبلی کمتر از ۱ درصد باشد، گزارش داد.

میانگین دو درجه بندی (قبل و بعد از آزمون) باید به عنوان ضریب درجه بندی (واسنجی) مورد استفاده قرار گرفته و نمونه‌ها باید با این مقدار، آزمون شوند. هنگامی که تغییر در واسنجی بیشتر از  $\pm 1$  درصد است، نتایج آزمون ناشی از این فاصله زمانی باید بی‌اعتبار در نظر گرفته شده و آزمون‌ها را مطابق با بند ۱-۴-۵ مجدداً تکرار نمود.

## ۶ اصول اولیه

۱-۶ دستگاه فلومتر گرمایی سرعت جریان گرمایی با تراکم تک جهته و یکنواخت ایجاد می‌کند که به‌طور همزمان از ناحیه اندازه‌گیری مرکزی یک (یا دو) فلومتر گرما و ناحیه مرکزی یک (یا دو) نمونه به شکل دال (ورقه نازک) عبور می‌کند، نمونه‌ها در شرایط پایا با متوسط دمای ثابت و اختلاف دمایی ثابت میان یک واحد گرم کننده و یک واحد سرد کننده در این دستگاه مورد آزمون قرار می‌گیرند.

۲-۶ این روش یک روش ثانویه و نسبی است چرا که به کمک آن، نسبت مقاومت گرمایی نمونه(ها) به مقاومت گرمایی یک نمونه استاندارد مورد سنجش قرار می‌گیرد. مقاومت گرمایی نمونه(ها)ی استاندارد باید به صورت جداگانه و مطابق با استاندارد بند ۲-۲ بر روی دستگاه صفحه داغ محفوظ تعیین گردد.

۳-۶ شرایط مطلوب و ایده آل برای سرعت جریان گرما با تراکم تک جهته را نمی‌توان در کل ناحیه نمونه و فلومتر گرما بدست آورد. این بدان معنا است که باید به نکات زیر دقت و توجه فراوانی معطوف داشت:

الف) مشکل اتلاف گرما از طریق لبه‌های نمونه(ها) و فلومتر(ها)ی گرما؛

ب) اختلافات میان ویژگی‌های هندسی (ضخامت) و ویژگی‌های گرمایی نمونه(ها)ی استاندارد و نمونه(ها)یی که باید مورد سنجش قرار گیرند؛

ج) اختلافات در شرایط کرانی دما (در صورت وجود) میان تعیین مقاومت گرمایی نمونه(ها)ی استاندارد در دستگاه صفحه داغ محفوظ و روش واسنجی دستگاه جریان سنج گرما به کمک نمونه(ها)ی استاندارد.

۴-۶ از سنجش سرعت جریان گرما  $\Phi_5$  با نمونه(ها)ی استاندارد و  $\Phi_{II}$  با نمونه(ها) نامعلومی که باید مورد سنجش قرار گیرند، و با فرض یک تراکم ثابت از سرعت جریان گرما در بخش اندازه‌گیری و فرض پایداری اختلاف دمایی  $\Delta T$  و متوسط دمایی  $T_m$ ، نسبت میان مقاومت گرمایی  $R_3$  نمونه(ها)ی استاندارد و  $R_{II}$  نمونه(ها)ی نامعلوم به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{R_u}{R_s} = \frac{\Phi_s}{\Phi_u}$$

از این رابطه  $R_u$  محاسبه می‌شود.

۵-۶ رسانندگی گرمایی نمونه(ها) را نیز می‌توان محاسبه کرد مشروط بر این‌که شرایط تعریف شده وجود داشته و ضخامت  $d$  نمونه‌ها مشخص باشد.

۶-۶ قابلیت این دستگاه برای تولید سرعت جریان گرمایی با تراکم ثابت و تک جهته و نیز صحت و درستی در سنجش دما، ضخامت، نیروی برق آبی که توسط فلومتر گرما تولید می‌شود و غیره، به کارگیری این روش را محدود می‌سازد.

۷-۶ مجموعه دیگری از محدودیت‌ها مربوط به نمونه‌ها است اگر که ضخامت آنها یکسان نباشد (در صورت استفاده از دستگاه دو نمونه‌ای)، و یا سطح بزرگتر کاملاً تخت و یا کاملاً موازی نباشد.

## ۷ محدودیت‌های دستگاه

تعدادی از فاکتورهای مربوط به تنظیم دستگاه و محدودیت‌های مربوط به ضخامت نمونه، کاربری و استفاده از این دستگاه را محدود می‌سازند.

### ۷-۱ محدودیت‌های مربوط به تنظیم و درجه بندی

از دستگاه نباید در دماهایی به غیر از آنچه در درجه‌بندی به کار گرفته شده استفاده کرد. چنانچه یک منحنی واسنجی در یک طیف دمایی ایجاد شده باشد، برون یابی مجاز نمی‌باشد. باید به این نکته توجه خاصی معطوف داشت که دستگاه را باید در تراکمات سرعت جریان گرمایی مشابه با آنچه در درجه‌بندی به کار گرفته شده، مورد استفاده قرار داد. این موضوع به نوع ماده مورد آزمون، به ضخامت نمونه و به اختلاف دمایی در طول آزمون مرتبط می‌باشد.

### ۷-۲ محدودیت‌های مربوط به ضخامت نمونه(ها)

#### ۷-۲-۱ کلیات

استفاده از ضخامت ترکیبی نمونه(ها)، فلومتر(ها)ی گرمایی و هر گونه ماده میرا(کاهنده نوسان)، که به طور کلی فاصله میان صفحات سرد و گرم را مساوی می‌کند، باید به منظور محدود ساختن اثر اتلاف لبه‌ها بر سنجش سرعت جریان گرما محدود شود. باید یک هندسه محدود کننده انتخاب شود که با هندسه محدودکننده نمونه به کار گرفته شده در دستگاه صفحه داغ محفوظ که اتلاف‌های لبه برای آن برآورد شده- اند مطابقت داشته باشد. عایق‌بندی لبه و دمای محیط اطراف لبه نمونه بر اتلاف‌های لبه تاثیر گذارند.

### ۷-۲-۲ بیشینه فاصله‌بندی میان صفحات سرد و گرم

بیشینه فاصله مجاز میان صفحات سرد و گرم در طول آزمون،  $D_t$ ، به طول وجه جانبی فلومتر گرما،  $L$ ، طول وجه جانبی فلومتر گرمایی ناحیه اندازه‌گیری،  $L_m$ ، عرض ناحیه غیر اندازه‌گیری کننده  $(L - L_m)$ ، ساخت



گرما سنج، و ویژگی‌های نمونه آزمون بستگی دارد. هیچ تحلیل تئوری برای پیش بینی بیشینه مجاز ضخامت نمونه‌ها موجود نیست، از این رو لازم است بدین منظور از نتایج حاصل از تحلیل صفحه داغ محفوظ به عنوان راهنما استفاده کرد.

در ترکیب‌بندی تک نمونه‌ای متقارن برای دستگاه، بیشینه میزان ضخامت نمونه نسبت به بیشینه ضخامت نمونه‌ها در ترکیب‌بندی دو نمونه‌ای تا ۵۰ درصد افزایش پیدا می‌کند. چنانچه ضخامت یک نمونه فراتر از حدود دستگاه باشد، آزمون‌ها باید با استفاده دستگاهی با صفحات بزرگتر یا جعبه داغ محفوظ انجام شوند.

### ۷-۲-۳ کمینه ضخامت

کمینه ضخامت نمونه از طریق مقاومت‌های تماسی طبق بند ۷-۳ تعیین می‌گردد. در جایی که رسانندگی گرمایی یا مقاومت گرمایی مورد نیاز است، صحت و درستی کاربرد ابزارآلات برای سنجش ضخامت باعث تحمیل حدودی بر تعیین ضخامت کمینه نمونه می‌شود.

### ۷-۳ محدودیت‌های ناشی از مقاومت‌های تماسی

به هنگام آزمون کردن نمونه(ها)ی سخت، یعنی نمونه موادی که بسیار سفت بوده و شکل آنها تحت تاثیر فشار واحدهای گرم کن و سرد کن تغییر قابل توجهی نمی‌کند، حتی کوچکترین غیر یکنواختی هم در سطح نمونه و هم در سطح دستگاه (سطوحی که کاملاً تخت نیستند) موجب خواهد شد که مقاومت‌های تماسی توزیع یکنواختی مابین نمونه(ها) و سطوح در حال عملکرد واحدهای گرم کن و سردکن و فلومتر(ها)ی گرمایی نداشته باشند.

این توزیع نایکنواخت موجب توزیع نایکنواخت سرعت جریان گرما و انحراف میدان گرمایی درون نمونه‌ها خواهد شد، علاوه بر آن این توزیع‌های نایکنواخت موجب می‌شوند تا انجام سنجش‌های دمایی صحیح در سطح بدون کمک گرفتن از تکنیک‌های خاص دشوار گردد.

### ۸ محدودیت‌های ناشی از نمونه‌ها

#### ۸-۱ مقاومت گرمایی، رسانش گرمایی یا ضریب انتقال

##### ۸-۱-۱ همگنی (یکنواختی) نمونه

به هنگام سنجش مقاومت گرمایی یا رسانش گرمایی نمونه‌های غیر همگن، تراکم سرعت جریان گرما هم درون نمونه و هم روی وجوه ناحیه اندازه‌گیری ممکن است نه تک جهتی باشد و نه ثابت.

انحرافات میدانی گرما درون نمونه ایجاد خواهند شد و منجر به خطاهای قابل توجه خواهند گردید. ناحیه‌ای در نمونه که با ناحیه اندازه‌گیری پیوسته است و علی‌الخصوص در نزدیکی لبه‌های این ناحیه قرار دارد بسیار حیاتی و مهم می‌باشد. ارائه راهنمایی‌هایی موثق و قابل اطمینان در مورد کاربرد پذیری این روش در چنین مواردی بسیار دشوار است. عمده ترین ریسک این است که خطاهای اتلاف گرمایی از لبه یعنی خطاهایی که در نتیجه توزیع دمایی غیریکنواخت میان فلومتر گرما و غیره بوجود می‌آیند و در حال حاضر نمی‌توان آنها

را پیش بینی کرد، وقتی که نایکنواختی‌ها موقعیت‌های نسبتاً متفاوتی درون نمونه پیدا می‌کنند، می‌توانند به شیوه‌ای غیرقابل پیش بینی تغییر کنند.

در برخی نمونه‌ها، تغییر در ساختار ممکن است در فاصله‌های کوچک رخ دهد. این موضوع در بسیاری از عایق‌های گرمایی صدق می‌کند.

در سایر نمونه‌ها، مدارهای کوتاه گرمایی مستقیم ممکن است میان سطوح نمونه‌های در تماس با واحد(ها) و فلومتر(ها)ی گرمایی وجود داشته باشد. بزرگترین تاثیر هنگامی رخ می‌دهد که بخش‌هایی از ماده که به سرعت گرما را هدایت می‌کنند و دارای ناحیه سطحی گسترش یافته بر روی هر طرف از نمونه هستند، بوسیله یک مسیر مقاومت گرمایی پایین به یگدیگر متصل می‌گردند.

#### ۸-۱-۲ تاثیر اختلاف دما

مقاومت گرمایی یا رسانایی گرمایی ممکن است تابعی از اختلافات دمایی در سرتاسر نمونه باشد. در گزارش نتایج، طیف اختلافات دمایی که در مورد ارقام گزارش شده مربوط به این دو ویژگی به کار گرفته می‌شوند باید تعیین شده و یا باید به وضوح بیان شود که مقدار گزارش شده در یک اختلاف دمایی واحد تعیین گردیده است.

#### ۸-۲ رسانندگی گرمایی متوسط یک نمونه

به منظور تعیین رسانندگی گرمایی متوسط یا مقاومت گرمایی ویژه یک نمونه باید معیار بند ۸-۱ را در نظر گرفت. نمونه باید به لحاظ گرمایی همگن یا متخلخل همگن باشد طبق تعریف استاندارد بند ۲-۴ نمونه‌های متخلخل همگن باید به گونه‌ای باشند که هرگونه ناهمگنی ابعادی کوچکتر از یک دهم ضخامت نمونه داشته باشد. علاوه بر آن، در هر یک دمای متوسط، مقاومت گرمایی باید مستقل از اختلافات دمایی ایجاد شده در سرتاسر نمونه باشد.

معلوم شده که مقاومت گرمایی یک ماده به بزرگی نسبی فرآیندهای انتقال گرمایی دخیل بستگی دارد. رسانش گرمایی، تابش و همرفت اصلی ترین مکانیسم های انتقال گرما محسوب می‌شوند. هرچند، ممکن است این مکانیسم‌ها با یکدیگر تلفیق شده و اثرات غیر خطی بوجود آورند و اگرچه این مکانیسم‌های اولیه به خوبی شناخته شده و مورد پژوهش قرار گرفته اند اما تحلیل یا سنجش اثرات غیر خطی که ایجاد می‌کنند به مراتب دشوار است.

بزرگی همه فرآیندهای انتقال گرما به اختلاف دمایی ایجاد شده در سرتاسر نمونه بستگی دارد. برای بسیاری از مواد، محصولات و سیستم‌ها، وابستگی پیچیده‌ای به اختلافات دمایی معمول در کاربری رخ خواهد داد. در این موارد، مطلوب آن است که یک رابطه تقریبی برای یک طیف از اختلافات دمایی تعیین کرد. وابستگی می‌تواند برای طیف وسیعی از اختلافات دمایی به صورت خطی باشد.

برخی نمونه‌ها در عین اینکه معیار همگنی را دارا می‌باشند، غیر ایزوتوپ (فاقد خواص فیزیکی مشابه) هستند بدین معنی که مولفه رسانندگی گرمایی سنجیده شده در یک جهت موازی با سطوح در آنها با

رسانندگی گرمایی سنجیده شده در یک جهت نرمال نسبت به سطوح متفاوت است. برای چنین نمونه‌هایی این ویژگی موجب عدم توازن بیشتر و بروز خطاهای اتلاف گرما از لبه خواهد شد.

### ۸-۳ رسانندگی گرمایی، مقاومت گرمایی ویژه یا انتقال پذیری گرمایی یک ماده

#### ۸-۳-۱ کلیات

به منظور تعیین رسانندگی گرمایی یا مقاومت گرمایی ویژه یک ماده، باید معیارها و اصول بند ۸-۲ را رعایت نمود. علاوه بر آن، نمونه‌گیری باید به صورت مناسب انجام گیرد تا اطمینان حاصل شود که ماده انتخابی، همگن یا متخلخل همگن بوده و این که سنجش‌ها نشانگری از کل ماده، محصول یا سیستم می‌باشند. ضخامت نمونه‌ها باید به گونه‌ای باشد که ضریب انتقال ماده، محصول یا سیستم با افزایش متعاقب ضخامت بیش از ۲ درصد تغییر نکند.

#### ۸-۳-۲ وابستگی به ضخامت نمونه

از میان همه فرآیندهای دخیل، تنها رسانش یک مقاومت گرمایی ایجاد می‌کند که با ضخامت نمونه مستقیماً متناسب است. سایر فرآیندها منجر به رابطه‌ای پیچیده‌تر می‌شوند. هرچه ماده نازک‌تر و کم چگال‌تر باشد، احتمال این که مقاومت به فرآیندهایی غیر از رسانش بستگی پیدا کند بیشتر خواهد شد. نتیجه این امر ایجاد شرایطی است که الزامات مفهومی برای رسانندگی گرمایی و مقاومت گرمایی که هر دو ویژگی‌هایی ذاتی هستند را مرتفع نمی‌سازد چراکه ضرایب انتقال نشان دهنده وابستگی به ضخامت نمونه می‌باشند. برای چنین موادی، ممکن است تعیین مقاومت گرمایی در شرایط کاربرپذیر مطلوب باشد. باور بر این است که یک کران پایین‌تر از ضخامت برای همه مواد وجود دارد که چنین وابستگی در زیراین کران رخ می‌دهد. در ضخامت‌های پایین‌تر از این کران، نمونه نه کل ماده ممکن است دارای ویژگی‌های انتقال گرمایی منحصر به فرد باشد. از این رو باید این ضخامت کمینه را از طریق آزمون‌های سنجشی مشخص نمود.

#### ۸-۳-۳ تعیین حداقل ضخامت که ویژگی‌های انتقال گرمایی ماده برای آن تعریف می‌شوند

چنانچه حداقل ضخامت که می‌توان انتقال پذیری گرمایی را برای آن تعریف کرد نامعلوم باشد، باید این ضخامت را حتماً برآورد کرد. در حال حاضر هیچ روشی برای تعیین این ضخامت ایجاد نشده است. هرچند می‌توان تا حدودی از روش ذکر شده در ۱۰-۴-۲ برای تعیین ضخامت و معلوم ساختن این نکته که آیا این ضخامت در طیف ضخامتی که ماده با توجه به آن به کارگرفته می‌شود جای می‌گیرد یا خیر استفاده کرد. مهم است که میان مقاومت گرمایی افزوده شده در سنجش‌ها به موجب جابجایی ترموکوپل‌های زیر سطوح صفحات یا فلومتر گرما، مقاومت افزوده ناشی از سطوح نمونه ضعیف و مقاومت گرمایی افزوده ناشی از ترکیب شدن حالت‌های انتقال گرمایی رسانشی و تابشی در نمونه(ها) تمایز قائل شد. همه این‌ها می‌توانند به یک شکل بر سنجش‌ها اثرگذار باشند.

