



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۴۸۲۷

چاپ اول

دی ۱۳۹۱

INSO

14827

1st. Edition

Jan.2013

عایق‌های حرارتی - تعیین مشخصات انتقال
حرارتی پایا - محفظه گرم واسنجی و محافظت
شده

Thermal insulations – Determination of
steady-state thermal transmission
properties-Calibrated and guarded hot box

ICS:27.220;91.120.10

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)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ 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
« عایق‌های حرارتی - تعیین مشخصات انتقال حرارت پایا - محفظه گرم واسنجی و
محافظت شده»

رئیس:	سمت و/ یا نمایندگی
شرقی، عبدالعلی	دانشگاه شهید بهشتی
(دکترای مهندسی عمران)	
دبیر:	
مجتبوی، سیدعلیرضا	سازمان ملی استاندارد
(کارشناس مهندسی مواد- سرامیک)	
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
بیک لریان، مرتضی	سازمان نظام مهندسی
(دکترای مهندسی عمران)	
حسینی مقدم، علیرضا	عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد
(کارشناس ارشد مهندسی معدن)	
سامانیان، حمید	پژوهشگاه استاندارد
(کارشناس ارشد مهندسی مواد- سرامیک)	
رحمتی، علیرضا	شرکت پاکدشت بتن
(کارشناس ارشد مهندسی عمران)	
عباسی رزگله، محمدرضا	استاد دانشگاه شهید رجایی
(کارشناس ارشد مهندسی عمران)	
قهری، هما	پژوهشگاه استاندارد
(کارشناس ارشد شیمی تجزیه)	
گلبخش، محمد حسین	اداره کل استاندارد استان یزد
(کارشناس مهندسی عمران)	
میر شکرایی، افشین	شرکت پشم شیشه ایزوفام
(کارشناس ارشد فیزیک)	

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
۵	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ نمادها، اختصارات، یکاها و روابط
۳	۵ اصول
۶	۶ حدود و منابع خطا
۱۰	۷ دستگاه
۱۹	۸ روش آزمون
۲۴	پیوست الف (الزامی) انتقال گرما در سطوح و دماهای محیطی

پیش‌گفتار

استاندارد «عایق‌های حرارتی- تعیین مشخصات انتقال حرارتی پایا- محفظه گرم واسنجی و محافظت شده» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در سیصد و هشتاد و هشتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۹۱/۹/۱۸ 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 ارایه 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 مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 8990: 1994, Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties-Calibrated and guarded hot box

عایق‌های حرارتی - تعیین مشخصات انتقال حرارتی پایا - محفظه گرم واسنجی و محافظت شده

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین اصول و مقررات مربوط به طراحی دستگاه و حداقل شرایط و الزاماتی که باید برای تعیین خصوصیات انتقال حرارت پایدار اجزای ساختمانی و اجزای مشابه جهت مصارف صنعتی در آزمایشگاه رعایت شوند، است.

در این استاندارد طرحی خاص تعیین نمی‌شود چرا که شرایط مورد نیاز به ویژه در خصوص اندازه و به میزان کمتر در خصوص شرایط عملکردی، بسیار متفاوت هستند.

در این استاندارد، دستگاه، شیوه‌ی سنجش و نحوه‌ی گزارش داده‌های مورد نیاز توصیف شده‌اند. اجزای خاص، برای مثال پنجره‌ها، نیازمند استفاده از روش‌های دیگری هستند که توصیف آن‌ها در حیطه اهداف این استاندارد قرار نمی‌گیرد. همچنین، سنجش‌های مربوط به تاثیر انتقال یا توزیع رطوبت بر جریان حرارت شامل این استاندارد نبوده بلکه آنچه بیش‌تر در این استاندارد مد نظر است، طراحی و عملکرد دستگاه و بررسی تاثیر احتمالی انتقال رطوبت بر درستی و دقت نتایج آزمون می‌باشد. ویژگی‌هایی که می‌توان آن‌ها را مورد سنجش قرار داد، انتقال (مقدار عبور) حرارت و مقاومت گرمایی می‌باشند. در این استاندارد دو روش برای سنجش این خصوصیات ارائه شده‌اند: روش محفظه گرم واسنجی شده (درجه بندی شده) و روش محفظه گرم حفاظت شده (روکش شده). هر دوی این روش‌ها برای نمونه‌های عمودی همچون دیوارها و نمونه‌های افقی همچون سقف‌ها و کف‌ها مناسب می‌باشند. دستگاه را می‌توان آن‌قدر بزرگ طراحی کرد که تمام جزء ساختمانی را مورد بررسی قرار دهد.

هدف اصلی در این دو روش، انجام سنجش‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های بزرگ و غیریکنواخت است، اگرچه می‌توان نمونه‌های همگن و یکنواخت را نیز با این روش‌ها مورد آزمون قرار داد.

تجربه نشان داده است به هنگام آزمون کردن نمونه‌های همگن طبق این استاندارد، میزان دقت برابر با ± 5 درصد را می‌توان به طور کلی به دست آورد. هرچند، دقت هر دستگاه به طور مجزا را باید با نمونه‌های همگن مرجع که رسانایی گرمایی آن‌ها به کمک دستگاه به طیفی که باید مورد سنجش قرار گیرد تعمیم یافته است، ارزیابی گردد.

ارزیابی دقت نمونه‌های غیرهمگن پیچیده‌تر بوده و دربرگیرنده تحلیلی از سازوکار جریان گرما در انواع خاصی از نمونه‌های غیر یکنواخت که مورد آزمون قرار گرفته‌اند می‌باشد. البته این تحلیل‌ها در چهارچوب اهداف این استاندارد قرار نمی‌گیرند.

این روش برای انجام سنجش‌هایی که در آن انتقال جرمی از طریق نمونه در طول آزمون صورت می‌گیرد به کار گرفته نمی‌شود.

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 موردنظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد اجباری است:

- ۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۲۷۶، عایق حرارتی - کمیت‌های فیزیکی و تعاریف
۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۸۷۳۱، عایق‌های حرارتی - تعیین مقاومت حرارتی و خواص مربوط به آن، در حالت پایدار توسط دستگاه لوح گرم محافظت شده - روش آزمون

۳ اصطلاحات، تعاریف، نمادها، اختصارات و یکاها

۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۱-۳

متوسط دمای تابشی (T_r)

اندازه‌گیری مناسب دماهای سطحی ای که نمونه به خود دیده، به منظور تعیین سرعت جریان گرمای تابشی در سطح نمونه (پیوست A را مشاهده کنید).

۲-۱-۳

دمای محیطی (T_a)

اندازه‌گیری مناسب دمای تابشی و هوا، به منظور تعیین سرعت جریان گرما در سطح نمونه (پیوست الف را ببینید).

۲-۳ نمادها، اختصارات و یکاها

نمادهای مورد استفاده در این استاندارد به شرح جدول یک می‌باشد.

جدول ۱- نمادها و موارد استفاده

نماد	محل استفاده از نماد	رابطه
i	داخل، معمولاً طرف گرم	
e	بیرون، معمولاً طرف سرد	
s	سطح	
n	محیطی	
λ	رسانایی گرمایی	$W/(m \cdot K)$
R	مقاومت گرمایی	$m^2 \cdot K/W$
U	انتقال گرمایی	$W/(m^2 \cdot K)$
h	ضریب سطحی انتقال گرما	$W/(m^2 \cdot K)$
Φ	سرعت جریان گرما	W
Φ_p	خروجی توان کلی، سردکن یا گرمکن	W
Φ_1	سرعت جریان گرما از میان نمونه	W
Φ_2	عدم توازن، سرعت جریان گرما موازی با نمونه	W
Φ_3	سرعت جریان گرما از میان دیواره های محفظه اندازه گیر	W
Φ_4	اتلاف از جناحین، سرعت جریان گرما در طرفین نمونه	W
Φ_5	اتلاف پیرامونی، سرعت جریان گرما، موازی با سطح نمونه در لبه های نمونه	W
A	مساحت محیط عمود بر جریان گرما	m^2
q	تراکم سرعت جریان گرما	W/m^2
d	ضخامت نمونه	m
T_a	دمای هوا	K
T_r	متوسط دمای تابشی	K
T_n	دمای محیطی	K
T_s	دمای سطح	K
$R_s = A(T_{si} - T_{se})/\Phi_1$		
$R_s = 1/h$		
$R_{si} = A(T_{ni} - T_{si})/\Phi_1$		
$R_{se} = A(T_{se} - T_{ne})/\Phi_1$		
$R_U = 1/U$		
$U = \Phi_1/A(T_{ni} - T_{ne})$		
$\Phi_1 = \Phi_p - \Phi_3 - \Phi_2$ (برای محفظه گرم محافظت)		
$\Phi_1 = \Phi_p - \Phi_3 - \Phi_4$ (برای محفظه گرم واسنجی شده)		

یادآوری- این روش به صورت مستقیم رسانایی گرمایی را اندازه گیری نمی کند، اگرچه می توان در مورد نمونه های مات، همگن و تخت با استفاده از رابطه $\lambda = d/R_s$ رسانایی گرمایی را به طور مستقیم به دست آورد.

۴ اصول

۴-۱ کلیات

هدف هر دو نوع دستگاه، محفظه گرم محافظت شده (GHB)^۱ و محفظه گرم واسنجی شده (CHB)^۲، ایجاد ساختگی شرایط مرزی معمول یک نمونه میان دو سیال می‌باشد، معمولاً هوای جوی، هر یک در دمای یکنواخت می‌باشد.

نمونه میان یک محفظه (اتاقک) گرم و سرد قرار می‌گیرد که دماهای محیطی در آن‌ها مشخص می‌باشد. سنجش‌ها در حالت پایا (پایدار) هوا و دماهای سطحی و ورودی توان در محفظه طرف گرم انجام می‌شوند. به کمک این سنجش‌ها، ویژگی‌های انتقال گرمایی نمونه محاسبه می‌گردند. تبادل گرما در سطوح آزمون در برگیرنده سازوکارهای همرفتی و تابشی است. سازوکار همرفت به دمای هوا و سرعت هوا و سازوکار تابش به دماها و انتشارات نیم کره‌ای کلی سطوح آزمون بستگی دارد. اثرات انتقال گرما از طریق همرفت و تابش در مفهومی به نام "دمای محیطی" و یک ضرایب انتقال گرمایی سطحی با هم ادغام می‌شوند.

