



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۱۵۲۰

چاپ اول

ISIRI

11520

1st. edition

عملکرد حرارتی مصالح و محصولات
ساختمانی - تعیین مقاومت حرارتی با
روش‌های لوح گرم محافظت شده و
جریان حرارت سنج - محصولات ضخیم با
مقاومت حرارتی زیاد و متوسط

**Thermal performance of building materials
and products- Determination of thermal
resistance by means of guarded hot plate
and heat flow meter methods- thick
products of high and medium thermal
resistance**

ICS:91.100.60

به نام خدا

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه* 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 ذیصلاح 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 شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بینالمللی بهره گیری می شود.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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. مؤسسه 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 سا زمانها 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، مؤسسه استاندارد 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 آنها 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 مؤسسه است.

* مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1- International organization for Standardization

2 - International Electro technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

" عملکرد حرارتی مصالح و محصولات ساختمانی - تعیین مقاومت حرارتی با روش‌های لوح گرم
محافظت شده و جریان حرارت سنج - محصولات ضخیم با مقاومت حرارتی زیاد و متوسط "

رئیس:

کوثری ، فرشاد
(دکترای مهندسی مکانیک)

سمت و / یا نمایندگی

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

دبیر:

محمدکاری ، بهروز
(دکترای فیزیک ساختمان)

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان
و مسکن

هراتیان‌نژاد ، الهام
(کارشناس ارشد فیزیک)

کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

لنکرانی ، مهرناز
(کارشناس ارشد مهندسی معماری)

کارشناس شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

مفیدی ، صادق
(کارشناس مهندسی مکانیک)

مدیر سایت مرکز اطلاعات عایق‌های حرارتی

نائیچی ، کامران
(کارشناس ارشد مهندسی مکانیک)

کارشناس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

ویسه ، سهراب
(دکترای مهندسی معدن)

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان
و مسکن

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ج	آشنایی با مؤسسه استاندارد
د	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات، تعاریف، نمادها و یکاها
۳	۴ دستگاه آزمون
۴	۵ روش‌های آزمون
۱۱	۶ محاسبات و گزارش آزمون
۱۶	پیوست الف (الزامی) تجهیزات
۱۹	پیوست ب (الزامی) برنامه‌ها یا الگوهای محاسباتی کمکی برای آزمون‌های ضخیم
۲۴	پیوست پ (اطلاعاتی) روش‌های کار پیشرفته برای آزمون‌های ضخیم با ضخامتی بیش از ظرفیت دستگاه
۳۵	پیوست ت (اطلاعاتی) مواردی که انتظار می‌رود در استاندارد محصول مشخص شده باشد

پیش گفتار

استاندارد " عملکرد حرارتی محصولات و مصالح ساختمانی - تعیین مقاومت حرارتی با روش‌های لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت سنج - محصولات ضخیم با مقاومت حرارتی زیاد و متوسط " که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن) تهیه و تدوین شده و در دویست و سی و امین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۸۷/۱۲/۲۴ 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 پیشرفت های 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.

منابع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

BS EN 12939:2001 Thermal performance of building materials and products- Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods- thick products of high and medium thermal resistance

عملکرد حرارتی مصالح و محصولات ساختمانی - تعیین مقاومت حرارتی با روش‌های لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت سنج - محصولات ضخیم با مقاومت حرارتی زیاد و متوسط

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین روش‌هایی برای اندازه‌گیری مقاومت حرارتی محصولات ضخیم‌تر از حداکثر ضخامت برای دستگاه‌های لوح گرم محافظت شده یا جریان حرارت سنج است. در مورد اغلب روش‌های توصیف شده در این استاندارد، به دستگاهی با ضریب آزمون آزمون‌های با ضخامت بیش از ۱۰۰ میلی‌متر نیاز است.

این استاندارد رهنمودهایی را برای ارزیابی ارتباط اثر ضخامت بر مقاومت حرارتی ارائه می‌دهد و مشخص می‌کند که آیا مقاومت حرارتی یک محصول ضخیم می‌تواند از مجموع مقاومت‌های حرارتی تکه‌های بریده شده از همان محصول محاسبه شود یا خیر. همچنین این رهنمودها، مطالب ارائه شده در استاندارد بند ۲-۷ برای دستگاه لوح گرم محافظت شده را تکمیل می‌کند.