## ۹ دستگاه و واسنجی آن

### ۱-۹ کلیات

کاربر این روش آزمون باید بادستورالعمل‌های ساختی که در این بند ارائه شده به طور کامل آشنا شود. در عین حال که لازم است کاربر این جزئیات را به هنگام ساخت دستگاه به دقت دنبال کند، باید تایید کند که تجهیزات طبق آنچه تعیین شده ساخته شده اند. نادیده گرفتن این موضوع می‌تواند منجر به ایجاد خطاهای قابل توجه در اندازه‌گیری‌ها شود.

چنانچه در بند ۶ بیان شد، ویژگی‌های کلی یک دستگاه فلومتر گرمایی با ترکیب بندی تک نمونه‌ای یا دو نمونه‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است، این دستگاه شامل یک واحد گرم کن، یک یا دو فلومتر گرما، یک یا دو نمونه و یک واحد سردکن می‌باشد.

پیکربندی الف در شکل ۱ «تک نمونه‌ای نامتقارن» نامیده می‌شود، در این پیکربندی فلومتر گرما ممکن است مخالف هر یک از واحدها قرار گیرد. پیکربندی ب «تک نمونه‌ای متقارن» نام دارد. پیکربندی ج «دونمونه‌ای متقارن» نامیده می‌شود، در این حالت نمونه‌ها باید اساساً مشابه بوده و از یک ماده واحد جداسازی شده باشند.

هر کدام از این پیکربندی‌ها نتایج برابر و یکسانی بدست می‌دهند اگر که در محدوده حدود تعیین شده برای این روش به کار گرفته شوند. البته در عمل مزایای خاصی نیز برای هر روش وجود دارد. در جایی که بیش از یک دستگاه جریان سنج گرما مطلوب است، می‌توان با استفاده از طرف دیگر واحد گرم کن و اضافه کردن یک فلومتر و یک واحد سردکن دیگر یک دستگاه دوبل ایجاد کرد.

### ۲-۹ دستگاه

سطوح در حال عملکرد واحدهای گرم کن و سرد کن و فلومتر(ها)ی گرما (یعنی سطوحی که با نمونه‌ها تماس برقرار می‌کنند) باید رنگ شوند تا انتشار نیم کره‌ای بالاتر از ۰٫۸ در دماهای عملکردی داشته باشند.

### ۱-۲-۹ واحدهای گرم کن و سرد کن

#### ۱-۱-۲-۹ توصیف کلی

واحدهای گرم کن و سردکن باید به نحوی ساخته شوند که سطوح در حال عمل کرد آنها ایزوترمال (هم دما) شوند. می‌توان با قرار دادن یک سیم پیچ الکتریکی با توان ویژه یکنواخت میان دو صفحه فلزی، یا با به جریان در آوردن یک سیال با دمای ثابت میان صفحات و یا با ترکیبی از این دو روش و یا سایر روش‌های مناسب به این هدف رسید. در طراحی صفحات فلزی با سیال میان آنها باید دقت و توجه خاصی مبذول داشت. در بدترین حالت، باید نخست بار گرمایی تعیین شده و سپس سرعت جریان سیال به طور آزمایشی مشخص گردد، در این موقعیت اختلاف دمایی سیال میان ورودی و خروجی صفحه باید ارزیابی شده تا معلوم شود که آیا سرعت جریان مایع صحیح است یا خیر. برای اغلب طرح‌هایی که مایع در آنها جریان دارد، این اختلاف دمایی بیشتر از هر نایکنواختی دمایی صفحه است. بهترین نتایج زمانی بدست می‌آیند که از مسیرهای ضد جریان مارپیچی برای سیال استفاده کرد (شکل ۲). هرچند، در این حالت مقاومت گرمایی میان

سیال و صفحه فلزی باید به اندازه کافی بالا باشد، در غیر این صورت نایکنواختی دمایی صفحه ممکن است حتی از اختلاف دمایی میان سیال ورودی و خروجی نیز بیشتر شود. یکنواختی دمایی سطوح در حال عملکرد یک واحد گرم کن یا سردکن در یک دستگاه جریان سنج گرمایی ممکن است حتی مهم‌تر از یکنواختی دمایی در دستگاه صفحه داغ محفوظ باشد، چراکه برخی از فلومترهای گرما ممکن است به اختلافات دمایی در امتداد سطوح اصلی خود حساس باشند.

سطوح عملکردی واحدهای سردکن و گرمکن باید از یک فلز با رسانندگی گرمایی بالا که با روکشی صاف و صیقلی پوشیده شده ایجاد شوند تا صفحه ای کاملاً صاف و مسطح  $0.025$  درصد بوجود آید.

واحد سردکن باید طوری ساخته شود که یک سطح عملکردی ایزوترمال برای آن بوجود آید که ابعاد سطح آن حداقل به بزرگی ابعاد سطح عملکردی واحد گرم کن باشد.

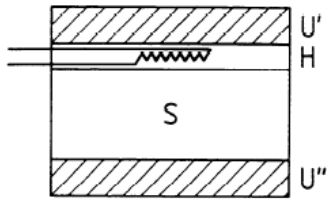
واحدهای گرمکن و سردکن ممکن است مشابه یکدیگر باشند.

#### ۹-۲-۱-۲ الزامات دمایی

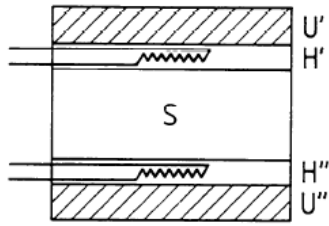
یکنواختی دمایی در هر یک از سطوح عملکردی از  $1$  درصد اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه(ها) بهتر خواهد بود.

علاوه بر آن، چنانچه یک فلومتر گرمایی در تماس با سطح عملکردی یک واحد گرمکن یا سردکن قرار گرفته و به اختلافات دمایی در امتداد این سطح حساس است، این اختلاف دمایی باید تا حد ممکن کوچک باشد تا خطای مربوط به سنجش سرعت جریان گرما زیر  $0.5$  درصد حفظ شود.

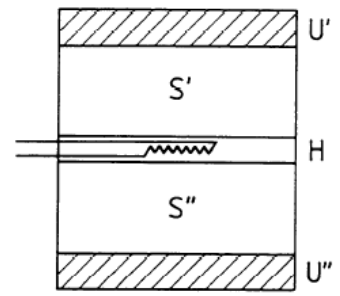
دماهای سطح عمل‌کردی در طول دوره آزمون نباید نوسان داشته و یا بیش از  $0.5$  درصد اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه تغییر کند. علاوه بر آن، نوسانات دمای سطح در وجه فلومتر گرما که با نمونه(ها) در تماس است باید کمتر از  $0.5$  درصد اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه(ها) باشد. نوسانات دمایی (به عنوان تابعی از زمان) در سطح فلومتر گرمایی نباید باعث ایجاد نوساناتی بزرگتر از  $2$  درصد در خروجی الکتریکی در طول دوره آزمون شوند. این نوسانات در نتیجه کیفیت ضعیف کنترلرهای اتوماتیک در کنار ظرفیت گرمایی فلومتر گرمایی بوجود می‌آیند. جاسازی لایه ای نازک از یک ماده عایق میان فلومتر(ها)ی گرمایی و سطوح عملکردی می تواند باعث تخفیف این مشکل شود.



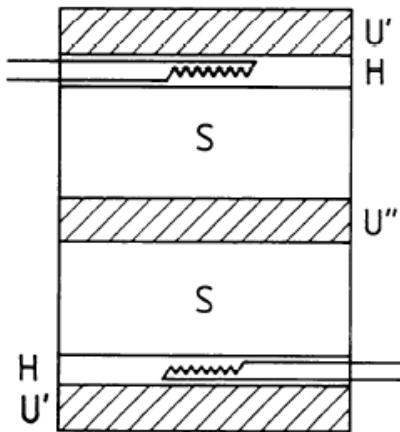
الف- تک نمونه‌ای نامتقارن



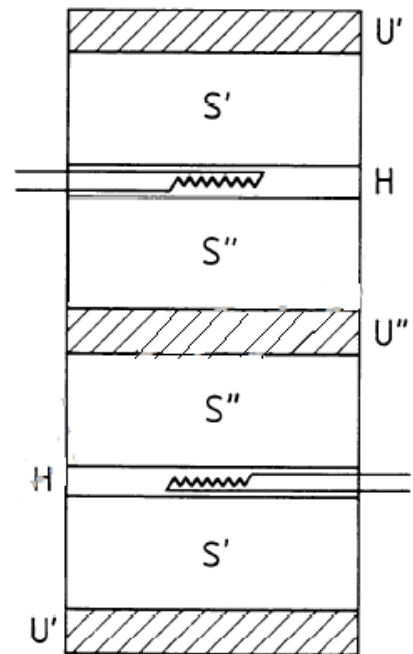
ب- تک نمونه‌ای متقارن



ج- دونمونه‌ای متقارن



و- دستگاه دوپل



ه- دستگاه دوپل

راهنما:

$U', U''$  واحدهای گرم کن و سرد کن

$H, H', H''$  سنسجش گر جریان حرارتی

شکل ۱- ترکیب بندی دستگاه فلومتر گرمایی

## ۹-۲-۲ فلومتر گرمایی

### ۹-۲-۲-۱ هدف

فلومتر گرمایی (جریان سنج گرمایی) یک دستگاه مونتاژی است که تراکم سرعت جریان گرما از میان نمونه(ها) را از طریق اختلاف دمایی که این تراکم از سرعت جریان گرما با عبور از میان نمونه ها و عبور از خود فلومتر ایجاد می کند را اندازه گیری می کند. انواع مختلف فلومترها در ۹-۲-۲-۶ توصیف شده اند. معمولاً فلومتر شامل یک هسته همگن، یک نشانگر اختلاف دمای سطح و یک نشانگر دمای سطح می باشد. بخشی از فلومتر گرمایی که توسط هسته اشغال شده که نشانگرهای اختلاف دما در آن قرار دارند ناحیه اندازه گیری نامیده می شود. این ناحیه همچنین می تواند دارای ورق های پوششی برای ایجاد محافظت و میرایی (تضعیف) گرمایی باشد. گاهی اوقات از صفحات تعدیل کننده فلزی دما یا فویل برای بهبود یا ساده تر شده سنجش ها استفاده می شود، اما این ورق ها باید به گونه ای قرار گیرند که از وابستگی اختلاف دمایی به ویژگی های گرمایی نمونه جلوگیری کنند.

### ۹-۲-۲-۲ هسته

هسته باید از یک ماده مناسب و غیرنمگیر ساخته شود که به اندازه کافی یکنواخت و ایزوتوپ بوده و دارای وجوه موازی کافی باشد تا جریان گرمای یکنواخت عمود بر وجوه را تضمین کند. ماده مورد استفاده برای ساخت هسته نباید تحت شرایط رطوبت و دمای کاربری و ذخیره و نیز به موجب دستکاری های معمول به طور قابل توجهی تغییر کند. این ماده باید به لحاظ گرمایی یکنواخت بوده و در طول یک دوره زمانی طولانی باید به صورت پایدار باقی بماند. برخی از موادی که می توان از آنها برای ساخت فلومترهای گرمایی استفاده کرد شامل: چوب پنبه کامپوزیت، پلاستیک های لاستیکی سخت، سرامیک و لمینت های فنولی، اپوکسی یا الیاف شیشه ای پر شده با سیلیکون می باشند.

### ۹-۲-۲-۳ ترموپیل (پیل حرارتی)

اختلاف دمایی در سرتاسر ماده هسته باید بوسیله یک نشانگر دمایی ثابت و حساس اندازه گیری شود. ترموپیل های چند اتصالی تا به امروز با موفقیت به کار گرفته شده اند. برخی از انواع این ترموپیل ها در شکل ۳ مشاهده می شوند. اتصالات بر روی سطوح ماده هسته فلومتر گرمایی قرار گرفته اند تا اختلاف دمایی را از میان هسته اندازه گیری کنند.

نتیجه وجود ترموپیل در هسته یک خروجی ترموپیل  $e$  است که با تراکم سرعت جریان گرما  $q$ ، از طریق یک پارامتر  $A$  به نام ضریب واسنجی به صورت زیر مرتبط است:

$$q = \int e$$

پارامتر  $A$  به طور قطعی ثابت نیست بلکه مقدار آن به دما و به میزان کمتر به تراکم سرعت جریان گرما بستگی دارد.

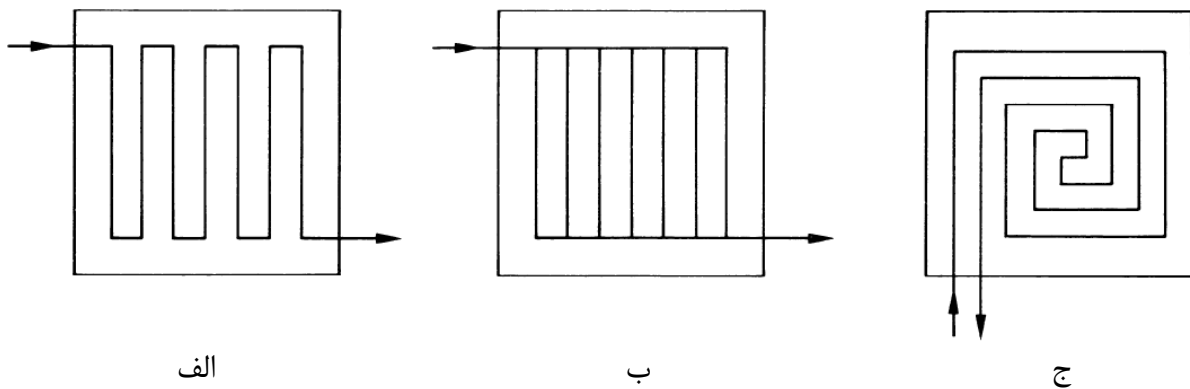
به منظور جلوگیری از اثرات رسانش گرمایی در امتداد المنت عبور کننده از یک وجه به وجه دیگر، توصیه می‌شود که ناحیه سطح مقطع رساناها (کنداکتور) در ترموپیل کوچکتر از سطح مقطع یک مفتول با قطر ۰٫۲ میلی‌متر باشد.

توصیه می‌شود از المنت‌های گرمایی که خروجی برق آنی (emf) بالایی تولید کرده و دارای رسانندگی پایین می‌باشند استفاده شود. معلوم شده که هم ترموکوپل‌های نواری و هم صفحه ای در هر طرح، مزایای خاص خود را دارند. فرض بر این است که مهم ترین سطوح اندازه گیری ایزوترمال هستند به طوری که تراکم سرعت جریان گرما بر سطوح سنجش اصلی به صورت عمود خواهد بود. چنانچه این فرضیه درست نباشد، مولفه‌ای از تراکم سرعت جریان وجود خواهد داشت که نسبت به سطوح اصلی جریان سنج گرما به صورت موازی قرار خواهد گرفت. حساسیت این مولفه به طرح جای‌گیری اتصالات ترموپیل بستگی دارد: اتصالات شکل ۳-الف و شکل ۳-ب نسبت به اختلافات دمایی در امتداد سطوح اصلی حساس نیستند در حالی که اتصالات شکل ۳-الف نسبت به اختلافات دمایی در امتداد جهات موازی و عمود بر سطوح جریان سنج اصلی حساس می‌باشند، از این رو باید در صورت امکان از به کارگیری چنین طرح‌هایی اجتناب کرد. باید نسبت به محدود ساختن اثر جریان گرما از طریق کابل هادی روی خروجی نشانگر اختلاف دما، احتیاط‌های لازم را در نظر گرفت.

هنگامی که خروجی جریان سنج گرما کمتر از ۰٫۰۰۰۲ ولت است، باید از تکنیک‌های خاصی برای پیش‌گیری از ایجاد نیروی گرمایی آنی غیر اصلی در سیم‌های هادی، مدارهای اندازه‌گیری و خود فلومتر گرما بهره گرفت. در این خصوص فلومتر را تنها می‌توان با آزمون کردن در سرعت‌های جریان گرمای مختلف، نیمی در یک جهت و نیمی در جهت دیگر، و بررسی عرض صفر خط اتصال دهنده نقاط مورد بررسی قرار داد.

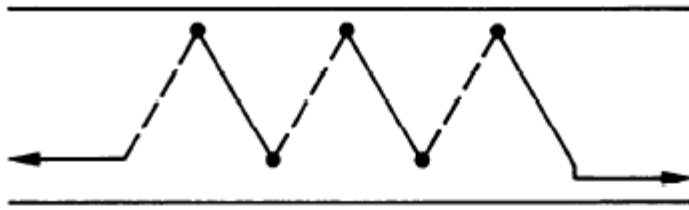
برای تضمین مقاومت گرمایی یکنواخت در فلومتر گرمایی، نشانگرهای اختلاف دما بایدیا:

- الف) توزیع یکنواختی درون ناحیه اندازه گیری فلومتر داشته باشند، ناحیه‌ای که نه بزرگتر از ۴۰ درصد و نه کوچکتر از ۱۰ درصد کل ناحیه سطحی است؛ و یا
- ب) در نواحی کوچکتر از ۱۰ درصد کل ناحیه سطحی متمرکز شده باشند، این نواحی باید میان ۴۰ درصد مرکزی فلومتر قرار داشته باشند.