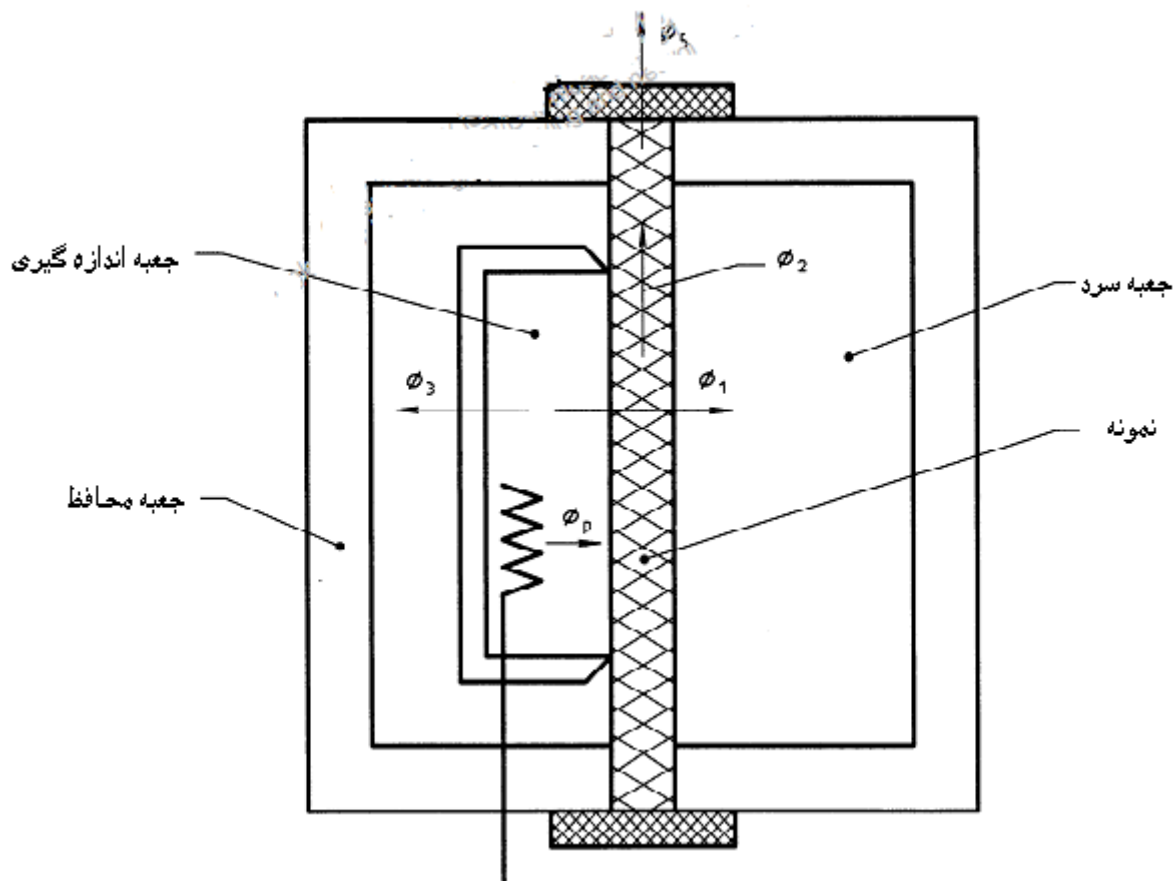
انتقال (میزان عبور) گرما میان دو دمای محیطی تعریف می‌شود و از این رو برای تعیین این دو دمای محیطی، سنجش‌های مناسبی برای دما، موردنیاز می‌باشد. این سنجش‌ها به‌ویژه در مورد نمونه‌هایی با مقاومت گرمایی پایین اهمیت دارند که ضرایب سطحی انتقال گرما در آن‌ها بخش قابل توجهی از مقاومت کل را شکل می‌دهد. در مورد نمونه‌هایی با مقاومت گرمایی متوسط و بالا، شاید ثبت کردن دماهای هوا فقط در طول آزمون کافی باشد، اگر که بتوان نشان داد اختلاف در دماهای هوا و دماهای تابشی بر هر طرف از نمونه موردآزمون آنقدر کوچک است که الزامات مورد نیاز برای درستی و دقت آزمون رعایت می‌شوند. یک مورد خاص هنگامی مشاهده می‌شود که محفظه گرم دارای یک پانل تابشی در نزدیکی طرف گرم نمونه به عنوان منبعی برای تامین گرما می‌باشد. در این صورت، این جزء تابشی در انتقال گرما نسبت به سطح نمونه برتری خواهد داشت. از این روش با پانل تابشی می‌توان برای سنجش مقاومت گرمایی نمونه استفاده کرد اما کاربرد آن برای سنجش‌های مستقیم انتقال گرما در ضرایب سطحی معمول مناسب نمی‌باشد.

۴-۲ محفظه گرم محافظت شده

در دستگاه محفظه گرم محافظت شده (شکل ۱)، محفظه اندازه گیری توسط یک محفظه محافظ احاطه شده است؛ محیط درون این محفظه محافظ کنترل می‌شود تا جریان گرمای جانبی در نمونه، Φ_2 ، و جریان گرما از میان دیواره‌های محفظه اندازه گیر، Φ_3 ، به حداقل رسانده شود. در حالت مطلوب، هنگامی که یک نمونه همگن در دستگاه نصب می‌شود و وقتی که هم داخل و هم بیرون محفظه اندازه گیر دماها یکنواخت‌اند و نیز هنگامی که دماهای طرف سرد و ضرایب سطحی انتقال گرما یکنواخت می‌باشند، تعادل دمایی برای هوا هم در داخل و هم در خارج محفظه اندازه گیر به معنای تعادل در سطح نمونه و برعکس خواهد بود، یعنی: $\Phi_2 = \Phi_3 = 0$. آن‌گاه جریان گرمای کلی از میان نمونه، برابر با ورودی گرما به درون محفظه اندازه گیر خواهد بود.

1 guarded hot box
2 calibrated hot box

در عمل، برای هر دستگاه و هر نمونه مورد آزمون، حدی در تشخیص و شناسایی عدم تعادل وجود خواهد داشت (برای حل عدم تعادل بند ۱-۱-۵ را ببینید).



شکل ۱- محفظه گرم محافظت شده

۳-۴ محفظه گرم واسنجی شده

محفظة گرم واسنجی شده (شکل ۲) توسط فضایی که دمای آن کنترل شده و الزاماً دمای آن مشابه دمای داخل محفظه اندازه‌گیری نیست، احاطه شده است. اتلاف گرمایی از طریق دیواره‌های محفظه، Φ_3 ، با به کارگیری ساختاری با مقاومت گرمایی بالا، در حد پایین نگاه داشته می‌شوند. ورودی توان کل، Φ_p ، باید برای اتلاف دیواره، Φ_3 ، و برای اتلاف‌های جانبی (کناری)، Φ_4 ، اصلاح شوند. مسیر جریان گرمای جانبی در شکل ۳ نشان داده شده است؛ در این شکل جزییات نمونه و چهارچوب نمونه به همراه دیواره‌های محفظه کناری سرد و گرم مجاور آن مشاهده می‌شوند. اصلاحات لازم برای اتلاف‌های گرمایی دیواره محفظه و

اتلاف‌های جانبی، از طریق آزمون‌هایی که بر روی نمونه‌هایی با مقاومت گرمایی معلوم صورت می‌گیرند تعیین می‌شوند. برای واسنجی (تنظیم) اتلاف جانبی، نمونه‌های واسنجی باید همان طیف ضخامت و مقاومت گرمایی را داشته باشند که نمونه‌های اصلی مورد اندازه‌گیری، باید دارا باشند.

۵ محدودیت‌ها و منابع خطا

برخی فاکتورهای مرتبط با طراحی، واسنجی و عملکرد و نیز ویژگی‌های نمونه از جمله ضخامت، مقاومت گرمایی و همگنی، می‌توانند میزان درستی مطلوب در عملکرد دستگاه را محدود سازند.

۵-۱ محدودیت‌ها و خطاهای ناشی از دستگاه

۵-۱-۱ محدودیت‌های تشخیص عدم توازن در محفظه گرم حفاظت شده

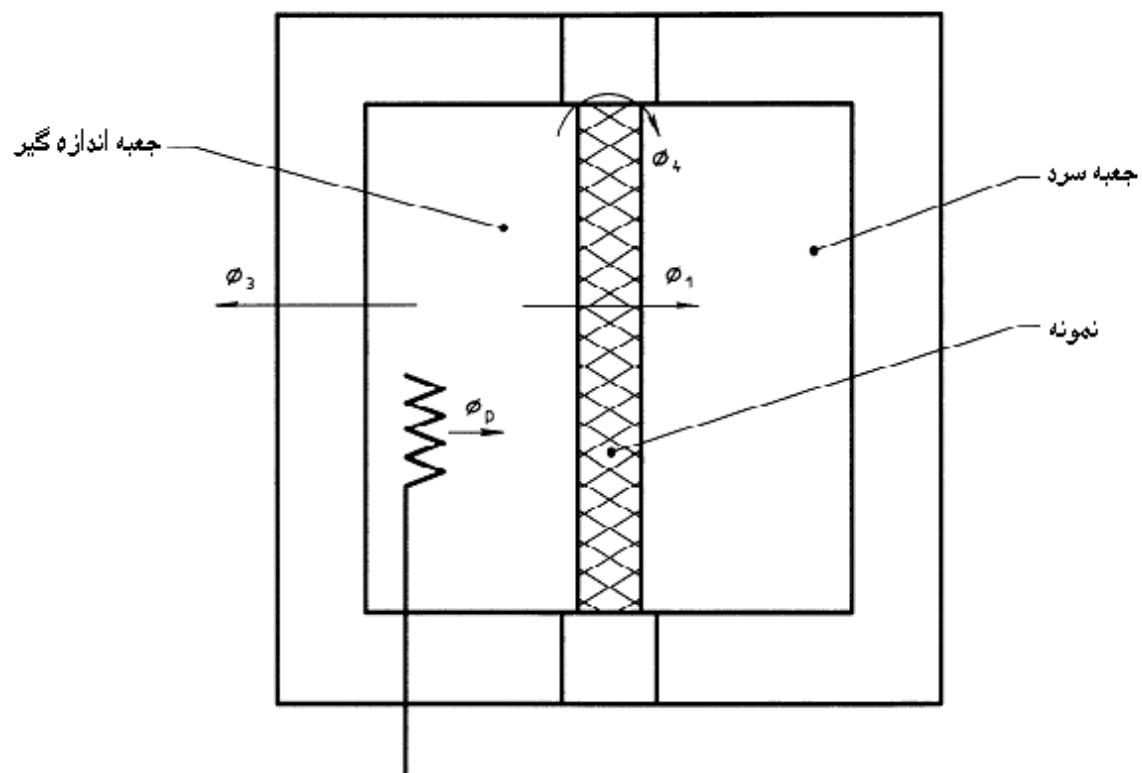
در عمل، حتی در مورد نمونه‌های همگن نیز ضرایب انتقال گرمای سطحی یکنواخت نیستند بویژه در نزدیکی لبه‌های محفظه اندازه‌گیر. در نتیجه، نه دمای سطح نمونه و نه دمای هوا در نزدیکی محیط پیرامون محفظه اندازه‌گیر هم در داخل و هم در خارج یکنواخت نمی‌باشند. این موضوع دو پیامد به همراه دارد :