این استاندارد شرایط مورد نیاز در آزمون‌ها، برای جلوگیری از شروع همرفت ارائه می‌دهد، این شرایط می‌تواند در برخی از محصولات تحت اختلاف دما و ضخامت‌های در نظر گرفته شده اتفاق بیافتد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن 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 این استاندارد ملی ایران 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 کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 EN 1946-2:1999, Thermal performance of building products and components- Specific criteria for assessment of laboratories measuring heat transfer properties- Part 2: Measurements by guarded hot plate method

2-2 EN 1946-3:1999, Thermal performance of building products and components- Specific criteria for assessment of laboratories measuring heat transfer properties- Part 3: Measurements by heat flow meter method

۲-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۸۶۲۱ : سال ۱۳۸۵، مصالح ساختمانی - فراورده‌های با مقاومت حرارتی

متوسط و زیاد- تعیین مقاومت حرارتی- روش لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت سنج

2-4 EN ISO 7345, Thermal insulation- Physical quantities and definitions (ISO 7345: 1987)

2-5 EN ISO 9288, Thermal insulation- Heat transfer by radiation- Physical quantities and definitions (ISO 9288: 2989)

- 2-6 ISO 8301:1991, Thermal insulation- Determination of steady state thermal resistance and related properties- Heat flow meter apparatus
- 2-7 ISO 8302:1991, Thermal insulation- Determination of steady state thermal resistance and related properties- Guarded hot plate apparatus

۳ اصطلاحات، تعاریف، نمادها و یکاها

۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریفی که در استاندارد بند ۲-۴ و ۲-۵ آمده، به کار می‌رود. یادآوری: استاندارد بند ۲-۵، فقط خاموشی سمتی طیفی^۱، ضرایب جذب^۲ و پراکندگی^۳ و آلبدو طیفی جهتی^۴ را تعریف می‌کند، در حالی که این استاندارد تمامی ضرایب نیم‌کروی که می‌تواند از انتگرال‌گیری‌های مناسب دیگر ضرایب به دست آید را ارائه می‌دهد.

۲-۳ نمادها و یکاها

نماد	کمیت	یکا
A	پارامتر هدایت	$W/(m.K)$
B	پارامتر هدایت صلب	m^3/kg
C	پارامتر تابش	$W.m^2/(kg.K)$
E	پارامتر خاموشی ترکیبی تابش و هدایت	m^{-1}
F	مکمل سازگاری مدل وحدت دو شار آلبدو	
L	پارامتر اثر ضخامت	
R	مقاومت حرارتی	$m^2.K/W$
R_{02}, R_{01}, R_0	مقاومت حرارتی برون‌یابی شده در ضخامت صفر	$m^2.K/W$
T	دمای ترمودینامیکی	K
τ	ضریب انتقال d/R (آزمونه)	$W/(m.K)$
Z	پارامتر گسیلندگی	
d	ضخامت	m
d_b	قطر متوسط دانه‌ها یا مهره‌ها	m
d_∞	ضخامتی که پس از آن مقاومت حرارتی خطی می‌شود	m
e	نسبت دمای لبه	
h_r	ضریب انتقال حرارت سطحی تابشی	$W/m^2.K$

-
- 1-Spectral directional extinction
 2- Absorption
 3- Scattering coefficient
 4- Spectral directional albedo

W/m^2	شار حرارت	q
W/m^2	شار حرارت تابشی	q_r
W/m^2	شار حرارت کل	q_t
s	زمان	t
m^2/kg	پارامتر خاموشی جرمی	β^*
	ضریب گسیل (گسیلندگی) ^۱	ε
$W/(m.K)$	ضریب هدایت حرارتی (رسانندگی) ^۲	λ
$W/(m.K)$	ضریب هدایت حرارتی هوا (رسانندگی هوا)	λ_a
$W/(m.K)$	ضریب هدایت حرارتی گاز	λ_g
$W/(m.K)$	ضریب هدایت حرارت تابشی (یک ماده) ^۳	λ_r
$W/(m.K)$	ضریب هدایت حرارتی (رسانندگی) ترکیبی گازی و جامد (یک ماده)	λ_{cd}
$W/(m.K)$	ضریب انتقال حرارت ^۴ (یک ماده) $\Delta d/\Delta R$	λ_t
$^{\circ}C$	دمای سلسیوس	θ
kg/m^3	چگالی	ρ
kg/m^3	چگالی خمیره صلب	ρ_s
$W/(m^2.K^4)$	ثابت استفان بولتزمن	σ_n
	آلبدو مدل دو شاره	ω^*

۴ وسایل

۴-۱ کلیات

دستگاه مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌ها، یک دستگاه لوح گرم محافظت شده یا دستگاه جریان حرارت‌سنج مطابق با الزامات استاندارد بند ۲-۳ است. این استاندارد معیارهای طراحی و کنترل عملکرد مستند و همچنین تعیین ضریب گسیل (گسیلندگی) دستگاه را ارائه نمی‌دهد. این موارد همراه با الزامات دستگاهی که با روش‌های توصیف شده در این استاندارد قابل اجرا می‌باشد، در استانداردهای بند ۲-۱ و ۲-۲، بر اساس دستگاه مورد استفاده، ارائه شده‌اند. تنها الزامات مربوط به ابعاد آزمون و رواداری‌ها در این استاندارد مطرح شده‌اند.