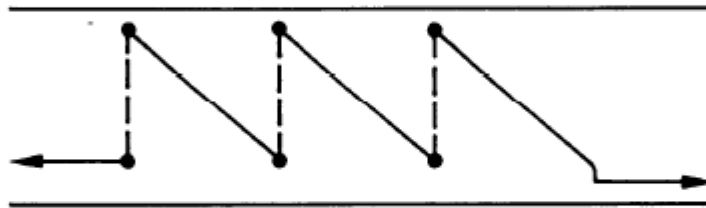


شکل ۲- مثالهایی از طراحی واجدهای سرد کن و گرم کن

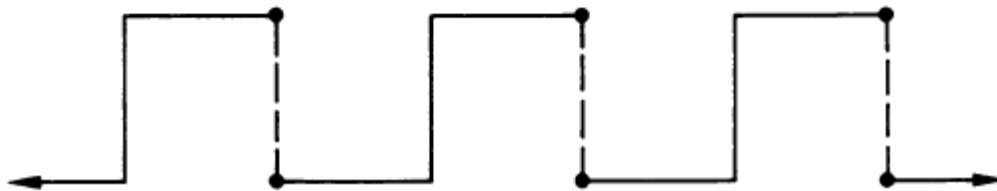




الف



ب



ج

شکل ۳- مثال‌هایی از طراحی ترموپیل‌ها

#### ۴-۲-۲-۹ ورق‌های سطح

برای جلوگیری از آسیب دیدگی نشانگر اختلاف دما که بر روی واسنجی آن اثر خواهد گذاشت، هر دو سطح باید با لایه‌ای از ماده مناسب پوشیده شوند، ضخامت این لایه باید آنقدر نازک باشد که بتواند از شنت (تغییر جهت) گرمایی سیم‌های نشانگر اختلاف دما جلوگیری نماید. یک فلومتر گرمایی که دارای طراحی مناسب است باید از حساسیتی که تا حد ممکن مستقل از رسانش گرمایی نمونه هاست برای طیف وسیعی از رسانه‌های گرمایی برخوردار باشد. ورق سطحی می‌تواند به تضعیف هرگونه نوسان دمایی نیز کمک کند. ورق سطحی باید از جنس مشابه ماده هسته بوده و بوسیله راهکارهای شیمیایی همچون نوارهای چسبی یا مواد گداز پذیر و یا دیگر راهکارهای مناسب به هسته متصل شود. ناحیه اندازه‌گیری فلومتر گرمایی باید دارای روکشی صاف و صیقلی باشد تا با صفحه‌ای صاف تا ۰/۰۲۵ درصد تطبیق کند.

#### ۹-۲-۲-۵ سنسورهای دمای سطح

از یک وسیله مناسب باید برای اندازه گیری میانگین دمای جوانب نمونه در فلومتر گرمایی استفاده کرد. ثابت شده که می توان از یک تکه فویل مسی به ضخامت ۸۰ میکرون که به ورق سطحی می چسبد، برای میانگین کردن دمای سطح فلومتر گرمایی در ناحیه ای که اتصالات ترموپیل در آن قرار دارند استفاده کرد. فویل باید تا فاصله ای تقریباً برابر با ضخامت فلومتر گرمایی تا خارج از این ناحیه گسترش پیدا کند. فویل را می توان به عنوان بخشی از یک مدار ترموکوپل مس-کنستانتان (آلیاژی از مس) به کار برد و یا می توان آن را با یک سنسور مقاومت پلاتینی مجهز کرد. وقتی که از ترموکوپل ها بدین منظور استفاده می شود، سیم های مسی و کنستانتانی با قطر ۰/۲ میلی متر یا کمتر، پیش از آنکه ورق سطحی به هسته متصل شود در آن جای می گیرند. سیم کنستانتانی به مرکز فویل لحیم می شود در حالی که سیم مثبت نزدیک یکی از لبه ها لحیم می گردد. همه لحیم های اضافی باید برداشته شوند. سطحی از فلومتر که بوسیله فویل فلزی پوشیده نشده است، با ورق غیرفلزی به ضخامت ۸۰ میکرون مخفی می شود تا سطحی صاف و صیقلی فراهم آورد. سیم های ترموکوپل باید با استانداردهای ذکر شده در ۹-۲-۲-۳-۱ مطابقت داشته باشند.

#### ۹-۲-۲-۶ انواع فلومترهای گرمایی

انواع مختلفی از روش های سنجش گرما وجود دارد. فلومتری که در این روش آزمون توصیف شده نوع شی-بدار نامیده می شود. این نوع فلومتر از یک ورق (صفحه) از جنس ماده ای خاص ساخته شده که در سرتاسر آن شیب (گرادیان) دما معمولاً به کمک یک ترموپیل اندازه گیری می شود. این نوع فلومترها به طور کلی برای سنجش های پایا (دائمی) و شبه پایا مورد استفاده قرار می گیرند، اگرچه این نوع فلومترها برای کارهای موقتی تطبیق یافته اند که معادلات تقریبی برای آنها ایجاد شده است. دو نوع ساخت کلی برای فلومترهای شی-بدار وجود دارد که شامل مقاومت گرمایی بالا و مقاومت گرمایی پایین می باشد.

نوع مقاومت گرمایی بالا شامل ماده ای با مقاومت گرمایی بالا همچون چوب پنبه است که یک ترموپیل کوچک اطراف آن پیچیده شده تا اختلاف دمایی را اندازه گیری کند. یک ماده رویه و نیز مجموعه ای از سنسورهای دمایی یا یک سنسور واحد بر روی هر سطح قرار گرفته و هر دو سطح دستگاه توسط روکشی با نفوذپذیری پایین پوشیده شده اند. ویژگی های این نوع فلومتر گرمایی، شامل افت دمایی بالا، حساسیت مناسب با یک ترموپیل کوچک، سهولت ساخت و وابستگی اندک مقدار حساسیت به ویژگی های نمونه مورد آزمون می باشد.

فلومتر نوع مقاومت پایین از ورق نازک از جنس ماده ای نسبتاً کم مقاوم، همچون اپوکسی یا الیاف شیشه ای پر شده با سیلیکون ساخته شده است که یک ترموپیل بسیار حساس در اطراف آن پیچیده شده تا اختلاف دمای جزئی را اندازه گیری کند. در این فلومتر نیز، یک ماده روکش بر روی هر سطح قرار می گیرد. در بسیاری موارد، این ماده یک نوار عایق بندی ساده و یک صفحه فلزی است. ویژگی های این نوع فلومتر شامل افت دمایی کم در سرتاسر آن و حساسیت مناسب یا بالا می باشد، این فلومتر نیازمند فنون خاصی برای طراحی و ساخت می باشد.

## ۹-۲-۳ سایر وسایل اندازه‌گیری

### ۹-۲-۳-۱ دماها

#### ۹-۲-۳-۱-۱ دماهای دستگاه

هر روشی که ثابت شده قابلیت انجام سنجش‌های اختلاف دمایی میان سطوح در حال عملکرد واحدهای سردکن/گرمکن (و فلومتر(ها)ی گرمایی در صورت لزوم) که در تماس با نمونه(ها) قرار دارند را با میزان درستی ۱ درصد داشته باشد، می‌تواند برای اندازه‌گیری دماها در دستگاه به کار گرفته شود. برای تعیین دمای سطح فلومتر گرمایی بند ۹-۲-۲-۵ را مشاهده کنید.

دمای سطوح عملکردی واحدهای سردکن و گرمکن غالباً توسط سنسورهای دمایی ثابت و دائمی همچون ترموکوپل‌هایی که در شیارها و یا درست در زیر صفحات عملکردی نصب شده‌اند، اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که پیکربندی ج در شکل ۱ انتخاب می‌شود، سنسورهای قرار گرفته بر روی سطوح عملکردی واحدهای سردکن و گرمکن گاهی اوقات به صورت متفاوت متصل می‌شوند. این موضوع در مورد ترموکوپل‌ها امری معمول است. در چنین مواردی، سنسورها باید به لحاظ الکتریکی از صفحات جداسازی شده، صفحات فلزی باید به زمین اتصال پیدا کنند و از مقاومتی بزرگتر از  $1\text{ M}\Omega$  استفاده شود. تعداد چنین ترموکوپل‌هایی بر روی هر طرف نباید کمتر از  $10\sqrt{A}$  یا ۲ برای هر کدام که بزرگتر است باشد، که در اینجا  $A$  ناحیه اندازه‌گیری به واحد مترمربع است.

مشخص شده که بر روی صفحات موجود که دارای مساحت سطحی کمتر از  $0.04$  مترمربع می‌باشند، یک ترموکوپل به ازای هر سطح کافی و مناسب است مشروط بر این‌که یا ترموکوپل‌ها در فواصل زمانی مناسب عوض شوند و یا واسنجی ترموکوپل‌ها به طور منظم چک شود. برای همه دستگاه‌های جدید داشتن حداقل دو ترموکوپل ضروری است.

برای انواع خاصی از مواد، استفاده از این شیوه می‌تواند منجر به بروز خطا در اندازه‌گیری به دلیل مقاومت گرمایی میان سنسورها و سطوح نمونه‌ها شود.

#### ۹-۲-۳-۱-۲ اختلافات دمایی میان نمونه(ها)

۹-۲-۳-۱-۲-۱ برای نمونه‌های غیر سخت با سطوحی که به خوبی با سطوح تخت صفحات و سطوح مقاومت گرمایی بیشتر از  $0.5\text{ m}^2\text{K/W}$  مطابقت می‌کنند، اختلاف دمایی میان نمونه‌ها معمولاً از طریق نشانه‌هایی اندازه‌گیری می‌شود که توسط سنسورهای دائمی نصب شده در سطوح عملکردی واحدها و/یا فلومترهای گرما که در تماس با نمونه‌ها هستند ایجاد می‌شوند.

۹-۲-۳-۱-۲-۲ در برخی موارد احتمال تاثیر مقاومت تماسی میان نمونه‌ها و سطوح عملکردی دستگاه وجود دارد، در این صورت ممکن است برخی شیوه‌های خاص برای تعیین اختلاف دمایی میان نمونه‌ها لازم باشند. اما با این وجود در برخی موارد انتخاب روش به عهده اپراتور می‌باشد. یک تکنیک ثابت شده برای نمونه‌های سخت شامل استفاده از ورق‌های نازک از جنس ماده‌ای همگن و مناسب میان نمونه‌ها و هر کدام از سطوح عملکردی دستگاه می‌باشد.

آنگاه اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه‌ها به وسیله ترموکوپل‌های جداگانه که به صورت هم تراز با سطح نمونه یا در داخل آن نصب شده‌اند تعیین می‌گردد. همچنین می‌توان در کنار این تکنیک از لایه‌های نازک ماده‌ای با مقاومت پایین که میان نمونه‌ها و سطوح عملکردی قرار می‌گیرد استفاده نمود.

#### ۹-۲-۳-۱-۳ سنسورهای دمایی

وقتی که از ترموکوپل استفاده می‌شود، ترموکوپل‌هایی که در سطح واحدها نصب می‌شوند باید از سیم‌هایی که قطر آنها بیشتر از ۰/۶ میلی‌متر و در حالت مطلوب بیشتر از ۰/۲ میلی‌متر برای دستگاه‌های کوچک نیست، ساخته شوند.

در سایر موارد، برای مثال در مورد ترموکوپل‌هایی که در ورق‌های نازک جاسازی می‌شوند، برای کاهش خطا در تشخیص دماهای سطح بویژه در مورد نمونه‌هایی با مقاومت پایین دقت و توجه خاصی مورد نیاز است. ترموکوپل‌هایی که درون سطوح نمونه‌ها نصب می‌شوند باید از سیم‌هایی که قطر آنها بیشتر از ۰/۲ میلی‌متر نیست ساخته شوند.

برای نمونه‌هایی با مقاومت پایین، توصیه می‌شود که در جای ممکن ترموکوپل‌ها درون سطوح نمونه‌ها نصب شوند. در غیر این صورت باید از ترموکوپل‌هایی با قطر سیم نازک‌تر استفاده کرد. ترموکوپل‌هایی که از آنها برای اندازه‌گیری دمای وجوه نمونه‌ها استفاده می‌شود یا باید از سیم ترموکوپل واسنجی شده و یا از سیمی که توسط فروشنده تایید می‌شود، ساخته شود. سایر سنسورها یا نشانگرهای دمایی همچون سنسورهای مقاومت پلاتینی باید از حساسیت و پایداری و نیز درستی عملکرد مناسب برخوردار باشند. خطای بوجود آمده در اختلافات دمایی به موجب انحراف جریان گرما در اطراف سنسور، تغییر در خروجی سنسور و یا دیگر خصوصیات سنسور باید کمتر از ۱ درصد باشد.

#### ۹-۲-۳-۲ سیستم‌های اندازه‌گیری الکتریکی

##### ۹-۲-۳-۲-۱ ویژگی‌های کلی

طراحی سیستم اندازه‌گیری به نوع سنسورهای دمایی مورد استفاده و حساسیت ترموپیل یا مدارات حسگر اختلاف دما بستگی خواهد داشت. طیف خروجی این سنسورها با توجه به طیف عملکردی دستگاه متفاوت خواهد بود. در همه احتمالات، این طیف دارای مرتبه‌های بزرگی مختلف است و این امر مستلزم ابزارهای اندازه‌گیری با طیف وسیع و بسیار خطی و یا چند طیفی و کمتر خطی می‌باشد. البته انتخاب این ابزارها بستگی به الزامات و نیازمندی‌های اصلی کاربر دارد. قابلیت دستگاه فلومتر گرما برای انجام سنجش‌های سریع هنگامی به حالت مطلوب و بهینه در می‌آید که سیستم اندازه‌گیری آن هم مقاومت گرمایی، رسانش و هم رسانندگی گرمایی را محاسبه کرده و نمایش دهد. با این وجود، سیستم اندازه‌گیری هر سنسور دمایی را به طور جداگانه مورد نظارت قرار می‌دهد. مدارات محاسبه‌گر این سامانه ممکن است دیجیتال یا آنالوگ باشند. در جایی که این مدارات دیجیتالی هستند نیازی نیست حدود یا خطای قابل توجهی برای آنها تعریف کرد. اما در جایی که مدارها آنالوگ هستند، پایداری کوتاه مدت و بلند مدت، خطی بودن، میزان درستی و حساسیت ممکن است کاهش پیدا کنند. مدارات محاسبه‌گر باید به عنوان بخشی از سامانه اندازه‌گیری

درآزمون تایید در نظر گرفته شده و الزامات بند ۹-۲-۳-۲-۲ باید برای کل سامانه رعایت شوند. در مدارات محاسبه گر آنالوگ، موضوع پایداری بلندمدت همچنان به صورت یک مشکل حل نشده باقی می ماند. برای بدست آوردن نتایج درست و قابل اطمینان، باید همه فاکتورهای ذکر شده در بند ۹-۲-۲ با دقت مد نظر قرار گیرند.

#### ۹-۲-۳-۲-۲ الزامات سامانه اندازه گیری برای عملکرد در سطح بالا و آزمون گزارش دهی

هنگامی که از دستگاه برای عملکرد سطح بالا در سنجش ها و یا درآزمون گزارش دهی استفاده می شود، سامانه اندازه گیری باید قابلیت های زیر را داشته باشد، صرف نظر از اینکه سامانه اندازه گیری چند طیفی مورد استفاده قرار می گیرد یا طیف گسترده :

الف) حساسیت، خطی بودن، دقت و امپدانس (مقاومت ظاهری) ورودی مناسب و کافی برای سنجش اختلافات دمایی در سرتاسر نمونه ها تا  $\pm 0.5$  درصد و خروجی ترموپیل تا  $\pm 0.6$  درصد؛

ب) حساسیتی بهتر از  $0.15$  درصد در حداقل خروجی از نشانگر اختلاف دمایی؛

ج) خطی بودن مناسب و کافی به طوری که در همه خروجی های مورد انتظار از نشانگر اختلاف دما منجر به خطایی کمتر  $0.1$  درصد نشود؛

د) امپدانس ورودی کافی به طوری که این امپدانس منجر به خطایی بزرگتر از  $0.1$  درصد به هنگام خواندن نتایج در هر شرایط ممکن نگردد (برای بسیاری از دستگاهها امپدانس  $1 M\Omega$  مناسب است).

و) پایداری به طوری که در طول یک دوره معمول واسنجی یا  $30$  روز، کمتر از  $0.2$  درصد خطا در خواندن نتایج بوجود آورد.

ه) ایمنی کافی و مناسب در برابر نویز (صدا) به طوری که با تمام انواع بارها، اتصال به زمین و استفاده از حفاظ و روکش به کار رفته در دستگاه، نویزی کمتر از  $1 mV$  درصد در مقادیر اختلاف دما و خروجی ترموپیل رخ دهد.