الف) پایین آوردن همزمان جریان گرمای جانبی، Φ_2 ، از میان نمونه و نیز جریان گرما، Φ_3 ، از میان دیواره‌های محفظه اندازه‌گیر، غیر ممکن می‌شود؛

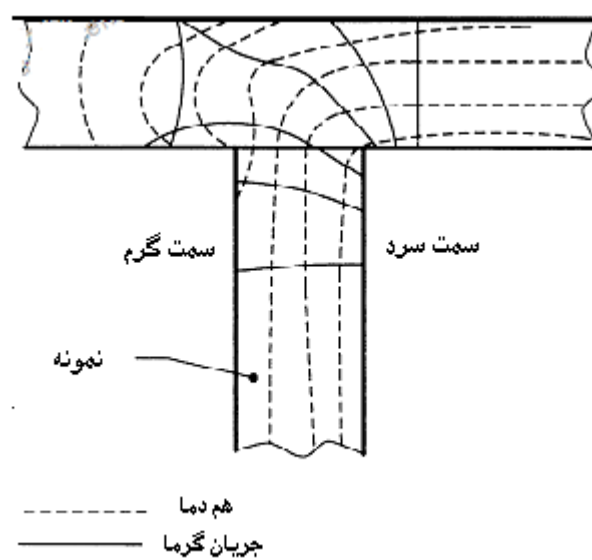
ب) نایکنواختی دمایی در نزدیکی محفظه اندازه‌گیر، به ترتیب در سطح نمونه و در هوا، بهترین تعریف کننده عدم توازن (ناهماهنگی) مربوطه می‌باشد.

دستگاه باید طوری طراحی و به کار گرفته شود که تعادل جریان گرمایی مطلوب و بهینه چنانچه در الف) ذکر شد، به دست آید، یعنی هندسه دستگاه و فضای هوای محافظ و سرعت جریان هوا به گونه‌ای باشند که Φ_3 از ۱۰ درصد Φ_p تجاوز نکند.

ناهمگنی‌ها در نمونه باعث پیشرفت نایکنواختی در ضرایب سطحی موضعی و دمای سطح نمونه می‌شوند. عدم توازن جریان گرما از میان دیواره محفظه اندازه‌گیر و در نمونه باید ارزیابی شده و در هنگام لزوم اصلاحات مورد نیاز برای آن انجام شوند. بدین منظور، دیواره‌های محفظه اندازه‌گیر باید طوری ساخته شوند که نقش یک فلومتر (جریان سنج) گرما را ایفا کنند. علاوه بر آن، می‌توان یک پیل حرارتی در سرتاسر محیط پیرامون ناحیه اندازه‌گیری بر روی سطوح نمونه نصب کرد. در آزمون متداول، تشخیص ناهماهنگی را می‌توان به کمک واسنجی و محاسبه، ساده‌تر ساخت.



شکل ۲- محفظه گرم محافظ شده



شکل ۳- مسیر جریان گرما در نمونه و چارچوب

۵-۱-۲ اندازه ناحیه اندازه‌گیری

ناحیه اندازه‌گیری به صورت زیر تعریف می‌شود:

الف) برای محفظه گرم حفاظت شده، ناحیه مرکز-نوک تا مرکز-نوک وقتی که نمونه ضخیم‌تر از عرض نوک یا ضخامت آن برابر با عرض نوک (دماغه) باشد و در صورتی که نمونه نازک‌تر از عرض نوک باشد، محیط داخلی نوک؛

ب) برای محفظه گرم واسنجی شده، محیط داخلی محفظه اندازه‌گیر.

اندازه ناحیه اندازه‌گیری تعیین کننده بیشینه ضخامت نمونه است. نسبت کناره ناحیه اندازه‌گیری به ضخامت نمونه و نسبت عرض محافظ به ضخامت نمونه باید از مقرراتی مشابه با آنچه برای محفظه گرم حفاظت شده ارایه شده پیروی کند.

اندازه نمونه همچنین احتمال مورد آزمون قرار دادن بخشی از سازه به عنوان نماینده‌ای از کل آن را محدود می‌سازد و بنابراین امکان بروز خطا و مشکل در تفسیر نتایج را فراهم می‌آورد.

خطاهای سنجش در آزمون با روش‌های محفظه گرم تا حدودی متناسب با طول محیط ناحیه اندازه‌گیری می‌باشند. تاثیر نسبی این موضوع با افزایش ناحیه اندازه‌گیری کمرنگ‌تر می‌شود. در محفظه گرم حفاظت شده، حداقل اندازه ناحیه اندازه‌گیری شده ۳ برابر ضخامت نمونه یا ۱ میلی‌متر در ۱ میلی‌متر، هرکدام که بزرگتر است، می‌باشد.

برای محفظه گرم واسنجی شده، حداقل ضخامت نمونه ۱/۵ میلی‌متر در ۱/۵ میلی‌متر می‌باشد.

خطای محیطی در محفظه گرم حفاظت شده ناشی از مقدار جریان گرما، Φ_2 ، در امتداد سطح نمونه، ناشی از عدم توازن میان ناحیه اندازه‌گیری و ناحیه حفاظت شده و یا ناشی از ناهمگنی‌ها می‌باشد. خطاهای محیطی در محفظه گرم واسنجی شده ناشی از جریان گرمای جانبی، Φ_4 ، می‌باشند که انحراف از مقدار جریان گرما در لبه‌های نمونه را در بر می‌گیرد.

۵-۱-۳ حداقل توان ورودی (نیرو)

توان ورودی کل، Φ_p ، به محفظه اندازه‌گیر مجموع توان تامین شده برای گرم‌کن‌ها، فن‌ها، مبدل‌ها (کنداکتور)، محرک‌ها (اکتیواتور) و غیره می‌باشد. جریان گرما را برای برخی از این اجزا نمی‌توان به صفر کاهش داد بنابراین باید جریان گرمای حداقلی برای آن‌ها تعریف کرد که باید از میان نمونه عبور کند.

این محدودیت را می‌توان با سرد کردن محفظه گرم تا حدودی کاهش داد اما در این کار نیز به صحت سنجش‌های سردکننده اطمینان چندانی نخواهد بود.

عدم اطمینان از ورودی توان کل به محفظه اندازه‌گیر از جمله Φ_3 ، نیز باعث محدود شدن حداقل توان می‌شود.

همه فاکتورهای فوق الذکر یک مرز پایین برای نسبت $(T_{si} - T_{se})/R_u$ ایجاد می‌کنند.

۴-۱-۵ حداکثر توان ورودی

یکنواختی دما و ضرایب سطحی فاکتورهایی هستند که محدودیت‌هایی در حداکثر توان ورودی ایجاد می‌کنند. مقادیر بزرگ جریان گرما به معنای جریان‌های بزرگ توده هوا در سرتاسر سطح نمونه می‌باشد. اگر که لازم باشد درجه بالایی از یکنواختی دمای هوا حفظ شود؛ این موضوع بر سازوکار انتقال گرما در سطح تاثیرگذار خواهد بود. در مورد محفظه گرم حفاظت شده که مقاومت نمونه را پایین می‌آورد، این امر الزامات سخت‌تری در خصوص برابری انتقال گرمایی همرفتی و تابشی در ناحیه اندازه‌گیری و محفظه حفاظ برای به-دست آوردن درستی موردنیاز تحمیل می‌کند.

۲-۵ محدودیت‌ها و خطاهای ناشی از نمونه

۱-۲-۵ ضخامت نمونه و مقاومت گرمایی

برای یک طرح دستگاه فرضی، ضخامت نمونه ممکن است به دلیل عواملی با محدودیت مواجه شود که این عوامل به ویژگی‌های نمونه و شرایط مرزی، حد بالایی برای ضخامت ناشی از اتلاف‌های لبه، Φ_5 ، یا اتلاف‌های جانبی، Φ_4 ، که اگرچه با افزایش ضخامت نمونه کاهش می‌یابد اما می‌تواند در مقایسه با Φ_1 قابل توجه باشد، بستگی خواهند داشت.

۲-۲-۵ ناهمگنی نمونه

اغلب نمونه‌های موردآزمون که معرف اجزای ساختمانی و صنعتی هستند، به طور کل ناهمگن و نامتجانس می‌باشند. این ناهمگنی در نمونه مورد آزمون بر الگوی تراکم مقدار جریان گرما تاثیر می‌گذارد به طوری که این الگو نه تک بعدی می‌شود و نه یک‌پارچه. همچنین تغییر ضخامت در سرتاسر نمونه نیز می‌تواند موجب تغییرات موضعی قابل توجه‌ای در الگوی تراکم مقدار جریان گرما شود. اثرات این تغییرات شامل نایکنواختی در دماها و ضرایب انتقال موضعی است که موارد زیر را دشوارتر یا حتی غیر ممکن می‌سازند:

الف) تعریف یک دمای سطحی متوسط؛

ب) شناسایی عدم تعادل و هماهنگی در دستگاه محفظه گرم حفاظت شده؛

ج) تعریف ناحیه اندازه‌گیری؛

د) تحلیل خطا در نتایج آزمون برای یک نمونه ناهمگن داده شده به دستگاه.

موارد خاص شامل:

الف) وجوهی که دارای رسانایی گرمایی بالا می‌باشند. این وجوه مسیرهایی ساده برای عدم تعادل مقدارجریان گرما، Φ_2 ، و اتلاف‌های گرمایی جانبی، Φ_4 ، شکل می‌دهند. می‌توان وجوه را در امتداد محیط محفظه اندازه‌گیر برش داد. هنگامی که لایه‌ها همگن باشند، راه کار دیگری که می‌توان از آن بهره گرفت، انجام آزمون‌های جداگانه بر روی هر لایه به کمک روش‌های آزمون با استفاده از محفظه گرم حفاظت شده یا یک فلومتر گرما است؛

ب) عضوهای سازه‌ای عمودی و افقی همچون شمع. اثرگذاری این اجزا در اغلب موارد متقارن است؛

ج) بخش‌هایی از نمونه که از مواد مختلف ساخته شده‌اند. اختلافات دما در میان مواد مختلف یکسان و مشابه نیست. در نزدیکی سطح اشتراک میان مواد مختلف، یک جریان گرمایی وجود دارد. وقتی که این سطح اشتراک از محیط پیرامونی محفظه اندازه‌گیر دور نباشد، این به معنای نایک‌نواختی دمایی است که هم بر تشخیص عدم تعادل اثرگذار است و هم بر تعریف ناحیه اندازه‌گیری. همچنین، ضرایب انتقال گرمایی موضعی تحت تاثیر این نایک‌نواختی‌ها قرار می‌گیرند؛

د) حفره‌های درون نمونه. همرفت طبیعی می‌تواند یک جریان گرمایی نامتعادل، Φ_2 ، ایجاد کند. تاثیر موانع قرار گرفته در نمونه را باید ارزیابی کرد.