۱- Emissiity

۲- Thermal conductivity

۳- Radiativity

۴- Thermal transmissivity

در صورتی که صریحاً اشاره نشده باشد، فرض می‌شود الزامات دستگاه لوح گرم محافظت شده در دستگاه جریان حرارت‌سنج نیز قابل اعمال است.

بعضی از ابعاد و رواداری‌های توصیه شده در این استاندارد ارائه شده‌اند. در بند ۲-۴ و ۳-۴، الزامات برای شرایط آزمون متداول مشخص شده است. اطلاعات بیشتر در پیوست الف ارائه شده است.

۲-۴ حداکثر ضخامت آزمون

حداکثر ضخامت آزمون باید مطابق با استاندارد بند ۲-۳ باشد. همچنین، مقادیر حدی در جدول الف-۱ استاندارد فوق برای ابعاد متداول دستگاه ارائه شده است. اطلاعات بیشتر مربوط به آزمون با چگالی کم در پیوست الف این استاندارد مطرح شده است.

۳-۴ حداقل ضخامت آزمون، رواداری‌های تخت بودن

در روش‌های توصیف شده در این استاندارد، ممکن است به اندازه‌گیری‌هایی در حداقل ضخامت مجاز آزمون نیاز باشد (که به نوبه خود به پارامترهای دستگاه و شرایط آزمون بستگی دارد). الزامات استاندارد بند ۲-۳ باید برآورده شود و حتی به آزمون‌های با مقاومت حرارتی کم در حد 0.3 متر مربع کلوین بر وات تعمیم داده شود. شرایط آزمون زیر باید در ارتباط با این استاندارد برای هر دو دستگاه لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت‌سنج در نظر گرفته شود:

(۱) آزمون‌ها با آزمون‌های غیر صلب که سطح تماس خوبی با دستگاه ایجاد می‌کنند و مقاومت حرارتی آنها بزرگتر یا مساوی 0.3 متر مربع کلوین بر وات است. مثل تخته‌های پشم معدنی یا تخته‌های الاستومری سلولی. در این مورد، انحراف از سطح صاف موجب خطا در اندازه‌گیری ضخامت آزمون می‌شود. این خطا باید کمتر از 0.5 درصد باشد (به جدول الف-۱ از استاندارد بند ۲-۳ مراجعه شود). برای جزئیات بیشتر پیوست الف این استاندارد را ببینید.

(۲) آزمون‌ها با آزمون‌های صلب که مقاومت حرارتی بزرگتر یا مساوی 0.3 متر مربع کلوین بر وات دارند، مثل تخته‌های پلی‌استایرن یا پلی‌یورتان صلب. در این موارد، انحراف از سطح صاف ایجاد مقاومت تماسی می‌کند. این مقاومت تماسی باید کمتر از 0.5 درصد مقاومت حرارتی آزمون باشد (به جدول الف-۲ از استاندارد بند ۲-۳ مراجعه شود).

این استاندارد، روش‌های خاص آزمون (استفاده از صفحات تماسی) قابل اعمال به آزمون‌های با مقاومت حرارتی کمتر از 0.3 متر مربع کلوین بر وات، را پوشش نمی‌دهد.

۵ روش‌های آزمون

۱-۵ کلیات

آماده‌سازی و جابجایی آزمون باید مطابق با استاندارد بند ۲-۳ انجام شود. آماده‌سازی خاص آزمون باید بر اساس استاندارد مناسب محصول و با ارجاع به روش‌های توصیف شده در این استاندارد انجام شود.