#### ۹-۳-۳-۳ اندازه گیری ضخامت

برای اندازه گیری ضخامت نمونه تا  $0.5$  درصد باید روش هایی ایجاد کرد. از آنجا که ممکن است در نتیجه دما و یا فشردگی ناشی از صفحات ضخامت نمونه تغییر پیدا کند، توصیه می شود حتی المقدور، ضخامت نمونه در دستگاه در دمای فعلی آزمون و شرایط موجود فشردگی اندازه گیری شود. نقاط اندازه گیری یا علائم سنجش در چهار گوشه بیرونی صفحات یا در امتداد محور عمود بر صفحات، برای این سنجش ها مورد استفاده قرار می گیرند. ضخامت ترکیبی موثر نمونه از طریق میانگین اختلاف میان نقاط اندازه گیری تعیین می شود، وقتی که نمونه در مکان خود در دستگاه قرار گرفته و وقتی در دستگاه قرار ندارد و نیرویی مشابه برای فشار دادن صفحات به سمت یگدیگر مورد استفاده قرار می گیرد. به هنگام استفاده از مبدل الکتریکی، باید مدارات الکتریکی و خطی بودن آن حتما چک شوند. بررسی خطی بودن باید در فواصل زمانی کمتر از یکسال صورت گیرد.

#### ۴-۲-۹ وسایل مکانیکی

##### ۱-۴-۲-۹ چهارچوب

باید برای نگاه داشتن دستگاه در یک یا چند جهت، یک چهارچوب یا قاب ایجاد کرد.

##### ۲-۴-۲-۹ نیروی مهار

باید برای تحمیل یک نیروی مهار ثابت و قابل تجدید بر سامانه جهت ایجاد تماس گرمایی خوب و یا برای حفظ فاصله بندی صحیح میان صفحات صرف نظر از جهت آنها، روش‌هایی ایجاد کرد. یک نیروی ثابت، که واحدها را به سمت یکدیگر فشار خواهد داد، می‌تواند به کمک فنرهایی با نیروی ثابت، مجموعه‌ای از اهرم‌ها و بارهای سنگین و یا روشی مشابه آنها بر سامانه تحمیل گردد. فشاری بزرگتر از  $2.5 \text{ kpa}$  بر نمونه‌ها لزومی ندارد. هنگامی که نمونه‌های تراکم پذیر موردآزمون قرار می‌گیرند، ممکن است لازم باشد از گیره‌هایی با سطح مقطع کوچک و رسانندگی گرمایی پایین میان گوشه‌های واحدهای گرمکن و سردکن به منظور محدود ساختن فشردگی و تراکم نمونه‌ها استفاده کرد. از روش‌های دیگری نیز می‌توان برای ایجاد فاصله میان سطوح عملکردی بهره گرفت؛ برای چنین آزمون‌هایی یک فشار ثابت مورد نیاز نمی‌باشد.

#### ۵-۲-۹ عایق‌بندی لبه و اتلاف‌های گرمایی لبه

##### ۱-۵-۲-۹ کلیات

اتلاف‌های گرمایی از لبه‌های بیرونی دستگاه فلومتر گرمایی را می‌توان با عایق‌بندی لبه‌ها و یا با کنترل کردن دمای هوای محیط اطراف و یا با هر دو روش محدود ساخت. باید کابینت یا محفظه‌ای ایجاد کرد که دستگاه فلومتر را احاطه کند تا دمای محیط را در دمای متوسط نمونه‌ها نگه دارد، بویژه وقتی که آزمون‌های انجام شده در دماهای متوسط تفاوت قابل توجهی با دمای آزمایشگاه دارند.

یک رادیاتور سرد که به عنوان بخشی از سامانه کنترل دما در محفظه وجود دارد، دمای نقطه شبنمی حداقل  $5k$  پایین تر از دمای واحد سردکن ایجاد می‌کند و در نتیجه از جذب میعان و رطوبت توسط نمونه‌ها جلوگیری خواهد کرد.

#### ۲-۵-۲-۹ تاثیر بر نوع پیکربندی آزمون

سه نوع پیکربندی مختلف به لحاظ رفتار در برابر اتلاف گرمایی از لبه با یکدیگر متفاوت بوده و از این رو راهکارهای متفاوتی برای به حداقل رساندن این اتلاف‌های گرمایی در این سه نوع پیکربندی مورد نیاز است. ۱-۲-۵-۲-۹ پیکربندی تک نمونه ای غیر متقارن در خصوص /اتلاف‌های گرمایی لبه از طریق نمونه‌ها مشابه دستگاه صفحه داغ محفوظ است. اتلاف‌های گرمایی لبه در فلومتر گرمایی مهم‌تر از دستگاه صفحه داغ محفوظ است، چراکه می‌توانند منجر به خطاهای مازادی به موجب غیر یکنواختی دمایی در سمتی که در تماس با نمونه است گردند.

۹-۲-۵-۲-۲ پیکربندی دو نمونه‌ای متقارن نسبت به اتلاف‌های گرمایی لبه در فلومتر حساس است چراکه گرمایی که از میان لبه‌ها جریان دارد از طریق نمونه‌ها تامین می‌شود. از آنجا که سطوح عملکردی این واحدها تقریباً ایزوترمال است، دمای سطح ممکن است دیگر یکنواخت باقی نماند. چنانچه فلومتر گرمایی نسبت به اختلافات دمایی در امتداد سطوح اصلی خود حساس باشد، اتلاف‌های گرمایی لبه می‌توانند منجر به ایجاد خطاهای جدی شوند. برای جلوگیری از بروز چنین خطاهایی، استفاده از محفظه‌ای که در ۹-۲-۵-۱ توصیف شد الزامی است. اتلاف‌های گرمایی لبه میان نمونه‌ها مشابه اتلاف‌های گرمایی دستگاه صفحه داغ محفوظ به هنگامی است که دمای پیرامون همان دمای واحدهای سرکن و گرمکن می‌باشد.

۹-۲-۵-۲-۱ پیکربندی تک نمونه‌ای متقارن در مقایسه با دیگر پیکربندی‌ها، نسبت به شرایط لبه حساسیت کمتری دارد اگر که میانگین نتیجه خوانی‌های هر دو فلومتر به عنوان سرعت جریان گرمای سنجیده شده از میان نمونه در نظر گرفته شود. علاوه بر آن، این نوع پیکربندی ارزیابی در مورد اتلاف‌های گرمایی لبه را آسان‌تر خواهد ساخت مشروط بر اینکه هر دو فلومتر گرمایی آن مشابه بوده و یکنواختی دمایی در سطوح عملکردی وجود داشته باشد.

#### ۹-۲-۵-۳ ارزیابی اتلاف‌های گرمایی لبه

برای همه انواع پیکربندی‌های توصیف شده در ۹-۲-۵-۲ تا ۹-۲-۵-۳، میزان حساسیت به اتلاف‌های گرمایی لبه ارتباط نزدیکی با حساسیت فلومتر گرمایی و با اختلافات دمایی در امتداد سطوح اصلی فلومتر دارد؛ از این رو تنها بررسی‌های آزمایشی و همزمان تغییر شرایط محیط می‌تواند بزرگی تاثیر اتلاف‌های گرمایی لبه بر سرعت جریان اندازه‌گیری شده را برای هر کدام از شرایط عملکردی تایید کند. در چنین شرایطی، خطاهای مربوط به اتلاف‌های گرمایی لبه باید کوچکتر از ۰٫۵ درصد باشند. یک دستورالعمل قطعی برای بدست آوردن خطاهای اتلاف گرمایی کوچکتر، این است که اتلاف سرعت جریان گرما از طریق لبه‌ها زیر ۲۰ درصد سرعت جریان گرما از طریق نمونه‌ها حفظ شود.

#### ۹-۳-۱ دستورالعمل‌های لازم برای طراحی دستگاه

##### ۹-۳-۱-۱ سطح عملکرد مورد نیاز

طراحی یک دستگاه فلومتر گرمایی باید به اطلاعات اولیه از پارامترهای زیر مبتنی باشد:

- ضخامت بیشینه و کمینه نمونه‌ای که قرار است در دستگاه آزمون شود؛

- مقاومت گرمایی کمینه و بیشینه نمونه؛

- اختلاف دمایی کمینه و بیشینه در سرتاسر نمونه؛

- حداقل دمای واحد سردکن؛

- حداکثر دمای واحد گرمکن؛

- میزان دقت و تکرارپذیری کلی دستگاه به عنوان بیشینه خطای قابل قبول در ویژگی مورد اندازه‌گیری

در بدترین شرایط تعریف شده؛

-محیط پیرامون؛

-نوع دستگاه فلومتر گرمایی؛ ضریب حساسیت فلومتر گرمایی

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta q} , \text{ به میلی ولت در هر وات مترمربع}$$

### ۹-۳-۲ انتخاب آزمایشی ابعاد دستگاه

در نخستین آزمون، وجه جانبی،  $L_m$ ، ناحیه اندازه گیری فلومتر گرمایی را چهار برابر ضخامت بیشینه نمونه و وجه جانبی بیرونی،  $L$ ، را هشت برابر ضخامت بیشینه نمونه فرض کنید.

### ۹-۳-۳ واحدهای گرمکن و سردکن

بیشینه سرعت جریان گرمایی را که از نمونه عبور می کند، وقتی که مقاومت گرمایی مینیمم و اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه ماکزیمم است محاسبه کنید. سرعت (میزان) جریان گرما را به موجب اتلاف های گرمایی لبه و جریان گرمای تبادل شده از واحدها به سمت بیرون اضافه تر در نظر بگیرید. سامانه های گرمکن و سردکن، ضخامت های صفحه فلزی سطوح عملکردی و میزان جریان جرمی سیال سردکن را تعیین کنید تا به یکنواختی دمایی ذکر شده در ۹-۳-۱-۲-۲ برسید.

### ۹-۳-۴ فلومتر گرما

طراحی باید به نحوی باشد که دمایی یکنواخت در سطح HFM نزدیک نمونه ایجاد شود به طوری که اتلاف گرمایی بیشتر از لبه که با نمونه های ضخیم مرتبط است، دماهای پایین تری در سطح لبه HFM ایجاد نکرده و بنابراین از انحراف مازاد خطوط جریان گرما جلوگیری می کند. همچنین طراحی نباید به نحوی باشد که یک جریان گرمای جانبی در هسته HFM بوجود آورد. چنانچه این جریان گرمای جانبی در هسته رخ داد، خروجی ترموپیل با سرعت جریان گرما در نمونه متناسب نخواهد شد.

### ۹-۳-۵ طراحی دقیق

ارقام مناسب برای اندازه و ابعاد دستگاه باید نخست از پارامترهای زیر تعیین شوند:  
تولرانس های سطح را مطابق با ضخامت کمینه نمونه تعیین کنید ؛  
-روکشی با قابلیت انتشار ۰٫۸ یا بیشتر برای سطح انتخاب کنید ( در دمای اتاق، سطوح فلزی اکسیده شده و بسیاری از رنگ ها بدین منظور مناسب است)؛  
-همه جزئیات دستگاه همچون مکان و نصب المنت حسگر دما، مکان هیتر، سیم کشی، اتصالات مکانیکی، ابزار اندازه گیری ضخامت و غیره را مشخص کنید؛  
-سامانه های کنترل خودکار دما را مطابق با حداقل انحرافات و نوسانات دمایی قابل قبول برای دستگاه انتخاب نمایید؛



-یک سامانه کاندیشنر(شرایط ساز) مطابق با محیط پیرامونی مورد نیاز و مطابق با نیازهای مربوط به پایداری و انحرافات، برای حفظ خطاهای اتلاف گرمایی لبه در محدوده ارقام مشخص شده انتخاب کنید؛  
نوع فلومتر گرمایی و ویژگی‌های آن را تعیین کنید.

#### ۴-۹ واسنجی

تنظیم یا واسنجی دستگاه جریان سنج گرما یک عملیات بسیار مهم است. از آنجا که اتلاف‌های گرمایی جانبی یا بازده‌های گرمایی به طور خودکار کنترل نمی‌شوند بلکه تنها از طریق اندازه ناحیه محفوظ و عایق بندی لبه‌ها می‌توان مانع از آنها شد، هیچ تضمینی نیست که اتلاف‌ها یا بازده‌های گرمایی تحت همه شرایط آزمون به حداقل برسند. برای اطمینان یافتن از اینکه دستگاه با نمونه‌هایی که دارای مقاومت‌های گرمایی مختلف هستند به خوبی کار می‌کند، باید آن را با موادی که دارای ویژگی‌های انتقال گرمایی مشابهی هستند تنظیم کرد؛ این مواد مرجع باید از طریق یک روش آزمون مطلق همچون صفحه داغ محفوظ ارزیابی شوند.

#### ۱-۴-۹ کلیات

تنظیم دستگاه فلومتر گرمایی باید با استفاده از یک جفت نمونه که تا حد ممکن مشابه یکدیگراند و با دستگاه صفحه داغ محفوظ آزمون شده اند صورت گیرد. برای آشنایی صحیح با روش واسنجی، لازم است زمینه‌ای تئوری ایجاد کرده و نخست سنجش‌ها بر روی دو نمونه در دستگاه صفحه داغ محفوظ و سپس سنجش‌ها بر روی همان نمونه‌ها در دستگاه فلومتر گرمایی را مورد تحلیل و بررسی قرار داد. برای دستگاه صفحه داغ تک نمونه‌ای نیز می‌توان محاسبات مشابهی انجام داد. فرض بر این است که نمونه‌های مرجع همگن بوده و ویژگی‌های انتقال گرمایی پایای آنها مستقل از ضخامت و درجات دمایی خواهد بود به طوری که رجوع به رسانندگی گرمایی یا انتقال‌پذیری گرمایی این نمونه‌ها صحیح خواهد بود.

از شاخص (') برای نشان دادن ویژگی‌های نمونه اول و از شاخص (") برای نشان دادن ویژگی‌های نمونه دوم استفاده می‌شود. برای هر یک از نمونه‌های آزمون شده در دستگاه صفحه داغ محفوظ، ضخامت  $d'$  یا  $d''$ ، رسانندگی گرمایی  $\lambda'$  یا  $\lambda''$ ، دمای طرف داغ  $T_1'$  یا  $T_1''$ ، دمای طرف سرد  $T_2'$  یا  $T_2''$  در نظر گرفته می‌شوند. متوسط ضخامت  $d_m = 0.5(d' + d'')$  و اختلاف دمایی  $\delta d = 0.5(d' - d'')$  طوری تعریف می‌شوند که  $d' = d_m + \delta d$  و  $d'' = d_m - \delta d$

به همین شکل، دماهای متوسط و اختلافات دمایی زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} T_m' &= \frac{T_1' + T_2'}{2} & \Delta T' &= T_1' - T_2' \\ T_m'' &= \frac{T_1'' + T_2''}{2} & \Delta T'' &= T_1'' - T_2'' \\ T_m' &= \frac{T_m' + T_m''}{2} & \delta T_m &= \frac{T_m' - T_m''}{2} \\ \Delta T &= \frac{\Delta T' + \Delta T''}{2} & \delta T &= \frac{\Delta T' - \Delta T''}{2} \end{aligned}$$

$$\delta = \delta T_m + \frac{\delta T}{2}$$

$$\delta = \delta T_m - \frac{\delta T}{2}$$

به طوری که

$$T'_1 = T_m + \frac{\Delta T}{2} + \delta_+$$

$$T'_2 = T_m - \frac{\Delta T}{2} + \delta_-$$

$$T''_1 = T_m + \frac{\Delta T}{2} - \delta_+$$

$$T''_2 = T_m - \frac{\Delta T}{2} - \delta_-$$

چنانچه در بند ۴ تعریف شد،

$T_m$  متوسط دما،

$\Delta T$  متوسط اختلاف دما و  $\delta_+$  و  $\delta_-$  مشتقات هر نمونه از متوسط دما  $T_m$  و متوسط اختلاف دما  $\Delta T$  را نشان می‌دهند. در یک دستگاه صفحه داغ مطلوب باید  $\delta_+ = \delta_- = 0$  باشد.

فرض کنید در دمای متوسط  $T_m$ ، هر دو نمونه دارای رسانندگی‌های گرمایی  $\lambda'_m = \lambda_m + \delta\lambda$  و  $\lambda''_m = \lambda_m - \delta\lambda$  بوده و اینکه مشتقات دمای  $\lambda(T)$  و  $\dot{\lambda}(T)$  در  $T_m$  برای هر دو نمونه یکسان بوده (مشتقات مرتبه بالاتر نادیده گرفته شده‌اند) و در همان دمای متوسط  $T_m$  شناخته شده اند؛ با حذف محصولات  $\delta T$  و  $\delta T_m$ ، توان‌های آنها، یک مجموعه تعمیم برای محاسبه تراکم‌های سرعت جریان گرما  $q$  و  $q'$  از میان هر دو نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از مقدار متوسط  $q = 0.5(q' + q'')$ ، رسانندگی گرمایی متوسط  $\lambda_m$  در دستگاه صفحه داغ محفوظ به طریق زیر بدست می‌آید:

$$\lambda_m = q \frac{d_m}{\Delta T}$$

و ممکن است وقتی که نسبت  $\lambda_m / \lambda(T)$  به مراتب بزرگتر از اختلاف دمای واحد است و  $\Delta T$  به  $20\text{K}$  تا  $40\text{K}$  محدود می‌باشد به صورت زیر نوشته شود:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_m}{1 - \left(\frac{\delta d}{d_m}\right)^2} \left[ 1 - \frac{\delta\lambda}{\lambda_m} \left( \frac{\delta d}{d_m} - \frac{2\delta d}{\Delta T} \right) - \frac{\delta d}{d_m} \times \frac{2\delta T}{\Delta T} + \frac{\lambda''(T)}{3\lambda_m} \left( \frac{\Delta T}{2} \right)^2 \right] \quad \text{رابطه ۱}$$

اگر  $\delta d = 0$

$$\lambda_m = \lambda_m \left[ 1 + \frac{2\delta T}{\Delta T} \times \frac{\delta\lambda}{\lambda_m} + \frac{\lambda''(T)}{3\lambda_m} \left( \frac{\Delta T}{2} \right)^2 \right] \quad \text{رابطه ۲}$$

برای واسنجی، در صورتی که  $\delta\lambda/\lambda_m$  نامعلوم باشد مقدار آن ۰٫۰۲ فرض می شود و  $\lambda_m$  باید تا کمتر از ۰٫۲ درصد با  $\lambda_m$  تغییر پیدا کند.