ارایه راه حل‌های فوری برای همه انواع مشکلات امکان‌پذیر نیست. توصیه می‌شود که فرد کارور در مورد اثرات هر گونه ناهنجاری و موارد غیرعادی اطلاعات کامل داشته باشد.

محاسبه اهمیت و نیز اثرات ناهمگنی‌ها می‌تواند کمک شایانی در پیش‌بینی عملکرد گرمایی نمونه مورد آزمون داشته باشد. در صورتی که اختلافات قابل توجهی میان عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد سنجش شده نمونه وجود داشته باشد که نتوان برای آن توضیحی پیدا کرد، باید بررسی دقیقی بر روی نمونه انجام داد تا هرگونه اختلاف میان اندازه‌های واقعی و تعیین شده، ابعاد، مواد و... مشخص شود. هرگونه انحراف و بی-قاعدگی از مقادیر و مشخصه‌های تعیین شده باید گزارش گردد.

۵-۲-۳ میزان رطوبت در نمونه

انتقال رطوبت در طول انجام آزمون می‌تواند اثر قابل توجهی بر نتایج آزمون برجای بگذارد. تعیین روش استاندارد برای فراهم آوردن شرایط لازم پیش آزمون غیرممکن است. به عنوان یک لازمه حداقلی، باید روش آماده‌سازی شرایط را در گزارش قید کرد. برای اغلب نمونه‌ها، کاهش اختلافات دما تا اندازه‌ای که انتقال رطوبت آنقدر پایین باشد که انتقال جرمی پایا را بتوان در طول زمان سنجش تصور کرد، بدون برآورد کردن صحت سنجش در سطحی غیر قابل قبول، معمولاً غیر ممکن است. همچنین باید دانست که نه تنها انتقال رطوبت از میان نمونه بلکه توزیع مجدد رطوبت در نمونه و تغییر فاز (حالت) نمونه نیز بر نتایج آزمون اثرگذار خواهند بود.

۵-۲-۴ همبستگی دما

مقاومت‌های گرمایی نمونه یا انتقال‌های گرمایی اغلب تابعی از اختلافات دما در سرتاسر خود نمونه هستند. از این رو باید در گزارش و تفسیر نتایج آزمون به این نکته دقت و توجه کافی معطوف داشت.

۶ دستگاه

۶-۱ مقدمه

همان‌طور که در بند ۱ بیان شد، نمی‌توان جزئیات طراحی خاصی برای دستگاه تعیین کرد. اما در بخش پیش رو، شرایطی ذکر شده که رعایت آن الزامی است و مواردی مطرح شده که باید حتماً مدنظر قرار گیرند.

شکل‌های ۱ و ۲ نشان دهنده ترتیب قرارگیری معمول نمونه مورد آزمون و اجزای اصلی دستگاه می‌باشند. شکل‌های ۴ و ۵ روش‌های دیگری از قرارگیری نمونه در دستگاه را نشان می‌دهند. از سایر روش‌های قرارگیری که همان هدف را دنبال می‌کنند نیز می‌توان بهره گرفت. تاثیر دیواره‌های محفظه بر روی انتقال گرما از میان نمونه در شکل ۱ و تاثیر چهارچوب بر انتقال گرما در شکل ۲، به شکل و ماده به کار رفته در دیواره یا چهارچوب، به ضخامت نمونه و مقاومت آن و نیز شرایط آزمون هم‌چون اختلافات دما و سرعت‌های هوا بستگی دارد. طراحی و ساخت دستگاه باید با انواع نمونه‌های پیش‌بینی شده مورد آزمون و شرایط پیش‌بینی شده آزمون مطابق باشد.

۲-۶ الزامات و شرایط طراحی

اندازه دستگاه باید با نوع کاربری مورد نظر متناسب بوده و در طراحی آن به موارد زیر توجه شود. ناحیه اندازه‌گیری شده باید به میزانی بزرگ باشد تا بتواند معرفی مناسب از ناحیه آزمون فراهم آورد. نسبت ناحیه اندازه‌گیری شده به محیط پیرامونی ناحیه اندازه‌گیری شده بر درستی و دقت هر دو نوع محفظه اثرگذار خواهد بود چرا که جریان گرمایی تک بعدی را نمی‌توان در پیرامون ناحیه اندازه‌گیری شده حفظ کرد. این جریانات گرمایی خطا در پیرامون ناحیه اندازه‌گیری شده که به عنوان بخشی از جریان گرمایی سنجیده شده محاسبه می‌شوند، با کاهش ناحیه اندازه‌گیری افزایش پیدا خواهند کرد.

جریان گرمایی نامتعادل، Φ_2 ، در محفظه گرم حفاظت شده، ناشی از نایک‌نواختی هم در ضرایب سطحی و هم در دمای هوای نزدیک به محیط پیرامونی ناحیه اندازه‌گیری شده است.

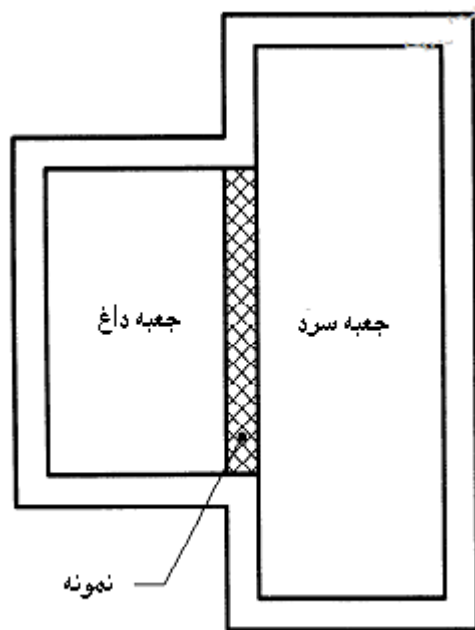
مقداری گرما از میان نوک محفظه اندازه گیر در محفظه گرم حفاظت شده وارد نمونه می‌شود. ضخامت محدود درزگیر نوک باعث انحراف از جریان گرمایی تک بعدی می‌گردد. هم عایق بندی لبه و هم شرایط کرانی لبه بر اتلاف های محیطی Φ_5 ، برای محفظه گرم حفاظت شده و بر اتلاف‌های جانبی Φ_4 برای محفظه گرم واسنجی شده اثر گذار می‌باشند.

وجود ناهمگنی در نمونه در مجاورت محیط پیرامونی ناحیه اندازه‌گیری شده، مشکلات فوق‌الذکر را پیچیده‌تر خواهد ساخت.

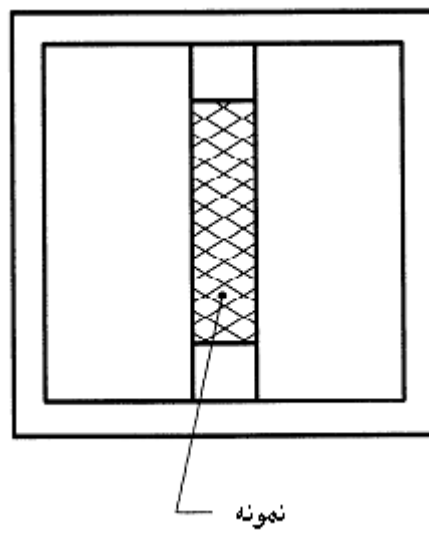
به‌طور کلی، اندازه محفظه اندازه‌گیر تعیین‌کننده حداقل اندازه برای دیگر اجزای دستگاه می‌باشد. عمق محفظه اندازه‌گیر نباید بیشتر از اندازه‌ای باشد که برای حفظ شرایط مرزی مطلوب (ضخامت مطلوب و ...) و نیز برای جای دادن تجهیزات آن مورد نیاز است.

شدت نشر سطوحی که دارای تبادل تابشی با سطوح نمونه هستند می‌تواند بالا یا پایین باشد. قابلیت انتشار بالا (۰/۸ یا بیشتر) در اغلب موارد در کاربری حقیقی اجزای ساختمانی و صنعتی معمول است.

محیطی که دارای قابلیت انتشار پایین است نیازمند مولفه همرفتی بزرگتر همچون سرعت های بالاتر برای دستیابی به ضرایب سطحی متعارف و معمول است. این موضوع باعث ایجاد تغییری اساسی در توزیع ضریب سطح و به‌دست آمدن نایک‌نواختی دمایی بهتری شود اما در عین حال، این موقعیت می‌تواند باعث ایجاد یک رفتار گرمایی مصنوعی شود که تفاوت قابل ملاحظه‌ای با رفتار گرما در کاربری حقیقی دارد. این رفتار گرمایی ساختگی به خصوص در نمونه‌هایی با سطوح نفوذپذیر نامناسب می‌باشد.



شکل ۴



شکل ۵

۳-۶ محفظه اندازه گیر

۱-۳-۶ ساخت دیواره محفظه

عایق بندی دیواره محفظه باید با در نظر گرفتن طیف مورد نظر برای مقاومت نمونه و اختلاف دما انتخاب شود، به طوری که هر گونه خطا در ارزیابی اتلاف های محفظه اندازه گیر تا بیش از ۰/۵ درصد بر تعیین جریان گرمای نمونه تاثیر نگذارد. دیواره های محفظه باید به لحاظ گرمایی یکنواخت باشند تا به دستیابی دماهای یکنواخت درون محفظه و نیز به تعیین جریان گرما از میان دیواره ها با استفاده از یک ترموپیل یا دیگر انواع حسگرهای جریان گرما کمک نمایند.