۵-۲ ملاحظات مقدماتی

مقاومت حرارتی R ، مواد عایق حرارتی با چگالی کم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = R_0 + \frac{d}{\lambda_t} \quad (۱)$$

که R_0 مقاومت حرارتی برون‌یابی شده در ضخامت صفر می‌باشد. ضریب انتقال T از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$t = \lambda_t \cdot \frac{1}{1 + \frac{\lambda_t}{d} \cdot R_0} \quad (۲)$$

روش‌های تشریح شده در این استاندارد می‌تواند به صورت زیر دسته‌بندی شود:

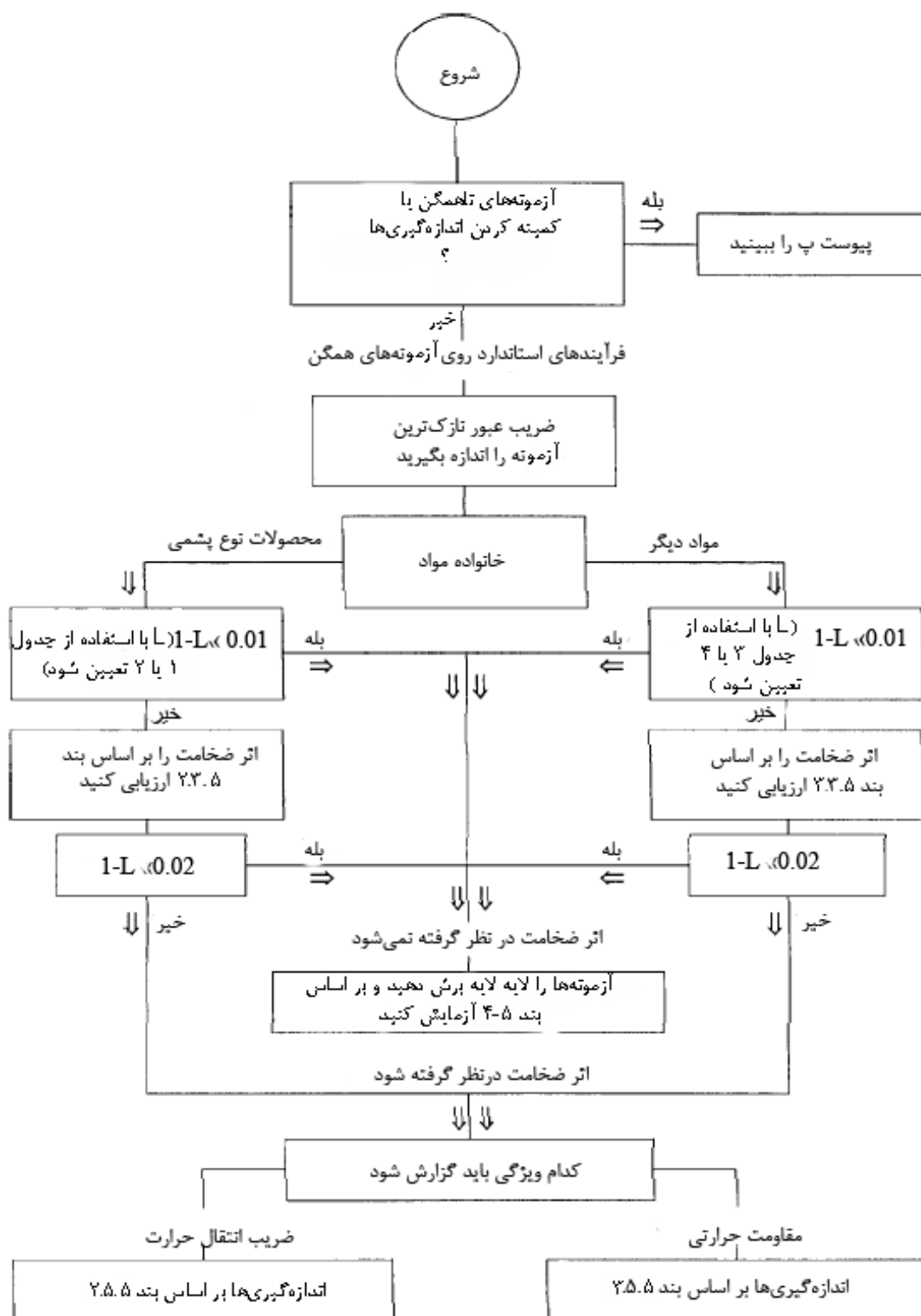
۱) روش‌های اولیه برای ارزیابی این که آیا اثر ضخامت آزمون قابل چشم‌پوشی است یا خیر؟

۲) روش‌های قابل اجرا در مواردی که اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی نیست

۳) روش‌های قابل اجرا در مواردی که اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی است

روش‌های توصیف شده در این استاندارد به محصولاتی با ضخامت بیش از d_∞ اعمال می‌شود، مگر در مواردی که از جداول ۳ و ۴، که ضخامت‌های کمتر از d_∞ را نیز شامل می‌شود، استفاده گردد. در روش‌های کار، بیشتر فرض می‌شود که محصولات به اندازه کافی همگن هستند و هیچ یک از مقادیر خاص مقاومت حرارتی اندازه‌گیری شده بیش از ۰٫۷ درصد از درون‌یابی خطی منحرف نمی‌شود.