#### ۹-۴-۲ ترکیب بندی تک نمونه‌ای نامتقارن

ابتدا نمونه اول در دستگاه HFM نصب شده و  $T_1'$ ،  $T_2'$  و  $e'$  اندازه گیری می شوند. سپس نمونه دوم در دستگاه قرار گرفته و  $T_1''$  و  $T_2''$  مورد سنجش قرار می گیرند،  $e'$  و  $e''$  خروجی دستگاه HFM هستند. همچنین مقدار  $d'$  و  $d''$  نیز باید مشخص شود. تعاریف  $T_m'$ ،  $T_m''$ ،  $\Delta T'$ ،  $\Delta T''$  و  $\delta T_m$  به صورت بالا می باشند به طوری که:

$$\begin{aligned} T_1' &= T_m + \delta T_m + \frac{\Delta T'}{2} & T_2' &= T_m + \delta T_m - \frac{\Delta T'}{2} \\ T_1'' &= T_m - \delta T_m + \frac{\Delta T''}{2} & T_2'' &= T_m - \delta T_m - \frac{\Delta T''}{2} \end{aligned}$$

که در آن

$T_m$  دمای متوسط هردو آزمون؛

$\Delta T'$ ،  $\Delta T''$  اختلافات دما در هر دو آزمون؛

و  $\delta T_m$  اختلاف میان دمای متوسط در هر نمونه و  $T_m$  می باشد.

چنانچه هردو آزمون در شرایط ایده آل انجام شده باشند،  $\delta T_m = 0$  و  $\Delta T' = \Delta T''$  خواهد بود. اگر

$$\Lambda' = \frac{\lambda_m}{d'}$$

$$\Lambda'' = \frac{\lambda_m}{d''}$$

$$\lambda_m' = \lambda_m + \delta\lambda$$

$$\lambda_m'' = \lambda_m - \delta\lambda$$

دوباره با استفاده از عبارات نخست از یک بسط سری توان دار برای تراکم سرعت جریان  $q' = e'f$  در آزمون نخست و  $q'' = e''f$  در آزمون دوم، می توان ضریب واسنجی  $f$  را با محاسبه  $q = 0.5(q' + q'')$  بدست آورد به طوری که عبارت زیر حاصل شود:

$$f = \frac{2}{\frac{e'}{\Lambda'\Delta T'} + \frac{e''}{\Lambda''\Delta T''}} \times \left[ 1 + \frac{2\lambda''(T)}{3\lambda_m} (\Delta T'^2 + \Delta T''^2) \right] \quad \text{رابطه ۳}$$

شایان ذکر است که  $\Lambda'$  و  $\Lambda''$  رسانندگی‌های گرمایی واقعی دو نمونه که معمولاً نامعلوم هستند، نمی‌باشند بلکه از طریق  $d'$ ،  $d''$  و  $\lambda_m$  تعریف می‌شوند. واسنجی باید طوری صورت گیرد که عبارت قرار گرفته درون کروشه  $[\ ]$  از ۱ تا کمتر از ۰٫۲ درصد تغییر کند.

#### ۳-۴-۹ ترکیب‌بندی تک نمونه‌ای متقارن

تنظیم و واسنجی هر دستگاه HFM دقیقاً مشابه واسنجی HFM در حالت پیکربندی تک نمونه‌ای نامتقارن است و معادلات آن مشابه معادله ۲.۳ می‌باشد که در هر مورد  $e'$ ،  $e''$ ،  $f$  به فلومتر گرمایی که متوسط دمای خود را دارد مربوط می‌باشند.

#### ۴-۴-۹ ترکیب‌بندی دو نمونه‌ای متقارن

بازهم معادله ۳ برای ترکیب‌بندی تک نمونه‌ای نامتقارن در اینجا نیز به کار گرفته می‌شود، مشروط بر این-که  $e'$  و  $e''$  هر دو توسط خروجی  $e$  فلومتری که باید تنظیم شود جایگزین گردند.

#### ۵-۴-۹ منحنی واسنجی

اغلب فلومترهای گرمایی نسبت به متوسط دما حساس بوده و ضریب واسنجی آنها با تغییر متوسط دمای  $T_m$  تغییر خواهد کرد. بنابراین اندازه‌گیری‌های فوق باید در متوسط‌های دمایی مختلف تکرار شوند تا طیف دمایی دستگاه جریان سنج گرما را پوشش دهند. بدین منظور باید یک منحنی و یا یک معادله واسنجی ایجاد کرد (ضریب واسنجی در برابر دمای متوسط دستگاه فلومتر گرما).

نمونه را می‌توان میان صفحه داغ و فلومتر قرار داد اگر که هدف تعیین ویژگی‌های انتقال گرمایی در دماهای بالاتر از محدوده دمای ایمن برای فلومتر باشد.

واسنجی را باید حداقل با دو نمونه و در حالت مطلوب با سه نمونه که مقاومت‌های گرمایی آنها تفاوت بسیاری با یکدیگر دارد انجام داد تا خطی بودن واکنش  $e.m.f$  (فلومترها) در برابر  $q$  بررسی شود. چنانچه منحنی  $q=F(e)$  خطی نباشد،  $f$  با  $q$  تغییر پیدا خواهد کرد و این موضوع پس از بررسی پاسخ‌های احتمالی برای چنین غیر خطی بودن (برای مثال اتلاف‌های زیاد گرمایی از لبه) مد نظر قرار خواهد گرفت.

یک بررسی مقدماتی در مورد حساسیت و خطی بودن HFM ای که باید در دستگاه HFM نصب شود را می‌توان در دستگاه صفحه داغ محفوظ (ترجیحاً یک دستگاه تک نمونه‌ای) که HFM را در میان نمونه-های مرجع قرار می‌دهد انجام داد.

#### ۵-۹ بررسی سطح عملکرد

#### ۱-۵-۹ هندسه دستگاه

صافی و همواری سطوح عملکردی را می توان با نگاه داشتن یک خط کش (شمشه) فلزی در مقابل هر سطح به طوری که طول خط کش بیشتر از عرض یا قطر صفحات باشد، بررسی کرد. انحرافات به کوچکی ۲۵ میکرون به سرعت قابل مشاهده است اما انحرافات بزرگتر را باید با استفاده از لایه یا یک کاغذ نازک اندازه گیری کرد.

#### ۹-۵-۲ محاسبه مدار حرکت

در جایی که تجهیزات بازخوانی مستقیم فراهم است، باید برای واسنجی مدارات الکتریکی آنالوگ جدای از مابقی دستگاه مقرراتی وضع کرد. منابع ولتاژ مجزا با خروجی تنظیم شده یا مشابه آنها باید جایگزین ترموپیل، سنسورهای دمایی و مبدل ضخامت شوند، البته در مورد مبدل ضخامت تنها در جایی که دارای خروجی فعال است این موضوع صدق می کند. از سویچ های با کیفیت و یا مشابه آنها باید برای سویچ کردن این اجزا به داخل مدار استفاده کرد. برای بررسی واسنجی، در مدارآزمون باید ایجاد کرد؛ یک مدار باید واسنجی در ۰ درصد تا ۱۰ درصد طیف و مداردیگر باید بین ۹۰ درصد و ۱۰۰ درصد طیف را ارزیابی کند. دستگاه بازخوان مستقیم باید بلافاصله قبل و بعد از آزمون بررسی شود. نتایج باید طبق آنچه در بند ۱۰ توضیح داده شده گزارش شوند.

#### ۹-۵-۳ فلومتر گرما

#### ۹-۵-۳-۱ آزمون مقدماتی

هر فلومتر گرمایی جدید و یا اصلاح شده باید به لحاظ ویژگی های زیر مورد بررسی قرار گیرد:

#### ۹-۵-۳-۱-۱ انحراف صفر

چنانچه یک خروجی غیر صفر از ترموپیل برای فلومتر صفر وجود داشته باشد علت آن: الف) اتصالات الکتریکی نادرست ترموپیل حسگر با خروجی پایین است: اتصالات را بهبود ببخشید تا این مشکل برطرف شود چرا که این نوع انحراف نسبت به دما حساس می باشد؛ ب) حساسیت به دمای غیر یکنواخت صفحه گرم یا سرد می باشد: نایکنواختی دما را بررسی کنید؛ در طول همه شرایط عملکردی، نایکنواختی دما باید در حیطه حدود ارائه شده در این استاندارد باشد. در هر دو حالت انجام هیچ اصلاحاتی مجاز نیست.

#### ۹-۵-۳-۲ انحراف در فلومتر گرما

این انحراف ممکن است به موجب کهنگی یا تورق (لایه لایه شدن) ماده بوجود آید.

#### ۹-۵-۳-۳ ضریب حرارتی واسنجی

این ضریب به نوع نشانگرهای دمایی به کار رفته در نشانگر اختلاف دما (مواد ترموکوپل به کار رفته در ترموپیل) و نوع ماده به کار رفته برای صفحه اندازه گیری بستگی دارد.

۹-۵-۳-۱-۴ جریان گرما ممکن است سیم های هادی را از کار بیاندازد.

۹-۵-۳-۱-۵ تاثیر رسانندگی گرمایی نمونه بر ضریب کالیبراسیون (طیف خطی فلومتر گرما)

یک "اتصال حرارتی" میان المنت ها که در نتیجه مقاومت پایین میان سیم پیچ های ترموپیل و باریک شدن (قیف شدن) جریان گرما از میان سیم پیچ ها رخ می دهد، می تواند ضریب کالیبراسیون فلومتر گرما را تغییر دهد.

۹-۵-۳-۱-۶ تاثیر فشار بارگذاری بر ضریب کالیبراسیون

۹-۵-۳-۱-۷ خروجی غیرخطی از نشانگر اختلاف دما

احتمال وقوع این انحراف نیز وجود دارد.

۹-۵-۳-۲ اصلاحات

در همه موارد، اصلاحات باید زمانی صورت گیرند که تغییری بزرگتر از ۱ درصد در طیف عملیات رخ می دهد؛ برای تغییرات ۰٫۳ درصد از طیف عملکردی توصیه می شود اصلاحات صورت گیرند.

۹-۵-۴ انحراف واسنجی

هنگامی که یک دستگاه جریان سنج گرمایی جدید ساخته می شود، واسنجی آن باید حداقل هفته ای یکبار بازرسی شود. در صورتی که تعداد بازرسی ها رضایت بخش و مطلوب باشد، می توان فواصل انجام بررسی واسنجی را طولانی تر کرد.

یک رکورد مداوم واسنجی از آزمون های واسنجی نمونه استاندارد داشته باشید. این رکورد همچنین تکرارپذیر و قابلیت تولید مجدد دستگاه فلومتر گرما را به عنوان تابعی از زمان به شما نشان می دهد. چنانچه نتایج نشان دهنده اختلافی بیش از ۱ درصد در سنجش های مقاومت گرمایی نمونه های استاندارد باشند، کنترلرهای دستگاه (دمای واحدها و غیره) را بازرسی کنید. در صورت لزوم، یک معادله یا منحنی واسنجی جدید ایجاد کنید. احتمال این که شکل منحنی تغییر کند وجود ندارد؛ بلکه منحنی ممکن است به یک موقعیت جدید تغییر مکان پیدا کند.

هنگامی که از این دستگاه برای کنترل کیفی روزانه یک نوع خاص از محصولات عایق کاری در یک دمای متوسط ثابت استفاده می شود، با افزودن یک بازرسی کنترلی روزانه از واسنجی با نمونه های استاندارد ثانویه که از همان محصول برگرفته شده اند، می توان مطمئن ترین داده ها را بدست آورد.

در همه موارد، هر گونه انحراف متداوم و پیش رونده از واسنجی را باید به دقت مورد بررسی قرار داده و اقدامات لازم را برای شناسایی منشا این انحراف و حل مشکل انجام داد.

## ۹-۵-۵ بررسی کلی عملکرد

نتایج آزمون بدست آمده از این روش تنها در صورتی تضمین می‌شوند که محدودیت‌های دستگاه شناخته شوند. برای ایجاد حدود، عملکرد دستگاه بایداز طریق مقایسه کردن نتایج بدست آمده از موادی با ویژگی- های انتقال گرمایی مشابه با نتایجی که باید ارزیابی شوند، تایید گردد.

۹-۵-۵-۱ یک نقطه مبنا ممکن است منجر به ایجاد خطاهای جدی شود. بهترین حالت انتخاب طیفی از مواد با ویژگی‌های انتقال گرمایی است که طیف ارقام مورد آزمون را پوشش می‌دهند.

۹-۵-۵-۲ هنگامی که دستگاه باید با نمونه‌هایی با ضخامت بیشتر از ماده مرجع مورد استفاده قرار گیرد، مجموعه‌ای از سنجش‌ها باید انجام گیرند تا اطمینان حاصل شود که دستگاه باعث خطاهای دیگری که ممکن است ناشی از اتلاف‌ها یا بازده‌های گرمایی باشند نمی‌گردد. یک فن ساده، قرار دادن یک جدار کدر تابان میان لایه‌های عایق است که هر کدام با فن مقدماتی مرجع آزمون شده‌اند. چنانچه هیچ‌گونه خطایی تشخیص داده نشد و یا هیچ تابش مادون قرمزی باز تاب نگردید، میانگین مقاومت گرمایی سنجیده شده باید برابر با میانگین مقاومت گرمایی بدست آمده برای نمونه عایق باشد.

## ۱۰ روش‌های آزمون

### ۱-۱۰ کلیات

سنجش ویژگی‌های انتقال گرمایی یک نمونه با رسانندگی گرمایی پایین از یک ماده عایق حرارتی را می‌توان مطابق با مجموعه‌ای از مشخصات ارائه شده در بندهای ۸ و ۹ انجام داد. فرض بر این است که اپراتور نسبت به همه اصول اولیه ذکر شده در مورد انتقال گرما و اصول اولیه طراحی و راه اندازی دستگاه فلومتر گرما آگاهی و آشنایی کامل دارد. همچنین فرض می‌شود که اپراتور می‌تواند برای فردی که یک نمونه خاص را برای آزمون تحویل می‌دهد و یا نیازمند دریافت اطلاعات خاصی در مورد ویژگی‌های انتقال گرمایی یک ماده، محصول یا سیستم است، اثرات نمونه ماده مورد نظر را برآزمون‌های سنجشی کاملاً توضیح داده و اطلاعات کافی در اختیار فرد می‌گذارد.

بنابراین پیش از انجام هرگونه اندازه‌گیری باید تصمیماتی در رابطه بایک ویژگی خاص مطلوب و یا موردنیاز در نتیجه هر گونه سنجش مستقیم (برای مثال رسانندگی گرمایی یا مقاومت گرمایی) و یادر رابطه با هر گونه پیوستگی مطلوب یا مورد نیاز در میان ویژگی‌های سنجیده شده (برای مثال رسانندگی گرمایی به عنوان تابعی از دما یا رسانندگی گرمایی به عنوان تابعی از تراکم در یک دمای داده شده)، اتخاذ نمود. به طور خاص، این تصمیمات تحت تاثیر موارد زیر قرار خواهند داشت:

الف) اندازه و شکل دستگاه موجود یا مورد نیاز، یک دستگاه خاص در یک اندازه ممکن است برای انجام سنجش‌ها بر روی همه نمونه‌هایی با ضخامت‌های مختلف کافی نباشد تا بتواند سنجش همه ویژگی‌های انتقال گرمایی مورد نیاز را به طور مستقیم و یا با تعمیم دهی سنجش‌های صورت گرفته بر روی ضخامت‌های مختلف تا کران بیشینه را ممکن سازد. به همین شکل، هم طیف دما و هم شرایط محیطی موجود یا مورد نیاز نیز ممکن است برای بدست آوردن اطلاعات موردنیاز به صورت مستقیم و یا از طریق تعمیم دهی سنجش‌ها به طیف‌های قابل دسترس دستگاه، کافی نباشند.

ب) اندازه، تعداد و شکل نمونه‌های فراهم شده و یا موردنیاز، این مولفه به لازمه‌های نهایی یک نمونه خاص یا یک ماده بستگی خواهد داشت. چنانچه ماده، محصول و یا سیستم دارای ماهیت غیرایزوتوپی بالا باشد، این که آیا می‌توان ویژگی‌های انتقال گرمایی آن را با دستگاه فلومتر گرما سنجید یا خیر موضوعی است که از همان ابتدا باید آنرا مشخص نمود.