علاوه بر آن، باید خاطر نشان ساخت که نقاط گرم همچون گرم کن ها، فن ها و غیره می توانند به دلیل تبادلات تابشی موضعی خود با دیواره های محفظه، بر نایکنواختی دمایی درون محفظه تاثیر گذار باشند. دیواره های محفظه را می توان از پانل هایی از جنس مواد عایق مناسب ساخت، برای مثال پانل ساندویچی که هسته آن پلاستیک حفره ای (سلولی) و روکش آن از جنس ماده ای مناسب است. دیواره های محفظه، درزگیر پیرامون آن و خود نمونه باید محفظه ای فراهم آورند که مانع از ورود هوا و بخار آب است تا از بروز خطاهای ناشی از انتقال هوا و رطوبت جلوگیری کنند. در ترکیب بندی محفظه گرم حفاظت شده، محفظه اندازه گیر در مقابل نمونه قرار گرفته است تا یک اتصال ضدورود هوا ایجاد کند. عرض واشر (لایی) در نوک محفظه نباید از ۲ درصد عرض اندازه گیری یا ۲۰ میلی-متر تجاوز کند.

۲-۳-۶ منبع حرارتی و گردش هوا

تامین گرما و گردش هوا باید به گونه ای باشند که تغییرات در دمای هوا در سرتاسر جریان هوای موازی با سطح نمونه، از ۲ درصد اختلاف دمایی هوا-به-هوا از طرف گرم به سرد تجاوز نکند. هر گونه شیب دمای هوا در امتداد جریان هوایی که خارج از لایه مرزی بر روی یک نمونه همگن اندازه گیری شده، نباید از 2 K/m بیشتر باشد.

گرم کن های مقاومت الکتریکی معمولاً مناسب ترین گزینه برای تامین گرما می باشند، این گرم کن ها را باید به کمک روکش های بازتابنده (صیقلی) و عایق بندی شده پوشاند تا تابش بر دیواره های محفظه اندازه گیر و بر نمونه به حداقل برسد.

توصیه می شود هنگامی که از همرفت اجباری استفاده می شود، یک جدار منعکس کننده (موج گیر) در محفظه اندازه گیر و موازی با سطح نمونه قرار گیرد. این جدار باید به اندازه کل عرض محفظه اندازه گیر امتداد یافته و دارای فواصل بازی در هر دو انتها باشد تا امکان گردش هوا را فراهم آورد. جدار می تواند به صورت عمود بر سطح خود متحرک باشد تا به تنظیم سرعت هوای موازی با سطح خود کمک کند. هنگامی که از همرفت طبیعی استفاده می شود، به کار گیری جدار برای پوشاندن سطوح نمونه در برابر انتقال گرمای تابشی گرم کن ها لازم و ضروری است.

ملاحظات بند ۲-۶ در خصوص قابلیت انتشار سطوح، در مورد جدار منعکس کننده نیز به کار گرفته می شوند.

به هنگام آزمون در حالت عمودی، گردش هوای ناشی از همرفت طبیعی می‌تواند برای اطمینان یافتن از یکنواختی دما و ضرایب سطحی مطلوب کافی باشد. هنگامی که جابجایی هوا ناشی از همرفت طبیعی است، فاصله میان نمونه و جدار باید بیشتر از ضخامت لایه مرزی بوده و یا اینکه نباید از جدار استفاده کرد. وقتی که با همرفت طبیعی دستیابی به شرایط مطلوب غیر ممکن است، باید از فن‌های در حال گردش استفاده کرد. چنانچه موتور این فن‌ها داخل محفظه اندازه گیر نصب می‌شود، مصرف نیروی آن‌ها باید اندازه‌گیری شده و به مقدار نیروی مصرفی گرم‌کن‌ها اضافه شود. در صورتی که تنها فن‌ها داخل محفظه اندازه‌گیر قرار می‌گیرند، نیروی محور باید تعیین شده و به نیروی گرم‌کن افزوده شود، میزان درستی در انجام این کار باید به گونه‌ای باشد که خطا در جریان گرمای نمونه کمتر از ۰/۵ درصد باشد.

۴-۶ محفظه محافظ

در دستگاه محفظه گرم حفاظت شده، محفظه اندازه‌گیر درون محفظه محافظ قرار گرفته است. هدف از به کارگیری این محفظه محافظ ایجاد دمای هوا و ضرایب سطحی در اطراف محفظه اندازه‌گیر به گونه‌ای است که جریان گرما از میان دیواره‌های محفظه اندازه‌گیر، Φ_3 ، و جریان گرمایی نامتعادل، Φ_2 ، در سطح نمونه از قسمت اندازه‌گیری شده تا ناحیه محافظ، به حداقل رسانده شود.

رابطه میان اندازه ناحیه اندازه‌گیری و اندازه ناحیه محافظ و عایق‌بندی لبه باید به گونه‌ای باشد که به هنگام آزمون از یک نمونه همگن با بیشینه مقاومت و ضخامت موردانتظار، خطای پیش‌بینی شده در جریان گرمایی نمونه ناشی از اتلاف گرمای محیطی، Φ_5 ، کمتر از ۰/۵ درصد جریان گرمایی اندازه‌گیری شده، Φ_1 باشد. روش تعیین مقدار این خطا را می‌توان در استاندارد بند ۲-۲ مشاهده کرد.

الزامات مورد نیاز در خصوص قابلیت انتشار، روکش کردن گرم‌کن‌ها و پایداری دمایی، در اصل برای محفظه محافظ و برای محفظه اندازه‌گیر مشابه اند. یکنواختی دمایی باید طوری باشد که تاثیر بر خطای عدم تعادل، کوچکتر از ۰/۵ درصد جریان گرما از میان ناحیه اندازه‌گیری شده نمونه باشد. معمولاً برای جلوگیری از هوای ایستا در محفظه محافظ، لازم است از فن(های) چرخنده بهره گرفت.

۵-۶ چهارچوب نمونه

در محفظه گرم واسنجی شده، به موجب اتلاف‌های گرمایی از کناره‌ها که به منظور درستی و دقت سنجش‌ها باید در حداقل نگاه داشته شوند، چهارچوب نمونه یک مولفه اصلی به شمار می‌رود. میان ظرفیت حمل بار، برای مثال تکیه‌گاه نمونه، و مقاومت گرمایی بالا رابطه‌ای وجود دارد. وجوهی که به سمت نمونه هستند باید دارای انتقال حرارتی پایینی باشند.

در ترکیب بندی معمول محفظه گرم حفاظت شده، چهارچوب نمونه حذف شده و جریان گرمای جانبی از طریق عایق‌بندی لبه به حداقل می‌رسد. هرچند در صورتی که از چهارچوب (قاب) نمونه در این دستگاه استفاده می‌شود، قاب باید طبق بند ۴-۶ باعث به حداقل رسیدن جریان گرمای جانبی گردد.

۶-۶ محفظه طرف سرد

اندازه محفظه طرف سرد تابع اندازه محفظه اندازه گیر در دستگاه محفظه گرم واسنجی شده و یا تابع محفظه محافظ در دستگاه محفظه گرم حفاظت شده می باشد؛ ترتیب قرارگیری و آرایش این محفظه در شکل ۱، ۲، ۴ و ۵ مشاهده می شود.

دیواره های محفظه (اتاقک) باید به گونه ای ساخته شوند که بار وسیله خنک کننده را کاهش داده و از چگالش (میعان) رطوبت جلوگیری کنند. سطوح داخلی اتاقک باید دارای قابلیت انتشار مطابق با تبادل گرمایی تابشی مطلوب باشند. الزامات مورد نیاز در خصوص قابلیت انتشار، روکش کردن گرم کن ها، پایداری دمایی و یکنواختی دما، در اصل مشابه محفظه اندازه گیر می باشند.

برای میزان سازی دقیق دمای طرف سرد، در خروجی تبخیرکننده معمولاً از گرم کن های مقاومت الکتریکی استفاده می شود. همانگونه که پیش تر ذکر شد، می توان از یک جدار منعکس کننده برای دستیابی به توزیع هوایی یکنواخت استفاده کرد. موتورها، فن ها، تبخیرکننده ها و گرم کن ها باید در برابر تابش روکش شوند. برای رسیدن به ضرایب سطحی مورد نیاز آزمون باید بتوان سرعت های هوا را تنظیم کرد. در شبیه سازی شرایط طبیعی برای اجزای ساختمانی، طیف سرعت هوا می تواند بین 0.1 m/s تا 10 m/s باشد.

۶-۷ سنجش های دما

در صورت امکان، حسگرهایی که برای سنجش دمای هوا و دمای سطح نمونه مورد استفاده قرار می گیرند باید بر روی نمونه با فاصله یکسان و در موقعیت مخالف نسبت به یکدیگر بر روی طرف سرد و گرم نصب شوند. باید دماهای سطحی که در طول آزمون به نمونه وارد می شوند را بررسی کرده تا بتوان متوسط دمای تابشی را محاسبه نمود.

تعداد حسگرها برای اندازه گیری دمای هوا و دمای سطح باید حداقل دو عدد در هر متر مربع بوده و کمتر از ۹ عدد نباشد، مگر در جایی که اطلاعات کافی در خصوص توزیع دما در دسترس باشد. به منظور بهبود میزان درستی و دقت سنجش ها می توان اختلافات دمای سطح و دمای هوا در نمونه و اختلافات دمای سطح در دیواره های محفظه اندازه گیر را در دو مرحله جداگانه تعیین نمود.

۶-۷-۱ سنجش دمای سطح نمونه

این سنجش ها باید به کمک حسگرهایی که انتخاب شده و در سطح به کار گرفته شده اند صورت گیرند به طوری که حسگرها دما را در نقطه در حال اندازه گیری تغییر ندهند.

برای رعایت این الزام می توان از ترموکوپل هایی با قطر سیم کمتر از 0.25 میلی متر، با اتصالات و حداقل 100 میلی متر سیم در تماس گرمایی با سطح، در امتداد هم دما ترین مسیر، استفاده کرد.

ضرایب سطحی باید تا حد ممکن به شرایط کاربری نهایی نزدیک باشند. اطلاعات مورد نیاز در خصوص ضرایب سطحی را می توان از آزمونی که بر روی نمونه های همگن آزمون شده در شرایط مشابه صورت می گیرد، به دست آورد. باید در همه موارد در تفسیر نتایج دقت و توجه کافی مبذول داشت.

در مورد نمونه های غیرهمگن، تعدادی که برای حسگرها اشاره شد نمی تواند متوسط دمای سطحی قابل اطمینانی به دست دهد. برای نمونه هایی با همگنی متوسط، می توان از حسگرهای تکمیلی در هر قسمتی که

دما در آن متغیر است بهره گرفت. آنگاه می‌توان متوسط دمای سطحی هر قسمت را متناسب با مساحت آن بخش سنجید تا به متوسط دمای سطحی نمونه دست پیدا کرد.