ج) نیاز یا مطلوب بودن ورقه‌های نازک با مقاومت گرمایی پایین که میان نمونه و دستگاه قرار می‌گیرند، و نیاز یا مطلوب بودن تجهیز نمودن نمونه با سنسورهای سنجش دما یا ترموکوپل‌ها. هدف از این فنون انجام سنجش‌های صحیحی از اختلاف دما در سرتاسر نمونه‌ای با مقاومت گرمایی پایین و/یا نمونه‌ای از یک ماده سخت با حذف اثر احتمالی مقاومت‌های تماسی است.

د) نیاز یا مطلوبیت قرار دادن نمونه در محفظه‌هایی که مانع از دخول بخار آب می‌شوند. هدف از این فن، هم جلوگیری از جذب رطوبت پس از خشک شدن نمونه و هم جلوگیری از تغییر میزان رطوبت نمونه پس از تعیین شرایط است.

ه) نیاز به تعیین کردن ضخامت نمونه یا تحمیل فشار برنمونه.

اپراتور همچنین باید نسبت به تفاوت میان سنجشی که هدف آن تعیین یکی از ویژگی‌های انتقال گرمایی پایا طبق بند ۸ است و سنجشی که برای تعیین مشخصات یک ماده مورد نیاز است، آگاه باشد. سنجشی که برای تعیین مشخصات یک ماده صورت می‌گیرد ممکن است در نمونه‌برداری نمونه‌هایی که با همه الزامات ذکر شده در این استاندارد مطابق نیستند نیز مورد نیاز واقع شود. از جمله این نمونه‌ها، نمونه‌هایی هستند که به اندازه کافی تخت نبوده و تماس خوبی با دستگاه ایجاد نمی‌کنند و یا نمونه‌هایی که موازی نیستند طبق بند ۱۰-۲-۲ و یا ضخامتی بیش از ضخامت موردنیاز دارند. از این رو نتایج عددی آزمون‌های مربوط به این نمونه‌ها باید به عنوان ابزارهایی متعارف برای پذیرش یا رد یک ماده خاص در نظر گرفته شوند، نه الزاما به عنوان یک ویژگی انتقال گرمایی معنی دار از ماده.

#### ۱۰-۲-۲ آزمون‌ها

##### ۱۰-۲-۱ انتخاب و اندازه

مطابق با نوع دستگاه، باید از یک یا دو نمونه استفاده کرد. وقتی که دستگاه دو نمونه‌ای مورد نیاز است، این نمونه‌ها باید تاحد ممکن مشابه یکدیگر بوده و اختلاف ضخامت آنها کمتر از ۲ درصد باشد. اندازه نمونه(ها) باید به گونه‌ای باشد که کل فضای سطوح عملکردی واحدهای سردکن و گرمکن و فلومتر(ها)ی گرما را پوشش دهد. همچنین نمونه‌ها باید شرایط و الزامات کلی ذکر شده در بند ۸-۷ و ۸-۸ را دارا باشند. ضخامت نمونه(ها)ی موردآزمون باید طبق ۸-۷-۲ محدود گردد.

##### ۱۰-۲-۲ آماده سازی و تعیین شرایط

##### ۱۰-۲-۲-۱ کلیات

آماده سازی و فراهم ساختن شرایط لازم برای نمونه‌ها باید مطابق با خصوصیات خاص ماده صورت گیرد. دستورالعمل‌های زیر برای هنگامی ارائه شده‌اند که هیچ خصوصیت و ویژگی از ماده در دسترس نیست.



#### ۱۰-۲-۲-۲-۱۰ دستورالعمل‌های عمومی برای همه مواد (به استثنای عایق‌های سست)

##### ۱۰-۲-۲-۲-۱۰ آماده سازی

سطوح نمونه‌های موردآزمون باید به کمک روش‌های مناسب (غالباً سمباده زنی و تراشکاری) کاملاً صاف شوند، به طوری که ارتباط کاملی میان نمونه‌ها و سطوح عملکردی دستگاه ایجاد شود. برای مواد سخت، وجوه نمونه‌ها باید به تختی و مسطحی سطوح عملکردی در تماس با آنها درآمده و نیز باید نسبت به کل ناحیه سطح تا ۲ درصد از ضخامت ماده به صورت موازی قرار بگیرند.

وقتی که نمونه از یک ماده سخت گرفته شده و/یا دارای مقاومت گرمایی پایینی تر از  $0.1 m^2 k/w$  است، باید یا از ورق‌های نازک و یا از حسگرهای دمایی که بر روی نمونه نصب می‌شوند برای تعیین اختلافات دمایی در سرتاسر نمونه استفاده کرد-طبق توضیح بند ۹-۲-۳-۱-۲.

مقاومت گرمایی ورق‌های نازک نصب شده در هنگام استفاده نباید بیشتر از یک دهم مقاومت گرمایی نمونه باشد. مقاومت گرمایی ساندویچ ترکیبی (متشکل از ورق/نمونه سخت/ورق) را می‌توان با استفاده از افت دمایی که ترموکوپل‌های دائمی در سطوح عملکردی سرد و گرم نشان می‌دهند تعیین نمود. تعداد ترموکوپل‌هایی که به طور یکنواخت بر روی هر طرف از نمونه در ناحیه‌ای پیوسته با ناحیه اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نباید کمتر از  $10\sqrt{A}$  یا ۲ باشد،  $A$  مساحت یکی از جوانب ناحیه اندازه‌گیری به متر مربع است. چنانچه از ترموکوپل‌های جداگانه استفاده می‌شود، ضخامت موثر نمونه باید به عنوان میانگین فاصله، عمود بر وجوه نمونه میان نقاط مرکزی ترموکوپل بر روی هر دو طرف در نظر گرفته شود.

##### ۱۰-۲-۲-۲-۱۰ آماده سازی شرایط

پس از تعیین جرم نمونه(ها)، باید جرم آنها را در یک خشک کن یا محفظه‌ای با امکان ورود و خروج هوا در یک دمای مناسب برای ماده یا در دمایی که در شرح خصوصیات ماده مشخص شده، ثابت کرد. موادی که به گرما حساس اند نباید در معرض دمایی قرار بگیرند که باعث تغییر غیرمعمول نمونه‌های آنها شود. در جایی که باید نمونه‌ها در یک طیف دمایی داده شده مورد استفاده واقع شوند، باید در معرض جرم ثابت در کران بالایی این طیف و در یک محیط تحت کنترل و غیر ساکن قرار بگیرند. در صورت استفاده از یک جاذب یا جاذب سطحی میتوان سیستم را به صورت بسته مورد استفاده قرار داد. برای مثال، خشک کن آب‌بندی شده

در  $330K$  تا  $335K$  که هوا در آن جریان دارد تا شرایط لازم برای پلاستیک‌های فومی را فراهم آورد.

اتلاف نسبی جرم از جرمی که قبل و بعد از خشک شدن تعیین شده محاسبه می‌شود. وقتی که زمان لازم برای انجام سنجش‌های مربوط به ویژگی‌های انتقال گرمایی نمونه در مقایسه با زمان موردنیاز نمونه برای جذب مقادیر قابل توجهی رطوبت از هوای آزمایشگاه (برای مثال نمونه‌های بتنی) کوتاه‌تر است، پیشنهاد می‌شود که نمونه‌ها پس از اتمام خشک شدن سریعاً در دستگاه گذاشته شوند تا از جذب رطوبت اضافی در آنها جلوگیری شود. در شرایط برعکس (برای مثال وقتی نمونه‌های موردآزموناز مواد فیبری با تراکم پایین

یا از فوم‌های پلاستیکی انتخاب می‌شوند) توصیه می‌شود که نمونه در فضای اتاق و در شرایط استاندارد

آزمایشگاه دما  $(\pm 1) 296 k$ ؛ رطوبت نسبی  $(\pm 1) 50$  درصد باقی بماند تا با هوای اتاق به موازنه (جرم ثابت)

برسد. در شرایط میانه (برای مثال در مورد نمونه‌هایی از مواد فیبری با تراکم بالا) روش آماده سازی شرایط لازم برای نمونه‌ها به تجربه اپراتور بستگی خواهد داشت. پس از فراهم کردن شرایط لازم برای بدست آوردن جرم ثابت، باید نمونه(ها) را سرد کرده و در یک خشک-کن درزگیری شده یا یک کیسه پلی اتیلنی بدون قابلیت نفوذ هوا نگهداری کرد. سپس نمونه‌ها باید برداشته شده، وزن شوند و بلافاصله پیش از انجام آزمون، در دستگاه نصب گردند. به منظور کاهش زمان آزمون، نمونه‌ها را می‌توان درست پیش از قرارگیری در دستگاه، در معرض یک دمای متوسط مناسب قرار داد. برای جلوگیری از حرکت رطوبت از نمونه در طول آزمون، خود نمونه را می‌توان در یک محفظه مانع دخول بخارنگهداری کرد. چنانچه حضور محفظه موجب ایجاد مقاومت گرمایی قابل توجهی میان نمونه و دستگاه می‌شود، طبق بند ۹-۲-۳-۱-۲ در مورد استفاده از ورق‌های نازک برای آزمون نمونه‌های سخت، باید محفظه را نیز با چنین ورق‌هایی پوشاند.

#### ۱۰-۲-۲-۳ دستورالعمل‌هایی برای مواد عایق سست

به هنگام آزمون کردن مواد سست، توصیه می‌شود که ضخامت نمونه حداقل ۱۰ برابر و در جای ممکن ۲۰ برابر ابعاد متوسط دانه‌ها، مهره‌ها، پولک‌ها و... از مواد سست باشد. سخت‌ترین شرایط زمانی رخ می‌دهد که دانه‌ها، مهره‌ها و... سخت و سفت باشند. در این صورت باید دیگر روش‌های آزمون، همچون جعبه داغ محفوظ را مد نظر قرار داد. برای آماده سازی نمونه(ها)، توصیه می‌شود که یک بخش به نمایندگی از کل ماده که اندازه آن اندکی بزرگتر از اندازه مورد نیاز برای آزمون باشد، از ماده جدا شده و قبل و بعد از ایجاد شرایط لازم برای دست یابی به جرم ثابت، وزن شود.

با محاسبه این دو جرم می‌توان درصد اتلاف جرم را به راحتی بدست آورد. مقداری از ماده‌ای که شرایط لازم برای آن فراهم شده وزن می‌شود به طوری که این مقدار برای تهیه یک یا دو نمونه با تراکم آزمون مطلوب کافی باشد، چنانچه در بخش خصوصیات ماده ذکر شده و یا در صورت عدم دسترسی به خصوصیات ماده، باید از روش الف و ب استفاده کرد.

همانطور که حجم نهایی ماده مشخص است، می‌توان جرم موردنیاز را نیز تعیین نمود. پس از تعیین جرم مورد نیاز ماده، نمونه‌ها یا به سرعت در دستگاه قرار می‌گیرند و یا رها می‌شوند تا در شرایط استاندارد آزمایشگاه مطابق با دستورالعمل‌هایی که پیش‌تر ذکر شد، به موازنه برسند.

هنگامی که از روش الف یا روش ب با پوشش‌هایی با مقاومت گرمایی قابل توجه استفاده می‌شود، دماهای سطح نمونه باید برابر با دماهای سطوح صفحات سرد و گرم و فلومتر(ها)ی گرما که در تماس با نمونه(ها) می‌باشند در نظر گرفته شود.

#### ۱۰-۲-۲-۳-۱ روش الف

این روش هنگامی پیشنهاد می‌شود که دستگاه به صورت عمودی مورد استفاده قرار گیرد. دستگاه جریان سنج گرما را با قرار دادن فاصله اندازه‌های موردنیاز مابین دو(یا چهار) سطح اندازه‌گیری تنظیم کنید. این فاصله اندازه‌ها با سطح مقطع کوچک باید از موادی با رسانندگی گرمایی پایین ساخته شده باشند.

از یک لایه نازک از جنس ماده‌ای با رسانایی پایین برای محدود کردن نمونه در اطراف لبه‌های بیرونی فلومتر(ها)ی گرما و صفحات استفاده کنید به طوری که این لایه نازک یک(یا دو) محفظه را شکل دهد که هر کدام رو به بالا باز می‌شوند. ماده وزن شده و آماده سازی شده را به چهار(هشت) قسمت مساوی(چهار بخش برای هر نمونه) تقسیم بندی کنید. هر بخش را در فضای هر یک از نمونه‌ها قرار داده، آن را تکان دهید و یا هر بخش را در جای خود محکم کنید تا یک چهارم حجم مناسب خود از فضا را اشغال کند؛ دقت داشته باشید که نمونه‌هایی با تراکم یکنواخت ایجاد نمایید.

#### ۱۰-۲-۲-۳-۲ روش ب

استفاده از این روش هنگامی توصیه می‌شود که دستگاه به صورت افقی به کار گرفته شود. از یک(دو) محفظه کم عمق با جداره‌ای نازک از جنس ماده‌ای با رسانایی پایین که دارای ابعاد بیرونی مشابه ابعاد بیرونی واحد گرمکن است استفاده کنید. عرض لبه‌های محفظه باید به گونه‌ای باشد که عمق کانتینر برابر با ضخامت نمونه موردآزمون باشد. از فاصله اندازه‌هایی با مساحت سطح مقطع کوچک و ساخته شده از ماده‌ای با رسانایی گرمایی پایین و ضخامتی برابر با ضخامت آزمون در گوشه‌های محفظه(ها) استفاده کنید تا مطمئن شوید که فاصله‌گذاری میان پوشش‌های چهارچوب برابر با ضخامت آزمون است.

با استفاده از ورقه‌ای نازک از جنس ماده‌ای پلاستیکی که ضخامت آن بیش از  $50 \mu m$  نیست، و یا ورق‌های غیر صیقلی و مقاوم به گرما(ورق‌های آزبستی(پنبه کوهی) و یا دیگر ورق‌های یکنواخت مناسب)، پوشش‌هایی برای وجوه باز محفظه(ها) ایجاد کنید. در هر حالت، این روکش‌ها باید به لبه‌های محفظه چسب شده و یا به آن بسته شوند. چنانچه روکش‌های دارای مقاومت گرمایی قابل توجهی باشند، می‌توان از روش تعیین رسانایی گرمایی نمونه که در ۱۰-۲-۲-۲ برای نمونه‌های سخت ارائه شد استفاده کرد (ماده آماده سازی شده و وزن شده را به دو بخش مساوی تقسیم کنید، یک بخش برای هر نمونه). در حالی که محفظه به صورت افقی بر روی یک سطح تخت قرار گرفته، یک بخش از ماده را در هر محفظه قرار دهید، دقت کنید که یک (یا دو) نمونه با تراکم یکنواخت(وبرابر) ایجاد نمایید. سپس از مابقی روکش(ها) برای بستن نمونه(ها)یی که می‌توان آنها را در مکان خود در دستگاه جریان سنج گرما قرار داد؛ استفاده کنید. برای برخی از مواد، اتلاف در طول آماده سازی نمونه‌ها ممکن است وزن کشی مجدد پیش ازآزمون را موجب شود، در این صورت، جرم محفظه و روکش‌های آماده سازی شده را پس ازآزمون تعیین کنید تا بتوانید تراکم ماده موردآزمون را محاسبه نمایید.

#### ۱۰-۳ روش آزمون

#### ۱۰-۳-۱ جرم

پیش از قراردادن نمونه(ها) در دستگاه، جرم آن را با میزان دقت و درستی ۰٫۵ درصد وزنی مشخص نمایید.

### ۱۰-۳-۲ ضخامت و تراکم

ضخامت مورد نیاز برای آزمون و در نتیجه حجم مورد نیاز برای آزمون یا ضخامتی است که از طریق قرار دادن واحدها و فلومتر(ها)ی گرمایی در جای خود ایجاد شده و یا ضخامت نمونه(ها) طبق سنجشی است که در آغاز آزمون صورت گرفته است. ضخامت نمونه(ها) را می‌توان طبق بند ۸-۲-۳-۳ و یا خارج از دستگاه و با ابزاری که بر روی نمونه در طول آزمون فشار وارد می‌آورد بدست آورد. از این داده‌ها و نیز جرم نمونه آماده سازی شده طبق بند ۱۰-۳-۱، می‌توان تراکم مورد نیاز آزمون را محاسبه کرد.

مواد پتو یا روکشی معمولاً تحت ضخامت مقرر شده آزمون می‌شوند؛ جدول خصوصیات مواد این ضخامت را برای بسیاری از مواد تعیین می‌کند اما گاهی اوقات نتیجه سنجش‌ها چنانچه در ۱۰-۱ نیز اشاره شد، تنها یک نتیجه متعارف و معمول است. در مورد برخی مواد(برای مثال مواد فیبری با تراکم پایین) شاید اندازه-گیری تراکم آن بخش از نمونه که در محدوده ناحیه اندازه‌گیری قرار گرفته صحیح تر باشد تا اندازه‌گیری تراکم کل نمونه، این روش برای بدست آوردن رابطه ای صحیح تر میان تراکم و ویژگی‌های انتقال گرمایی سنجیده مناسب‌تر است. در جای ممکن، ضخامت را در طول آزمون بررسی کنید. وقتی از روش بند ۸-۲-۳-۱-۲-۲ استفاده می‌کنید، ضخامتی که باید برای ارزیابی ویژگی‌های انتقال گرمایی ماده به کار گرفته شود را باید با قرار دادن ترموکوپل‌ها در جای مناسب تنظیم نمود.

**یادآوری-** برای محاسبه حجم مورد نیاز برای آزمون، باید ارقام حاصل از روش آزمون ابعاد جانبی نمونه که در شرح مشخصات ماده ارائه شده و یا دیگر روش‌های مناسبی که دقت و درستی مشابه با سنجش ضخامت دارند، استفاده نمود.

### ۱۰-۳-۳ انتخاب اختلاف دما

اختلاف دمایی را مطابق با یکی از موارد زیر انتخاب کنید:

(الف) شرایط مورد نیاز یک ماده، محصول یا سیستم خاص؛

(ب) شرایط کاربری برای نمونه خاصی که مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ چنانچه این شرایط نشان دهنده اختلاف دمایی بسیار اندک است، میزان درستی مورد نیاز برای سنجش این کمیت را می‌توان پایین تر در نظر گرفت. اما در صورتی که شرایط نشان دهنده اختلافات دمایی قابل توجه است، شاید پیش بینی خطاها دشوار و حتی غیرممکن شود، چراکه در ارزیابی‌های تئوری فرض بر استفاده از نمونه‌هایی است که رسانایی دمایی آنها مستقل از دما باشد.

(ج) به هنگام تعیین رابطه‌ای نامشخص میان دما و ویژگی‌های انتقال گرمایی، اختلاف دمایی را تا حد ممکن کم در نظر بگیرید، برای مثال از مینیمم  $5k$  تا  $10k$ .

(د) هنگامی که انتقال جرمی میان نمونه(ها) باید به یک میزان حداقل کاهش پیدا کند، باید کمترین اختلاف دمایی قابل انطباق با درستی مورد نیاز برای سنجش این کمیت را در نظر گرفت؛ البته این موضوع ممکن است با این استاندارد بین المللی مطابق نباشد و از این رو باید حتما در گزارش به آن اشاره نمود.

#### ۱۰-۳-۴ شرایط محیطی

مطابق با نوع دستگاه و دمای آزمون، باید از عایق‌بندی لبه و/یا شرایط محیطی خاصی که در ۸-۲-۵ بدان اشاره شده بهره گرفت.

#### ۱۰-۳-۵ سنجش‌های دما و سرعت جریان گرما (تنظیم زمان و اندازه‌گیری‌ها)

۱۰-۳-۵-۱ دمای متوسط و خروجی emf فلومتر گرما، دمای متوسط و افت دما در سر تا سر نمونه(ها) را مشاهده کنید تا مشخص شود چه هنگام به حالت تثبیت و موازنه درمی‌آیند.

۱۰-۳-۵-۲ ضریب  $\rho c_p dR$  نمونه همچون نحوه ساخت دستگاه نقش مهمی در تعیین زمان مورد نیاز برای به موازنه رسیدن خروجی اندازه‌گیری می‌کند. ممکن است برای بسیاری از آزمون‌ها لازم باشد فواصل زمانی میان خواندن‌ها یک دهم زمانی در نظر گرفته شود که پیش‌تر مشخص شد. بهتر است از پیوستگی‌های تجربی و آزمایشی بهره گرفت. در صورت عدم داشتن روشی بهتر برای برآورد این فواصل زمانی و یا نداشتن تجربه کافی در مورد نمونه‌های مشابه در همان دستگاه، باید از قانون فوق‌الذکر پیروی کرد. در فواصل برابر با مقدار  $\rho c_p dR$  نمونه یا  $300S$ ، مشاهداتی انجام دهید تا زمانی که پنج مشاهده متوالی، یک مقدار مقاومت گرمایی بدست دهند که بدون تغییر یکنواختی در یک جهت تا ۱ درصد باشد.  $d$  ضخامت نمونه موردآزمون به واحد متر و  $\rho c_p$  محصول تراکم و گرمای ویژه نمونه به واحد ژول متر مکعب کلون می‌باشد که باید آنرا از طریق اطلاعات موجود در مورد ماده بدست آورد.

۱۰-۳-۵-۳ نظارت بر خروجی فلومتر گرما که تابعی از زمان است می‌تواند برای بازرسی کردن پایداری موازنه، بویژه به هنگام استفاده از ماده‌ای که نوع آن مشخص نیست و یا وقتی که در مورد ریسک‌های حساسیت ماده مورد آزمون به رطوبت محیطی تردید وجود دارد، مفید و موثر واقع شود.

چنانچه مقدار متوسط این خروجی تا بیش از ۱/۵ درصد تغییر کند، اپراتور باید در صدد یافتن علل آن برآید. ۱۰-۳-۵-۴ پس از خواندن و مشاهده موازنه و هنگام استفاده از روش ذکر شده در بند ۸-۲-۳-۱-۲-۲ دماهایی که ترموکوپل‌های نصب شده در وجوه سطحی نمونه(ها) نشان می‌دهند را مشخص نمایید.

#### ۱۰-۳-۶ سنجش‌های نهایی جرم و ضخامت

با تکمیل مشاهدات ذکر شده در ۱۰-۳-۵، بلافاصله جرم نمونه(ها) را اندازه‌گیری کنید. در صورتی که ضخامت نمونه مقرر نشده است، توصیه می‌شود که ضخامت را همچون درآغاز آزمون اندازه‌گیری کنید. همچنین هر گونه تغییر حجمی نمونه را گزارش دهید.

#### ۱۰-۴-۱ روش‌هایی که مستلزم سنجش‌های چندگانه‌اند

##### ۱۰-۴-۱-۱ روش‌های ارزیابی همگنی نمونه

یک راه برای برآورد کردن خطای ناشی از غیرهمگن بودن نمونه، مقایسه نتایج دو نمونه انتخاب شده از یک ماده می‌باشد، به طوری که این دو نمونه متفاوت‌ترین ساختارهای ممکن را در نزدیکی لبه‌های ناحیه اندازه‌گیری داشته باشند. چنانچه نتوان کران‌های بالا و پایین را مشخص نمود، ممکن است لازم باشد چند نمونه

را موردآزمون قرار داد. هنگامی که این اختلاف ساختاری در مساحتی کوچک رخ می‌دهد، می‌توان از یک نمونه واحد استفاده کرد که از ابعاد جانبی صفحات و فلومتر(ها)ی گرما بزرگ‌تر برش خورده است. نمونه دو بارآزمون می‌شود، در هر مورد طوری قرار می‌گیرد که لبه های ناحیه آزمون در معرض دو کران در ساختار قرار بگیرند. نتایج هر دوآزمون با یکدیگر مقایسه شده و اعتبار اختلاف مشخص می‌شود. بخشی از نمونه(ها) که از دستگاه بیرون زده باید در هر دوآزمون به خوبی عایق‌بندی شود. این کار احتمال افزایش اتلافات گرمایی لبه از بخش‌هایی که در معرض محیط قرار دارند را کاهش می‌دهد. اندازه و ضخامت نمونه بر اندازه تغییرات در ساختار موثر است. هرچه ناحیه موردآزمون وسیع‌تر باشد، تاثیر اندازه و ضخامت بر نتایج کمتر می‌شود. اثرات انحراف(پیچش) ممکن است با ضخامت نمونه افزایش یا کاهش پیدا کنند.

هنگامی که مدارهای کوتاه گرمایی مستقیم میان سطوح نمونه ها وجود دارد، این تاثیر را می‌توان به بهترین شکل و با قطع مسیرهای گرمایی مشخص کرد، بویژه هنگامی که می‌توان ارتباط سطوح متصل به هم را با مابقی مسیر قطع کرد. برای ایجاد وقفه می‌توان از ورق‌هایی از جنس مواد عایق حرارتی در سطوح اصلی استفاده نمود.

ارزیابی درستی و دقت برای این شرایطآزمون دشوار است. در واقع ارزیابی و سنجش همگنی تا سطحی که قابل قیاس با میزان درستی این روش باشد، امکان پذیر نیست؛ اختلافات شناسایی شده دارای مفهوم فیزیکی خواهند بود و تنها به عنوان خطاهای سنجش در نظر گرفته نخواهند شد.

تغییر خالص در مقاومت گرمایی نمونه، در نتیجه اتصالی گرمایی، را می‌توان تعیین کرد. چنانچه این تغییر بزرگتر از ۱ درصد باشد، باید سنجش دیگری را با ورق‌های ضخیم تر انجام داد.

تاثیر انحرافات میدان گرما را نیز می‌توان از طریق تحلیل‌ها و محاسبات مورد ارزیابی قرار داد. ارجاع به روش یا روش‌های خاصی که برای مشخص ساختن این اثرات مورد استفاده واقع شده‌اند، باید در گزارش ذکر شود. طبق این استاندارد، اختلافات کوچکتر از ۲ درصد در سنجش‌های مربوط به ویژگی‌های انتقال گرمایی را می‌توان نادیده گرفت.

#### ۱۰-۴-۲ روش تعیین حداقل ضخامتی که می‌توان ویژگی‌های انتقال گرمایی را برای آن تعریف نمود

بخشی از ماده را انتخاب کنید که از لحاظ تراکم و توزیع تراکم یکنواخت بوده و ضخامت  $d_5$  ای برابر با بیشترین ضخامت ماده‌ای که قرار است ویژگی‌های آن مشخص شود و یا برابر با بیشینه ضخامت مجاز برای دستگاه آزمون داشته باشد.

پنج نمونه از ماده با طیفی شامل کم‌ترین ضخامت قابل استفاده، که مقدار عددی تقریباً برابری به آنها اضافه شده را انتخاب کنید. این مجموعه از نمونه‌ها را با علامت  $s_1$  تا  $s_5$  مطابق با ضخامت‌های مربوطه،  $d_1$  تا  $d_5$  نشان دهید.

برای ماده‌هایی با تراکم بسیار پایین، می‌توان با توجه به جرم خود نمونه، درجاتی برای تراکم ایجاد کرد؛ با استفاده از این پارامتر می‌توان میزان یکنواختی را نیز بررسی نمود.

برای مواد تراکم پایین که در آنها گرما از طریق مکانیسم‌های تابش و رسانش منتقل می‌شود و مکانیسم همرفت در آنها مشاهده نمی‌گردد، شیب نسبت مقاومت گرمایی در برابر ضخامت متنابا به ۱cm تا ۲cm رسیده و سپس با افزایش ضخامت ثابت خواهد شد. نقطه مقابل این شیب ثابت، انتقال پذیری گرمایی ای است که به نمونه‌هایی با ضخامت بالا نسبت داده می‌شود.

ضخامت و مقاومت گرمایی  $s_1$ ،  $s_3$  و  $s_5$  را در یک متوسط دمایی یکسان و اختلاف دمایی مشابه در سرتاسر نمونه اندازه‌گیری کنید. رابطه میان مقاومت گرمایی و ضخامت را بدست آورید. چنانچه این سه مقدار از یک رابطه خطی مستقیم تا کمتر از ۱ درصد تفاوت داشته باشند، باید شیب خط مستقیم را محاسبه کرد. اگر این سه مقدار تا بیش از ۱ درصد متفاوت باشند، آنگاه باید سنجش‌های مشابهی بر روی  $s_2$  و  $s_4$  انجام داد تا بررسی شود که آیا ضخامت بیشتری وجود دارد که در آن، مقاومت گرمایی از یک خط مستقیم تا بیش از ۱ درصد تفاوت کند یا خیر.

چنانچه این ضخامت وجود داشته باشد، باید شیب خط مستقیم را تعیین کرد تا بتوان انتقال پذیری گرمایی  $\lambda_t = \Delta d / \Delta R$  یان نسبت میان مقادیر افزایش ضخامت  $\Delta d$  و مقادیر افزایش مقاومت گرمایی  $\Delta R$  را محاسبه کرد.

ضخامتی که در آن این حالت رخ می‌دهد، با توجه به تراکم، انواع و اشکال ماده‌ها، محصولات و سامانه‌ها و در دماهای متوسط مختلف، متفاوت خواهد بود.

آنگاه انتقال پذیری گرمایی برای ضخامت‌های بالاتر از مقداری که ضریب انتقال در آن تا کمتر از ۲ درصد از  $\lambda_t$  تغییر می‌کند، می‌تواند توصیف کننده ویژگی‌های ماده، محصول یا سامانه باشد. وابستگی به ضخامت ممکن است تابعی از اختلاف دما در سرتاسر نمونه‌ها باشد. در چهارچوب روش مورد بررسی در این استاندارد، در صورتی که بررسی‌های فوق‌الذکر در اختلافات دمایی معمول صورت گیرند، برای نشان دادن میزان وابستگی سنجش‌ها به ضخامت نمونه مناسب و کافی خواهند بود.

#### ۱۰-۴-۳ روش تعیین وابستگی به اختلافات دما

چنانچه وابستگی ویژگی‌های انتقال گرما به اختلاف دما برای یک ماده مشخص نباشد، حداقل سه سنجش برای این ماده باید صورت گیرد که این سنجش‌ها در اختلافات دمایی با طیف بسیار متغیر انجام می‌شوند. هنگامی که ایجاد یک رابطه خطی ساده انتظار می‌رود، لازم است تنها دو سنجش انجام شوند که این سنجش‌ها یک وابستگی خطی برای نمونه خاص مورد بررسی ایجاد می‌کند.

#### ۱۰-۵ محاسبات

#### ۱۰-۵-۱ تغییرات جرم و تراکم

#### ۱۰-۵-۱-۱ مقادیر تراکم

تراکم  $\rho_d$  و یا  $\rho_s$  نمونه ای که شرایط لازم برای آن آماده سازی شده را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$\rho_d = M_2 / V$$

$$\rho_s = M_3 / V$$

که در آن،

$\rho_d$ ، تراکم ماده خشک موردآزمون به واحد کیلوگرم در مترمکعب ؛  
 $\rho_s$ ، تراکم ماده پس از یک روش آماده سازی کامل تر (غالباً تا حد موازنه با شرایط استاندارد آزمایشگاه)، به واحد کیلوگرم در هر مترمکعب؛

$M_2$ ، جرم ماده پس از خشک شدن به کیلوگرم؛

$M_3$ ، جرم ماده پس از یک روش آماده سازی کامل تر به واحد کیلوگرم ؛

$V$ ، حجم اشغال شده توسط ماده پس از خشک شدن یا آماده سازی به واحد متر مکعب است.

#### ۱۰-۵-۱-۲ تغییرات جرم

تغییر نسبی جرم ماده که ناشی از خشک شدن،  $m_r$ ، یا ناشی از یک روش آماده سازی کامل تر،  $m_c$ ، می باشد را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$m_r = (M_1 - M_2) / M_2$$

$$m_c = (M_1 - M_3) / M_3$$

که در آن،

$M_1$ ، جرم ماده در شرایط دریافت شده به واحد کیلوگرم؛

$M_2$  و  $M_3$  در بند ۱۰-۵-۱-۱ تعریف شده اند.

هنگامی که ارزیابی شرایط آزمون به طور صحیح مورد نیاز است و یا می توان موثر واقع شود، تغییر نسبی جرم،  $m_d$ ، که ناشی از آماده سازی پس از خشک شدن است، را به  $m_c$  اضافه کنید.

$$m_d = (M_3 - M_2) / M_2$$

بازده نسبی جرم،  $m_w$ ، نمونه را در طول آزمون به صورت زیر بدست آورید.

$$m_w = (M_4 - M_5) / M_5$$

که در آن،

$M_4$ ، جرم ماده در نمونه بلافاصله پس از آزمون به واحد کیلوگرم و

$M_5$ ، جرم ماده خشک شده یا آماده سازی شده در نمونه بلافاصله پیش از آزمون به واحد کیلوگرم است.

#### ۱۰-۵-۲ ویژگی های انتقال گرمایی

برای انجام همه محاسبات، از ارقام میانگین مربوط به داده های پایای مشاهده شده استفاده کنید. پنج سنجش توصیف شده در ۱۰-۳-۳ را باید به عنوان داده در این محاسبات به کار گرفت. از سنجش های دیگر تا زمانی می توان استفاده کرد که با هیچ یک از پنج مشاهده بیش از ۱ درصد اختلاف نداشته باشند.

#### ۱۰-۵-۲-۱ ترکیب بندی تک نمونه ای

#### ۱۰-۵-۲-۱-۱ ترکیب بندی تک فلومتری



مقاومت گرمایی  $R$  نمونه را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$R = \frac{\Delta T}{fe}$$

که در آن،

$f$  ضریب واسنجی فلومتر گرمابه واحد وات در هر میلی ولت متر مکعب ؛

و  $e$  خروجی فلومتر گرما به واحد میلی ولت است.

در صورت امکان، رسانندگی گرمایی  $\lambda$  یا مقاومت گرمایی ویژه  $r$  را از عبارت زیر محاسبه کنید:

$$\lambda = \frac{1}{r} = fe \frac{d}{\Delta T}$$

که در آن  $d$  میانگین ضخامت نمونه(ها) می باشد.