برای نمونه‌های بسیار ناهمگن، این کار امکان‌پذیر نیست. در این موارد، مقاومت گرمایی نمونه، R_g را نمی‌توان اندازه‌گیری کرد چراکه تنها انتقال گرمایی، U ، بر مبنای اختلاف دمای محیط در سرتاسر نمونه قابل سنجش می‌باشد.

به عنوان راهنمایی برای مقایسه نمونه‌های غیرهمگن و نمونه‌های بسیار ناهمگن، راهکار زیر توصیه می‌شود. اختلافات موضعی در دمای سطح که ناشی از ناهمگنی بیش از ۲۰ درصدی در متوسط اختلاف دمای سطح-به-سطح می‌باشند، باید به عنوان گواهی برای وجود چنین ناهمگنی‌هایی در نظر گرفته شوند.

۶-۷-۲ سنجش دمای هوا

دماهای هوا باید با سامانه‌ای که دارای یک ثابت زمانی مناسب است سنجیده شوند. حسگرهای دمای هوا باید دارای روکش مناسب در برابر تابش باشند، مگر در جایی که نشان داده شود اختلاف میان حسگرهای روکش دار و بدون روکش آنقدر ناچیز است که بر میزان درستی و دقت مورد نیاز سنجش‌ها تأثیری نمی‌گذارد. در همرفت طبیعی، حسگرهای دما باید در خارج از لایه مرزی که ضخامت آن در اغلب موارد فقط چند سانتی‌متر است قرار گیرند. در جریان متلاطم (آشفته)، ضخامت لایه مرزی ممکن است از ۰/۱ متر نیز تجاوز کند.

در همرفت اجباری (تبادل حرارتی غیرطبیعی)، جریان آشفته باید میان نمونه و جدار وجود داشته و حسگرها باید طوری قرار بگیرند که قادر به تشخیص بخش عمده دماهای هوا (دمای ادیاباتیک یا بی‌دررو) باشند.

۶-۷-۳ پیل‌های حرارتی

پیل‌های حرارتی که از آن‌ها برای کنترل جریان گرما از میان دیواره‌های محفظه اندازه‌گیر استفاده می‌شود، باید دارای نقاط اتصال باشند که به همان روش توصیف شده برای حسگرهای دمای سطحی نصب شده‌اند به طوری که حداقل یک جفت اتصال در هر ۰/۲۵ مترمربع هر سطح وجود داشته باشد. این امر مستلزم یکنواختی تراکم جریان گرما در دیواره‌های محفظه است. وجود گرم‌کن‌ها، فن‌ها و غیره می‌تواند به موجب تبادلات تابشی موضعی این اجزا با دیواره‌های محفظه، بر این یکنواختی اثرگذار بوده و از این‌رو ممکن است برای به‌دست آوردن درستی و دقت مورد نیاز، تعداد بیشتری اتصال لازم باشد.

چنین الزامات مشابهی در مورد ترموپیل استفاده شده در محفظه گرم حفاظت شده برای کنترل جریان گرمای نامتعادل، Φ_2 ، در سطح نمونه میان ناحیه اندازه‌گیری و ناحیه محافظ، به کار گرفته می‌شوند، فقط در این مورد حداقل یک جفت اتصال در هر ۰/۵ متر از محیط ناحیه اندازه‌گیری شده مورد نیاز می‌باشد.

تشخیص بهترین موقعیت برای قرارگیری حسگرهای متعادل کننده یک موضوع مهم به شمار می‌رود. این حسگرها را نمی‌توان به نوک خیلی نزدیک کرد چرا که به دلیل وجود نوک محفظه اندازه گیر، دماهای سطحی در امتداد محیط پیرامونی ناحیه اندازه‌گیری شده یکنواخت نمی‌باشند. همچنین نمی‌توان حسگرها را

از نوک خیلی دور کرد چراکه دماهای سطحی در ناحیه محافظ نمونه به موجب اتلافات گرمایی جانبی یکنواخت نیستند. نایکنواختی‌های موضعی ضرایب سطحی انتقال گرما باعث بوجود آمدن مشکلات دیگری نیز می‌شوند. باید دانست که ناهمگنی‌ها می‌توانند بر نتایج حاصل از این ترموپیل بسیار اثرگذار بوده و اطمینان یافتن از نتایج آن را با مشکل مواجه کند.

۴-۷-۶ دمای سطحی دستگاه

دماهای سطحی داخلی دستگاه را باید به همان روشی که برای دمای سطحی نمونه توصیف شد اندازه‌گیری کرد.

۵-۷-۶ کنترل دما

در حالت پایا، کنترل‌کننده‌ها باید حداقل در دو دوره آزمون متوالی، هرگونه نوسان دمایی تصادفی و انحرافات طولانی مدت را بین ۱ درصد از اختلاف دمای هوا به هوا در نمونه حفظ کنند. این الزام در ابتدا در مورد دمای محفظه اندازه‌گیری و در اصل در مورد دماهای محفظه گارد و محفظه سرد به کارگرفته می‌شود. علاوه بر آن، سامانه کنترل دماهای محفظه محافظ نباید باعث بروز خطاهای اضافی بیشتر از ۰/۵ درصد Φ_1 ، در جریان گرمای نامتعادل شود.

۸-۶ ابزار

اختلافات دمایی را باید با میزان دقت و درستی ± 1 درصد از اختلاف دمای طرف گرم به طرف سرد (هوا-به-هوا) اندازه‌گیری کرد. توصیه می‌شود ابزار اندازه‌گیری طوری نباشد که بیش از ۰/۰۵k به میزان نامعلومی‌ها (عدم اطمینان) بیافزاید. سنجش دمای قطعی باید با درستی و دقت ± 5 درصد از اختلاف دمای هوا-به-هوا انجام شوند.

میزان درستی در سنجش خروجی ترموپیل‌های متعادل‌کننده، ورودی توان گرم‌کن‌ها، فن‌ها و غیره باید به گونه‌ای باشد که خطای افزوده در سنجش‌های جریان گرمایی نمونه Φ_1 ، کوچکتر از ۱/۵ درصد باشد. (بخش مربوط به الزامات مورد نیاز برای سنجش توان فن در انتهای بند ۲-۳-۶ را مشاهده کنید).

۹-۶ ارزیابی عملکرد و واسنجی

۱-۹-۶ بررسی اولیه عملکرد

پس از اتمام ساخت، باید بررسی اولیه‌ای در مورد عملکرد دستگاه انجام داد تا اطمینان حاصل شود که الزامات و شرایط مورد نیاز طراحی رعایت شده‌اند یا خیر. این کار را باید بر روی نمونه‌های همگن شناخته شده که دارای طیف پیش‌بینی شده‌ای از مقاومت گرمایی هستند انجام داد.

این بررسی اولیه باید بر روی یکنواختی و پایداری دما، سرعت هوا و ضرایب سطحی هم برای طرف گرم و هم برای طرف سرد، بر روی تاثیر عدم تعادل جریان گرما بر درستی سنجش‌ها، و در جای ممکن، بر روی محیط پیرامونی لبه‌ها صورت گیرد.

۶-۹-۲ سنجش‌های تکمیلی

می‌توان به کمک یک فلومتر گرما، جریان گرمای موضعی‌ای را از میان بخشی از نمونه یا دستگاه تشخیص داد. رسانایی گرمایی موادی که بخشی از دستگاه را شکل می‌دهند را می‌توان به کمک محفظه گرم حفاظت شده و یا سایر روش‌های مشابه ارزیابی نمود.

از سامانه‌های اسکن مادون قرمز می‌توان برای مکان‌یابی پل‌های حرارتی و نشتی‌های هوا و نیز برای یافتن مکان‌های مناسب نقاط اندازه‌گیری دمای سطح بهره گرفت. پس از ساخت سامانه گردش هوا، پوشش هوا (لایه مرزی جریان هوا) باید اسکن شود تا تایید گردد که یک پوشش هوایی یکنواخت شکل گرفته است.

۶-۹-۳ واسنجی

۶-۹-۳-۱ آزمون

عملکرد دستگاه باید با استفاده از نمونه‌های همگنی با مقاومت گرمایی معلوم، که طیف مقاومت گرمایی به هنگام کاربری را شامل می‌شوند، تایید گردد. چنین نمونه‌هایی را می‌توان از پانل‌های فیبرمعدنی با چگالی بالا یا پلاستیک‌های حفره‌ای که در دستگاه محفظه گرم حفاظت شده مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته‌اند، به دست آورد. اتصالات مابین پانل‌ها نباید باعث شکل‌گیری پل‌های حرارتی شوند. هر دو طرف نمونه باید با روکشی غیرقابل نفوذ در برابر هوا و انتقال رطوبت پوشیده شود.

۶-۹-۳-۲ واسنجی دیواره محفظه اندازه‌گیر

دیواره‌های محفظه اندازه‌گیر باید تنظیم (واسنجی) شوند. این عمل در مورد محفظه گرم واسنجی شده و نیز محفظه گرم حفاظت شده صدق می‌کند. هدف از این واسنجی، اصلاح ورودی محفظه اندازه‌گیر، Φ_p برای جریان گرمای دیواره محفظه اندازه‌گیر، Φ_3 می‌باشد. در مورد محفظه گرم حفاظت شده، این واسنجی متاثر از Φ_2 ، و در محفظه گرم واسنجی شده متاثر از Φ_4 می‌باشد. با انجام آزمون‌های پایا بر روی یک نمونه همگن شناخته شده، و با اختلافات دمایی متفاوت در دیواره‌های محفظه اندازه‌گیر، می‌توان نمودار یا معادله‌ای برای Φ_3 به عنوان تابعی از خروجی ترموپیل دیواره محفظه اندازه‌گیر ایجاد نمود. برای اختلافات دمایی چند درجه، می‌توان این رابطه را به صورت خطی تصور کرد.

۶-۹-۳-۳ واسنجی اتلاف جانبی

اتلاف جانبی، Φ_4 ، عمدتاً تابعی از ضخامت نمونه، مقاومت گرمایی نمونه و نوع ساخت چهارچوب نمونه می‌باشد. برای به دست آوردن شیب واسنجی اتلاف جانبی، آزمون‌هایی باید در حالت پایا بر روی نمونه‌های همگن شناخته شده صورت گیرند. از آنجا که رابطه اتلاف جانبی/ ضخامت نمونه رابطه‌ای غیرخطی است، طیف ضخامت آزمون‌هایی باید طوری باشد که طیف ضخامت مورد نظر در آزمون را پوشش دهد. چنانچه مقاومت نمونه در هر واحد از ضخامت تغییر قابل توجهی داشته باشد، روش واسنجی را باید تکرار کرد تا طیف R/d در کاربری مورد نظر را شامل گردد.

به جای واسنجی می‌توان از روش‌های محاسباتی مناسب، همچون روش المان‌های محدود یا تفاضل متناهی، برای برآورد کردن اتلاف‌های جانبی استفاده کرد، هرچند این روش‌ها نیز باید به کمک چند آزمون واسنجی تایید شوند.

از آنجا که اتلاف جانبی به اختلاف دمای میان طرف گرم و طرف سرد و نیز میان دستگاه و اتاقی که دستگاه در آن قرار گرفته بستگی دارد، آزمون‌های واسنجی باید طوری انجام شوند که طیف شرایط دمایی که دستگاه در آن به کار گرفته خواهد شد را پوشش دهند.

۷ روش آزمون

۱-۷ مقدمه

برای انجام آزمون، لازم است کارور با دو بخش پیشین آشنایی کامل داشته باشد. از آنجا که آزمون‌ها با اهداف بسیار متفاوتی صورت می‌گیرند، روش انجام آن‌ها نیز بسیار متنوع است.

در مورد یک نمونه خاص، باید تصمیم گرفت که آیا روش مورد نظر در مورد آن قابل به کارگیری است یا استفاده از سایر روش‌ها، همچون محفظه گرم حفاظت شده، فلو متر گرما یا محاسبات مناسب تر می‌باشد. از بررسی و تحلیل نمونه می‌توان به طیفی از ارقام ممکن برای ویژگی‌های گرمایی نمونه دست یافت. مقدار درستی و دقت سنجش‌ها نیز باید ارزیابی شده و با هدف آزمون مرتبط باشد.

۲-۷ آماده سازی شرایط لازم برای نمونه

در خصوص نمونه‌هایی که جریان گرما در آن‌ها متأثر از وجود رطوبت است، نحوه آماده سازی شرایط را باید در گزارش قید کرد. در جای لازم باید جرم نمونه، قبل و بعد از آزمون، گزارش شده و یا نمونه‌های مغزه قبل و بعد از آزمون گرفته شوند.

۳-۷ انتخاب نمونه و نصب آن در دستگاه

نمونه مورد آزمون باید طوری انتخاب شده یا ساخته شود که بتواند نشانگر و معرف خوبی از کل ماده باشد. در مورد نمونه‌های ناهمگن، باید موارد زیر را مد نظر قرار داد. برای محفظه گرم حفاظت شده، باید درست-ترین راه تشخیص عدم تعادل را پیدا کرد (هوا به هوا یا هوا به سطح). هنگامی که دماهای سطح در نزدیکی محیط پیرامون ناحیه اندازه‌گیری بسیار یکنواخت‌اند، تشخیص عدم تعادل جریان گرما در سطح نمونه و ارزیابی جریان گرما از میان محفظه، Φ_3 ، می‌تواند به عنوان درست ترین راه کار ممکن در نظر گرفته شود. هرچند، وقتی که در مجاورت محیط پیرامونی ناحیه اندازه‌گیری ناهمگنی و نایکنواختی وجود داشته باشد، راهکار تعادل هوا به هوا تنها راهکار ممکن بوده و در این صورت جریان گرمای نامتعادل، Φ_2 ، منبع نامعلومی از خطا به شمار می‌رود. در محفظه گرم حفاظت شده، پل‌های حرارتی باید در صورت امکان به صورت متقارن بر روی خط مرزی مابین ناحیه اندازه‌گیری و ناحیه محافظ ایجاد شوند به طوری که نیمی از مساحت پل حرارتی در محفظه اندازه‌گیر و نیم دیگر در محفظه محافظ قرار گیرد.

چنانچه نمونه مدولار است، ابعاد محفظه اندازه گیر باید مضرب مناسبی از مدول باشند. محیط پیرامونی محفظه اندازه گیر باید یا با خطوط مدول منطبق بوده و یا در وسط خطوط مدول قرار گیرد. چنانچه رعایت کردن این الزامات غیر ممکن است، باید چندین آزمون با موقعیت های مختلف برای ناحیه اندازه گیری انجام داد، نتایج این آزمون ها باید به دقت مد نظر قرار گرفته و در صورت امکان، با محاسبات و سنجش های مربوط به دما و جریان گرما تکمیل گردند.

در محفظه گرم واسنجی شده، باید تاثیر پل های حرارتی در لبه های نمونه بر روی انتقال جانبی را مد نظر قرارداد. همانطور که گفته شد، ممکن است لازم باشد از آزمون های تکمیلی با موقعیت های مختلف برای محفظه اندازه گیر بهره گرفت که در مورد محفظه گرم واسنجی شده این موضوع به معنای استفاده از نمونه های متفاوت است که معرف بخش های مختلف از سازه ها می باشند.

نمونه باید طوری در دستگاه نصب شود که نه هوا و نه رطوبت نتوانند از لبه ها به نمونه نفوذ پیدا کرده و یا از طرف گرم به سرد یا برعکس جابجا شوند.

لبه های نمونه باید عایق بندی شوند، به طوری که Φ_5 تا سطحی کاهش یابد که درستی و دقت مورد نیاز به دست آید.

این نکته نیز باید مشخص شود که آیا لازم است همه وجوه نمونه درزگیری شوند تا از نفوذ هوا به درون نمونه جلوگیری گردد و آیا کنترل کردن نقطه شبنم هوا روی طرف گرم لازم می باشد یا خیر.

برای آزمون های محفظه گرم حفاظت شده، باید معلوم کرد که آیا حفره های پیوسته در نمونه نیازمند جداره هستند و آیا وجوهی با رسانندگی بالا باید در محیط پیرامون محفظه اندازه گیر برش خورده شوند یا خیر. چنانچه سطح نمونه نایک نواخت است، ممکن است لازم باشد در محل تماس با درزگیر دور محفظه اندازه گیر، سطح را با گچ، بتونه و یا دیگر مواد مناسب صاف و یکدست کرد تا از درزبندی مناسب میان محفظه اندازه گیر و محفظه محافظ اطمینان حاصل شود.

چنانچه نمونه مورد آزمون کوچکتر از اندازه تعیین شده برای نمونه در محفظه اندازه گیر باشد، نمونه بر روی یک جزء دکل مانند، برای مثال روی دیواره ای که نمونه در آن جای می گیرد نصب می گردد.

جریان گرما در ناحیه مرزی میان روکش و نمونه تک جهتی نخواهد بود، این مشکل را می توان با انتخاب نمونه و روکشی با ضخامت و مقاومت گرمایی مشابه به حداقل رساند. در برخی موارد برای مثال در آزمون پنجره ها، این کار امکان پذیر نیست. در چنین مواردی، وقتی که مقاومت روکش با مقاومت دیواری که پنجره روی آن نصب می شود متفاوت باشد، و خطوط جریان در قاب پنجره با خطوط جریان در کاربری نهایی متفاوت باشند، پیش بینی درستی آزمون ها دشوار خواهد بود. برای برطرف کردن این مشکلات باید مجموعه ای از آزمون ها را بر روی نحوه نصب نمونه انجام داد تا بتوان نتایج حاصل از این آزمون ها را مقایسه و تفسیر کرد. توصیف این آزمون ها خارج از چهارچوب اهداف این استاندارد است.

۴-۷ شرایط آزمون

شرایط آزمون باید با توجه به نوع کاربری نهایی و با در نظر گرفتن تاثیر آن بر میزان دقت و درستی سنجش ها انتخاب شوند. هم متوسط دمای آزمون و هم اختلافات دما بر نتایج اثرگذارند. دماهای متوسط

(۱۰ تا ۲۰) درجه سلسیوس و اختلاف دمایی حداقل ۲۰ درجه سلسیوس، در کاربری‌های ساختمانی معمول هستند. سرعت هوا در طرف‌های گرم و سرد باید مطابق با هدف آزمون تنظیم شود. کنترل‌کننده‌های دما باید به شیوه‌ای تنظیم گردند که مقدار Φ_2 یا Φ_3 و یا هردو، کم و یا صفر باشد.

۵-۷ دوره‌های زمانی سنجش

زمان مورد نیاز برای رسیدن به پایداری در آزمون‌های پایا به فاکتورهایی همچون مقاومت گرمایی و ظرفیت گرمایی نمونه، ضرایب سطحی، حضور انتقال جرمی و/یا جابجایی رطوبت میان نمونه، نوع و عملکرد کنترولرهای خودکار دستگاه بستگی دارد. به دلیل تغییر و تنوع این فاکتورها، ارایه یک معیار واحد برای حالت پایا امکان‌پذیر نمی‌باشد.

در زیر مثالی برای یکی از شروط لازمه در حالت پایا آورده شده است: سنجش‌های مربوط به R و U ، Φ_p و T در دو دوره زمانی متوالی حداقل ۳ ساعته، پس از اینکه پایداری نسبی ایجاد شد، باید تا ۱ درصد بوده و نتایج نباید بصورت یک طرفه تغییر پیدا کنند. برای نمونه‌هایی با مقاومت گرمایی بالا یا جرم بالا و یا هردو، این لازمه حداقلی کافی نبوده و دوره زمانی آزمون باید افزایش پیدا کند.

۶-۷ محاسبات

در حالت پایا، متوسط ویژگی‌های انتقال حرارتی تعریف شده در بند ۳ مطابق با ۶-۷ و ۸-۶ محاسبه می‌شوند.

۱-۶-۷ نمونه‌های همگن

در مورد نمونه‌های همگن و یا کمتر از ۲۰ درصد ناهمگنی دارند، می‌توان مقاومت گرمایی، R ، را براساس دماهای سطحی و انتقال پذیری، U ، و ضریب سطحی انتقال گرما، h ، را بر اساس دماهای محیطی محاسبه کرد.

معمولاً از ارقام متعارف ارایه شده در استانداردهای ساختمانی برای به‌دست آوردن مقاومت گرمایی مساحت کل از R سنجیده شده، استفاده می‌شود.

۲-۶-۷ نمونه‌های غیرهمگن

در آزمون نمونه‌هایی که در محدوده همگنی ذکر شده قرار نمی‌گیرند و یا در مورد نمونه‌هایی با هندسه خاص، تنها انتقال پذیری گرمایی، U ، محاسبه می‌گردد. در این محاسبه باید از دماهای محیطی t_{ni} و t_{ne} بهره گرفت.

۳-۶-۷ ارزیابی نتایج

نتایج آزمون باید با برآورد ذکر شده در بند ۷-۱ مقایسه شوند. در صورتی که اختلاف قابل توجهی میان آن‌ها موجود داشته باشد، باید نمونه را به دقت بررسی کرده تا محل هر گونه اختلاف با خصوصیات آن مشخص شود؛ آنگاه باید برآورد آزمایشی مجدداً با یافته‌های به‌دست آمده از این بررسی تکرار شود. چنانچه اختلافات

غیر قابل توصیفی میان برآوردهای آزمایشی (تجربی) و داده‌های سنجیده شده وجود داشته باشد، باید احتمال استفاده از روش‌های نادرست محاسبه و یا احتمال وجود خطاهای آزمون را مورد بررسی قرار داد.