#### ۱۰-۵-۲-۱ ترکیب بندی دو فلومتري

همه الزامات و شرایط ذکر شده در ۱۰-۵-۲-۱ در مورد این نوع ترکیب بندی نیز قابل کاربرد می باشند،

فقط  $0.5(f_1e_1 + f_1e_2)$  در جایی که اعداد ۱ و ۲ نشان دهنده اولین و دومین فلومترهای گرما می باشند

جایگزین  $fe$  می شود ( دماهای سطح این دو فلومتر به ترتیب  $T_1$  و  $T_2$  می باشند).

#### ۱۰-۵-۲-۲ ترکیب بندی دو نمونه ای

مقاومت گرمایی کل،  $R_t$ ، را به صورت زیر محاسبه کنید:

$$R_t = \frac{1}{fe} (\Delta T' + \Delta T'')$$

و چنانچه طبق بند ۱۰-۵-۲-۱ مقدور است، میانگین رسانایی گرمایی  $\lambda_{avg}$  یا میانگین مقاومت گرمایی ویژه

$r_{avg}$  را به صورت زید بدست آورید:

$$\lambda_{avg} = \frac{1}{r_{avg}} = \frac{fe}{2} \left( \frac{d'}{\Delta T'} + \frac{d''}{\Delta T''} \right)$$

مفهوم نمادهای مربوط به این عبارت پیش تر ذکر شده است. علائم ' و '' به ترتیب به نمونه اول و نمونه دوم

اشاره دارند.

#### ۱۰-۶ گزارش آزمون

چنانچه باید نتایج بدست آمده از این روش را گزارش داد، همه الزامات و شرایط مربوطه باید رعایت

شوند. در جایی که این شرایط فراهم نشده اند، باید طبق بند ۱۰-۶-۱-۹ شرح موافقت آن به گزارش افزوده

شود.

گزارش نتایج هر آزمون باید شامل موارد زیر باشد( ارقام عددی گزارش شده باید نشان دهنده مقادیر میانگین

برای دو نمونه مورد آزمون و یا مقدار یک نمونه برای دستگاه تک نمونه ای باشد).

۱۰-۶-۱ نام ماده و یا دیگر عبارتهای تعریف کننده از جمله توصیف فیزیکی که تولیدکننده آن ماده ارائه داده را در گزارش خود ذکر کنید.

۱۰-۶-۲ توصیف نمونه و ارتباط آن با ماده، که توسط اپراتور ارائه می شود را در گزارش درج کنید. روش آماده سازی نمونه برای مواد سست و نیز مقاومت سنجیده شده مواد روکش مورد استفاده برای محفظه ها را در گزارش قید کنید.

۱۰-۶-۳ ضخامت نمونه(ها)ی موردآزمون را به واحد متر بیان کنید. در ترکیببندی دو نمونه‌ای، این ضخامت در واقع مجموع ضخامت هر دو نمونه است. بیان آیا این که ضخامت از پیش مقرر شده و یا اندازه گیری شده است. معیار تعریف ضخامت مقرر شده را نیز ذکر کنید.

۱۰-۶-۴ روش و دمای آماده سازی شرایط مورد نیاز

۱۰-۶-۵ تراکم نمونه(ها)ی آماده سازی شده برای آزمون

۱۰-۶-۶ تغییرات نسبی جرم در طول خشک شدن و/یا آماده سازی شرایط

۱۰-۶-۷ تغییر نسبی جرم در طول آزمون تغییرات ضخامت و حجم را در طول آزمون مشاهده نمایید.

۱۰-۶-۸ میانگین اختلاف دما در سرتاسر نمونه(ها) در طول آزمون که از دماهای صفحات عملکردی سرد و گرم محاسبه شده و نیز روش های محاسبه آن را بیان کنید.

۱۰-۶-۹ دمای متوسط آزمون به واحد درجه کلون یا درجه سلسیوس

۱۰-۶-۱۰ تراکم سرعت جریان گرما از میان نمونه در حالت موازنه به واحد وات در هر متر مربع.

۱۰-۶-۱۱ مقاومت گرمایی نمونه ها به واحد کلون مترمربع در هر وات؛ در جای ممکن، مقاومت گرمایی ویژه به واحد متر کلون در هر وات، رسانایی گرمایی به واحد وات در هر متر کلون و طیف ضخامتی که این ارقام برای آن اندازه گیری شده اند.

۱۰-۶-۱۲ نوع دستگاه فلومتر گرمای مورد استفاده تک نمونه ای یا دو نمونه‌ای. متد مورد استفاده برای کاهش اتلافهای گرمایی لبه و دمای محیط دربرگیرنده صفحات در طول آزمون، تعداد و موقعیت فلومتر(ها)ی گرمایی.

۱۰-۶-۱۳ جهت دستگاه: عمودی، افقی یا جهات دیگر. در صورت استفاده از دستگاه تک نمونه‌ای، موقعیت طرف داغ نمونه هنگامی که جهت دستگاه عمودی نیست: بالا، پایین یا سایر موقعیتها.

۱۰-۶-۱۴ برای آزمونهای انجام شده با استفاده از ورقهای قرار گرفته مابین نمونه و سطوح دستگاه یا برای آزمونهای انجام شده با استفاده از روکشهای مانع ورود بخار آب، اطلاعات کافی باید در مورد ماهیت و ضخامت ورق و یا روکش در گزارش داده شود. چنانچه از سنسورهای دمایی برای تعیین اختلاف دمایی در نمونه استفاده شده است، اطلاعات لازم باید در مورد راهکار مورد استفاده در گزارش ارائه شود.

۱۰-۶-۱۵ تاریخ انجام آزمون، تاریخ آخرین واسنجی گرماسنج و نوع، یا انواع مواد مورد استفاده.

۱۰-۶-۱۶ مدت زمان انجام کل آزمون و مدت زمان بخش پایای آزمون اگرکه اطلاعات مربوط به آن می تواند به تفسیر نتایج کمک کند.

۳-۶-۱۷ نوع، مقاومت گرمایی، تاریخ تایید نمونه، منبع تایید، تاریخ انقضای واسنجی و تعداد آزمونهای تاییدی نمونه‌های مورد استفاده در واسنجی باید مشخص گردد.

۱۰-۶-۱۸ برآورد خطاها: توصیه می شود بیشینه خطای مورد انتظار در ویژگی اندازه گیری شده حتما در گزارش قید شود؛ هنگامی که یک یا چند مورد از الزامات بیان شده در این استاندارد رعایت نشده باشند، توصیه می شود گزارش کاملی در مورد برآورد خطا یا خطاها در خصوص ویژگی مورد سنجش ارائه شود.

۱۰-۶-۱۹ در جایی که شرایط یا الزامات انطباق کاملی با روش آزمون توصیف شده در این استاندارد داشته باشند، می توان استثناهایی را قائل شد اما باید در مورد آنها در گزارش توضیح داد. عبارتی که توصیه می شود این است: " این آزمون همه الزامات روش آزمون استاندارد ISO 8301 را داراست به استثنای.....(لیست کاملی از موارد استثنا).

برای دستگاه با قابلیت خواندن مستقیم، نتایج واسنجی مدارات و تجهیزات الکترونیکی و یا انطباق نامه ای شامل تاریخ و الزامات خطی بودن باید در گزارشات آورده شوند.

## پیوست الف

### (الزامی)

### ارقام کرانی برای عملکرد دستگاه و شرایط آزمون

مقدار	توضیح	بند
$m^2.k/w \cdot 0.1$	کمینه مقاومت گرمایی قابل اندازه گیری در یک دستگاه جریان سنج گرما	۱-۱
بهبتر از ۱ درصد	تکرارپذیری مورد انتظار از نمونه ای که در دستگاه نگهداری شده	۱-۳-۵
بهبتر از $\pm 1$ درصد	تکرارپذیری مورد انتظار از نمونه ای که از دستگاه برداشته شده و پس از فواصل زمانی طولانی مجدداً در دستگاه قرار گرفته	۱-۳-۵
$\pm 2$ درصد	میزان درستی مورد انتظار از روش کالیبراسیون HFM (وقتی که دمای متوسط آزمون نزدیک دمای اتاق است)	۲-۳-۵
$\pm 3$ درصد	میزان درستی مورد انتظار HFM (وقتی که دمای متوسط آزمون نزدیک دمای اتاق است)	۳-۳-۵
۵ سال	محدوده زمان پیشنهادی برای چک کردن پایداری استانداردهای کالیبراسیون	۱-۴-۵
۲۴ ساعت قبل و بعد از آزمون	فواصل زمانی پیشنهادی کالیبراسیون برای دستگاه HFM	۲-۴-۵
۱۵ تا ۳۰ روز	فواصل زمانی کالیبراسیون در صورتی که پایداری های کوتاه مدت و بلند مدت HFM بهتر از $\pm 1\%$ باشند	۲-۴-۵
$\pm 1$ درصد	کران بالایی قابل قبول برای پایداری کالیبراسیون	۲-۴-۵
$d \cdot 0.1$	کران بالایی قابل قبول ابعاد هر نمونه غیر همگن	۲-۸
۲ درصد	کران بالایی قابل قبول برای تغییر ضریب انتقال با ضخامت برای نسبت دادن رسانایی گرمایی یا انتقال پذیری گرمایی به ماده	۱-۳-۸
۰/۸	حداقل انتشار نیم کره ای برای هر سطح در تماس با نمونه	۳-۲-۲-۹
۰/۰۲۵ درصد	بیشینه انحراف از صفحه صاف برای سطوح عملکردی واحدهای گرمکن و سردکن	۱-۱-۲-۹
۱ درصد	یکنواختی دمایی مورد نیاز برای واحد گرمکن در خصوص اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه	۲-۱-۲-۹
۰/۵ درصد	بیشینه خطا در سرعت جریان گرمای اندازه گیری شده هنگامی که HFM در تماس با سطح عملکردی یک واحد گرمکن یا سردکن قرار دارد	۲-۱-۲-۹
۰/۵ درصد	پایداری مورد نیاز دمای سطح عملکردی واحدهای گرمکن و سردکن در طول دوره زمانی تست، در خصوص اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه	۲-۱-۲-۹
کمتر از ۰.۵٪	پایداری مورد نیاز وجهی از HFM که در تماس با نمونه قرار دارد، در خصوص اختلاف دمایی در سرتاسر نمونه	۲-۱-۲-۹
۲ درصد	بیشینه نوسانات مجاز در خروجی الکتریکی HFM در خصوص نوسانات دمایی در سطح HFM	۲-۱-۲-۹
۰/۲ میلی متر	بیشینه قطر پیشنهادی برای سطح مقطع هادی ها (کنداکتورها) در ترموپیل	۳-۲-۲-۹
۰/۰۰۲ ولت	حداقل خروجی HFM بدون استفاده از تکنیک های ویژه برای جلوگیری از emf های گرمایی جانبی در کابل های هادی، مدارات در حال اندازه گیری و خود HFM	۳-۲-۲-۹
کمتر یا مساوی ۴۰ درصد و بیشتر از ۱۰ درصد	تناسب مورد نیاز میان ناحیه اندازه گیری و سطح کلی HFM	۳-۲-۲-۹
۰/۰۲۵ درصد	بیشینه انحراف از صفحه حقیقی برای ناحیه اندازه گیری HFM	۴-۲-۲-۹
۸۰ میکرون	ضخامت پیشنهادی فویل فلزی یا غیر فلزی که باید برای روکش کردن ناحیه اندازه گیری مورد استفاده قرار گیرد	۵-۲-۲-۹

مقدار	توضیح	بند
۰/۲ میلی‌متر	قطر پیشنهادی برای ترموکوپل هایی که به عنوان سنسور دمایی در سطح HFM مورد استفاده قرار گرفته اند	۵-۲-۲-۹
۱ درصد	میزان درستی موردنیاز در سنجش اختلاف دمای میان واحدهای گرمکن و سردکن در تماس با نمونه	۱-۱-۳-۲-۹
۲	حداقل تعداد سنسورهای دمایی بر روی هر طرف از سطوح عملکردی واحدهای گرمکن و سردکن	۱-۱-۳-۲-۹
۱ اهم	حداقل مقاومت الکتریکی عایق میان ترموکوپل ها و صفحات فلزی دستگاه	۱-۱-۳-۲-۹
۰/۱۵ $m^2.k/w$	حداقل مقاومت گرمایی برای نمونه های غیر سخت برای استفاده در سنسورهای دمایی دائمی در سطوح عملکردی واحدهای گرمکن و سردکن	۱-۲-۱-۳-۲-۹
۰/۱۶ میلی‌متر	حداکثر قطر ترموکوپل وقتی که در سطح صفحاتی نصب شده که قرار است اختلاف دمای میان واحدهای سردکن و گرمکن را اندازه گیری کنند	۳-۱-۳-۲-۹
۰/۲ میلی‌متر	بیشینه قطر پیشنهادی برای ترموکوپل وقتی که در بالای سطح دستگاهی با سایز کوچک نصب می شود	۳-۱-۳-۲-۹
۰/۲ میلی‌متر	بیشینه قطر پیشنهادی برای ترموکوپل وقتی که مقابل سطوح و یا درون سطوح نمونه ها نصب می شود	۳-۱-۳-۲-۹
کمتر از ۰/۱	بیشینه خطای بوجود آمده در اندازه گیری های اختلافات دمایی به موجب انحراف سرعت جریان گرما در اطراف سنسور، انحراف سنسور و غیره	۳-۱-۳-۲-۹
±۰/۵ درصد	میزان درستی مورد نیاز برای سنجش های الکتریکی اختلافات دمایی در سرتاسر	۲-۲-۳-۲-۹
±۰/۶ درصد	میزان درستی مورد نیاز برای سنجش های الکتریکی خروجی HFM	۲-۲-۳-۲-۹
۰/۵ درصد ۲/۵ کیلو پاسکال	میزان درستی موردنیاز در سنجش ضخامت نمونه	۳-۳-۲-۹
۵ k	بیشینه فشار پیشنهادی دستگاه بر نمونه برای اغلب مواد عایق	۲-۴-۲-۹
۰/۵ درصد	حداقل اختلاف موردنیاز میان نقطه شبنم هوا و دمای واحد سردکن	۱-۵-۲-۹
۴	بیشینه مقدار برای اتلاف گرمایی لبه	۳-۵-۲-۹
۸	تناسب پیشنهادی میان ناحیه اندازه گیری HFM و بیشینه ضخامت نمونه	۲-۳-۹
۲ درصد	بیشینه اختلاف ضخامت برای دو نمونه ای که باید در دستگاه دو نمونه ای نصب شوند	۲-۳-۹
۲ درصد	بیشینه انحراف از صفحات موازی برای سطوح نمونه، در خصوص ضخامت نمونه	۱-۲-۱۰
۰/۱ $m^2.k/w$	بیشینه مقاومت برای نمونه های سخت جهت سنجش اختلاف دما در سرتاسر نمونه با ورق های نازک یا با سنسورهای دمایی نصب شده بر روی نمونه	۱-۲-۲-۲-۱۰
۰/۱	بیشینه مقاومت ورق ها با توجه به مقاومت نمونه	۱-۲-۲-۲-۱۰
۲	حداقل تناسب پیشنهادی میان ضخامت نمونه و ابعاد متوسط دانه ها، مهره ها، پولکها و غیره	۱-۲-۲-۲-۱۰
۵۰ میکرون	بیشینه ضخامت برای ورق های پلاستیکی در متد B برای مواد سست	۱-۲-۲-۲-۱۰
۰/۸ یا بزرگتر	انتشار نیم کره ای کلی سطوح که از نمونه در دمای عملکردی مشاهده شده است	۳-۲-۲-۱۰
۰/۵ درصد	میزان درستی مورد نیاز در تعیین جرم نمونه	۲-۳-۲-۲-۱۰
۵ k	کران پایینی برای اختلافات دمایی در سرتاسر نمونه به هنگام تعیین رابطه ای نامشخص میان دما و ویژگی های انتقال گرمایی	۲-۳-۲-۲-۱۰
۱۰ k	کران بالایی پیشنهادی برای اختلافات دمایی در سرتاسر نمونه فوق الذکر	۱-۳-۱۰
۱ درصد	بیشینه تغییر مقاومت گرمایی در پنج مجموعه متوالی مشاهده برای ارزیابی پیشرفت حالت پایا	۳-۳-۱۰

مقدار	توضیح	بند
۱/۵ درصد	تابع متغیر بالایی و قابل قبول زمان در خروجی HFM با توجه به مقدار متوسط آن	۳-۳-۱۰
۱ درصد	تغییر در مقاومت گرمایی در نمونه های حاوی مدارهای کوتاه که نیازمند سنجش هایی با ورق های ضخیم تر است	۲-۵-۳-۱۰
۲ درصد	حداقل اختلاف در ویژگی های سنجیده شده برای در نظر گرفتن یک نمونه به صورت غیرهمگن	۳-۵-۳-۱۰
۱ درصد	بیشینه اختلاف مجاز مقاومت گرمایی از رابطه خطی در برابر ضخامت جهت محاسبه شیب خط درون یابی شده	۱-۴-۱۰
۲ درصد	بیشینه اختلاف برای ضریب انتقال در ضخامت های مختلف که بتوان آن را انتقال پذیری گرمایی فرض کرد	۲-۴-۱۰