۷-۷ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

۷-۷-۱ ارجاع به این استاندارد و مطابقت با آن و ذکر هرگونه انحراف از این استاندارد در گزارش آزمون؛
۷-۷-۲ معرفی آزمایشگاهی که آزمون در آن انجام می‌شود با ذکر آدرس، تاریخ آزمون و درخواست کننده آزمون در صورت امکان؛

۷-۷-۳ اطلاعات لازم در مورد دستگاه آزمون، ابعاد و قابلیت انتشار سطوح داخلی آن؛
۷-۷-۴ معرفی و توصیف نمونه مورد آزمون با ذکر مکان حسگرها؛
۷-۷-۵ روش آماده سازی شرایط موردنیاز برای نمونه، جرم نمونه قبل و بعد از آزمون، میزان رطوبت و روش تعیین آن؛

۷-۷-۶ جهت قرارگیری نمونه در دستگاه و جهت انتقال گرما؛
۷-۷-۷ متوسط سرعت هوا و جهت آن نسبت به طرف گرم و سرد؛
۷-۷-۸ ورودی توان کل و انتقال گرمایی خالص از میان نمونه.
گزارش آزمون برای تعیین مقاومت گرمایی R مطابق با بند ۷-۶-۱، باید شامل اطلاعات موارد هشتگانه زیر نیز باشد.

یادآوری- ارقامی که باید با توجه به موارد ۷-۷-۹ تا ۷-۷-۱۶ در گزارش آزمون آورده شوند، مقادیر متوسطی از همه نتایج خوانده شده یا دوره های زمانی سنجش پس از دوره های موقتی اولیه می‌باشند.

۷-۷-۹ دمای هوا در طرف گرم و سرد؛
۷-۷-۱۰ دمای سطحی در طرف گرم و سرد؛
۷-۷-۱۱ دمای سطحی اندازه گیری شده برای طرف گرم و سرد؛
۷-۷-۱۲ مقاومت گرمایی محاسبه شده و ضرایب سطحی معمول انتقال گرما طبق آیین‌نامه‌های ساختمانی، جهت محاسبه انتقال حرارتی؛

۷-۷-۱۳ درستی و دقت برآورد شده؛

۷-۷-۱۴ مدت زمان آزمون؛

۷-۷-۱۵ سنجش‌های تکمیلی، برای مثال میزان رطوبت موادی که بخشی از نمونه را شکل می‌دهند؛
۷-۷-۱۶ سایر اطلاعات مربوط به آزمون، برای مثال هرگونه اختلاف قابل توجه یا توصیف نشده میان نتایج آزمون و برآوردهای آزمایشی مطابق با بند ۷-۱ مربوط به نتیجه بررسی نمونه و تفسیر احتمالی اختلافات.
یادآوری- ارقامی که باید با توجه به موارد ۷-۷-۱۷ تا ۷-۷-۲۳ در گزارش آزمون آورده شوند، مقادیر متوسطی از همه نتایج خوانده شده یا دوره های زمانی سنجش پس از دوره های موقتی اولیه می‌باشند.

۷-۷-۱۷ دمای هوا در طرف گرم و طرف سرد؛

۷-۷-۱۸ دمای محیطی محاسبه شده برای طرف گرم و سرد؛

۷-۷-۱۹ انتقال حرارتی محاسبه شده و ضرایب سطحی انتقال گرما در یک نمونه همگن؛

۷-۷-۲۰ دقت و درستی برآورد شده؛

۷-۷-۲۱ مدت زمان آزمون؛

۷-۷-۲۲ سنجش‌های تکمیلی، برای مثال رسانایی گرمایی و میزان رطوبت موادی که بخشی از نمونه

هستند؛

۷-۷-۲۳ سایر اطلاعات مرتبط با آزمون، برای مثال هرگونه اختلاف قابل توجه یا توصیف نشده میان نتایج

آزمون و برآوردهای آزمایشی مطابق با بند ۷-۱ مربوط به نتیجه بررسی نمونه و تفسیر احتمالی اختلافات.

پیوست الف

(الزامی)

انتقال گرما در سطوح و دماهای محیطی

گرما هم از طریق تبادلات تابشی با دیگر سطوح در محفظه و هم از طریق انتقال گرمایی همرفتی، به/از نمونه منتقل می‌گردد. مقدار انتقال گرما در سازوکار نخست، به متوسط دمای تابشی مشاهده شده توسط پانل آزمون و در سازوکار دوم، به دمای هوای مجاور بستگی دارد. از این روجریان گرما از میان نمونه هم متأثر از تابش و هم متأثر از دماهای هوا در دو طرف نمونه می‌باشد.

الف-۱ دمای محیط

معادله تعادل گرما در هر سطح از نمونه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\Phi}{A} = Eh_r(T_r - T_s) + h_c(T_a - T_s) \quad \text{الف-۱}$$

که در آن،

Φ/A جریان گرما به درون سطح در هر واحد از مساحت، به واحد وات در هر متر مربع؛

T_r متوسط دمای تابشی که نمونه به خود دیده، به واحد کلوین یا درجه سلسیوس؛

T_a دمای مجاور نمونه، به واحد کلوین یا درجه سلسیوس؛

T_s دمای سطح نمونه، به واحد کلوین یا درجه سلسیوس؛

E فاکتور قابلیت انتشار؛

h_r ضریب تابش، به واحد وات در هر متر مربع کلوین؛

h_c ضریب همرفت، به واحد وات در هر متر مربع کلوین.

می‌توان به سادگی تابش و دماهای هوا را به صورت یک شاخص واحد، دمای محیط T_n ، ترکیب کرد که نشان دهنده اندازه‌گیری صحیح دماهای تابشی و هوا برای تعیین جریان گرما به سطح می‌باشد.

با نوشتن

$$\frac{\Phi}{A} = \frac{1}{R}(T_n - T_s) \quad \text{الف-۲}$$

که در آن R_s مقاومت گرمایی سطح می‌باشد؛ معادله زیر با معادله الف-۱ برابر است:

$$T_n = \frac{Eh_r}{Eh_r + h_c}T_r' + \frac{h_c}{Eh_r + h_c}T_a \quad \text{الف-۳}$$

$$R_s = \frac{1}{Eh_r + h_c}$$

به طور کلی، اختلاف میان دمای محیط در دو محفظه باید برای تعیین انتقال پذیری گرمایی مورد استفاده قرار گیرد و معادله الف-۲ برای تعیین مقاومت گرمایی سطح به کار گرفته می‌شود.

هرچند، در عمل اغلب مشاهده می‌شود که T_a و T_r' هم در محفظه گرم و هم در محفظه سرد، بسیار شبیه به یکدیگرند، بویژه وقتی که نمونه دارای مقاومت بالا، بسیار بالاتر از مقاومت‌های سطح است، یا وقتی که همرفت اجباری مورد استفاده قرار می‌گیرد به گونه‌ای که h_c به مراتب بزرگتر از Eh_r می‌باشد. در این شرایط، تعیین کردن انتقال‌پذیری گرمایی از دماهای هوا در هر طرف از نمونه کفایت خواهد کرد، البته در جایی که معلوم شده برای دستگاه و برای شرایط آزمونی که باید به کار گرفته شوند، خطاهای قابل چشم‌پوشی بروز خواهند کرد.

برای تعیین مقاومت گرمایی نمونه، تنها متوسط دماهای سطحی مورد نیاز اند.

الف-۲ محاسبه دماهای محیط

دمای محیطی را می‌توان از معادله الف-۳ به دست آورد اگر که ضرایب Eh_2 و h_c معلوم بوده و دمای T_t و T_a سنجیده شده باشند.

چنانچه در مجاورت و موازی با سطح نمونه جداری قرار گرفته است، می‌توان متوسط دمای آن را به صورت T_t و $\frac{1}{E} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1$ در نظر گرفت که در آن، ε_1 و ε_2 به ترتیب قابلیت انتشار سطوح جدار و سطوح نمونه می‌باشند.

در جایی که جدار با رنگ مشکی مات پوشیده شده ($\varepsilon_1 = 0.97$)، اغلب مصالح ساختمانی $E = 0.9$ به دست می‌دهند اما این مقدار باید برای هر نمونه در نظر گرفته شود. ضریب تابشی $h_t = 4\sigma T_m^3$ در جایی که σ ثابت استفان $[5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)]$ و T_m دمای متوسط مطلق تابشی مناسب است، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$T_m^3 = \frac{(T_r^2 + T_s^2)(T_r + T_s)}{4}$$

یا

$$T_m = \frac{T_r + T_s}{2}$$

چنانچه سطوحی غیر از جدار به طور مستقیم بر نمونه بتابند، لازم است دماهای همه چنین سطوحی را اندازه گیری کرده و آن‌ها را با استفاده از فاکتورهای مناسب بایکدیگر ترکیب کرد تا T_t را به دست آورد.

ضریب همرفت h_c که به فاکتورهای مختلفی همچون اختلاف دمای سطح هوا، ناهمواری سطح، سرعت هوا و جهت جریان گرما بستگی دارد به آسانی قابل پیش بینی نیست.

معمولا برای همرفت طبیعی در یک سطح عمود $h_c = 3.0 W/(m^2.k)$ می باشد اما در صورت وجود همرفت اجباری، این مقدار ممکن است بسیار بیشتر شود.

در جایی که در مورد مقدار h_c تردید وجود دارد، می توان از معادلات الف-۱ و الف-۲ مقدار آن را به صورت زیر مشخص ساخت:

$$T_n = \frac{T_a \frac{\Phi}{A} + E h_2 (T_a - T_r') T_s}{\frac{\Phi}{A} + E h_2 (T_a + T_r')}$$

این عبارت برای جریان گرما به دورن یا بیرون از یک سطح برقرار است مشروط بر این که، اگر جریان گرما به داخل سطح است علامت Φ به صورت مثبت در نظر گرفته شود (یعنی مثبت در طرف گرم، منفی در طرف سرد).

استفاده از عبارت الف-۴ نیازمند داشتن اطلاعات در مورد متوسط دمای سطحی نمونه T_s است. برای نمونه-های نایک نواخت نمی توان از این معادله استفاده کرد؛ در این مورد معادله الف-۳ را می توان به کار گرفت و مقدار h_c را از داده های به دست آمده از آزمون هایی که بر روی نمونه های یکنواخت دیگری صورت گرفته اند، تخمین زد.