وقتی که این شرایط برآورده نمی‌شوند، یا در مواردی که لازم است تعداد اندازه‌گیری‌ها حداقل باشد، پیوست پ باید برای راهنمایی در نظر گرفته شود. یک فلوچارت از گزینه‌های آزمون در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- روش کار آزمون آزمون‌های ضخیم

یادآوری ۲: به دلیل وجود مکانیسم‌های متفاوت خاموشی تابش، روش‌های کار این استاندارد برای خانواده‌های مختلف مواد، متفاوت است.

یادآوری ۳: با توجه به لازمه تعدد فعالیت‌ها در روش‌های کار آزمایش برای ارزیابی اثر ضخامت، پیشنهاد می‌شود تعداد موارد تا حد امکان کاهش یابد. یک درک کلی از اثر عوامل مربوط به مواد و ارزیابی آنها، امکان توسعه روش‌های معمول با نیاز خیلی کمتر به فعالیت‌های آزمایشی را فراهم می‌سازد. به این منظور برخی از محاسبات تئوری فقط بر اساس یک مقدار مقاومت حرارتی اندازه‌گیری شده آزمون، در پیوست پ-۲ ارائه شده است.

یادآوری ۴: حتی با وجود این‌که این استاندارد روش‌هایی را برای تعیین مقاومت حرارتی محصولات ضخیم‌تر از حد مجاز دستگاه‌های لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت‌سنج ارائه می‌دهد، اما در عین حال این روش‌ها در مورد محصولاتی با ضخامت‌هایی کمتر از حد مجاز دستگاه نیز کاربرد دارد. این کار با درونیابی تعداد محدودی مقاومت حرارتی برای چند ضخامت محصول صورت می‌گیرد.

یادآوری ۵: روش‌های ویژه‌ای برای محصولاتی که چگالی آنها در جهت ضخامتشان تغییر می‌کند، توصیف شده است. برای پشم‌های معدنی و یا در مواردی که چگالی با شیب تند در مجاورت سطوح زیاد می‌شود (محصولات پوسته‌ای^۱) بخش پ-۳-۱-۲ را ببینید و برای محصولات پوسته‌ای پلاستیکی-سلولی بخش پ-۳-۲-۳ را ببینید. با این حال، حتی برای این محصولات نیز روش‌های اولیه بخش ۵-۳ اعمال می‌شود.

در همه روش‌هایی که به منظور مشخص کردن ویژگی‌های محصولات ضخیم‌تر از حدود تعیین شده برای دستگاه ارائه می‌شوند، لازم است یک بررسی اولیه در مورد اثر ضخامت انجام شود. یعنی مثلاً تعیین شود که نسبت $L = \frac{l}{\lambda_t}$ بین ضریب انتقال و ضریب انتقال حرارت به چه میزان از واحد فاصله دارد.

یادآوری ۶: اختلاف $(1-L)$ ممکن است خیلی بیشتر از L مورد توجه باشد، چون وقتی اثر ضخامت هیچ موضوعیتی نداشته باشد، $(1-L) = 0$ می‌شود.

۵-۳ اثر ضخامت

۵-۳-۱ کلیات

اگر $\frac{R_0}{R} = (1-L) \leq 0.02$ باشد، اثر ضخامت مربوط به محصول قابل صرف‌نظر کردن است و روش بخش ۵-۴ باید مورد استفاده قرار بگیرد. در غیر این صورت، روش‌های کار ابتدائی وابسته به مصالح برای امور معمول و اهداف کنترل در بخش‌های ۵-۳-۲ و ۵-۳-۳ ارائه شده است.

یادآوری ۱: محدوده ضخامت‌های محصولاتی که از یک ماده (مصالح) ساخته شده است، باید در نظر گرفته شود: اگر بیشترین ضخامت محصول، کوچکتر از حداکثر ضخامت مجاز آزمون در دستگاه مورد استفاده باشد و ارزیابی اثر ضخامت آزمون مد نظر باشد، روش تشریح شده در بخش ۳-۴-۲ از استاندارد بند ۲-۷ می‌تواند استفاده شود.

یادآوری ۲: ساده‌ترین ارزیابی اثر ضخامت برای محصولاتی است که هوا در خمیره صلبشان وجود داشته باشد. در این حالت می‌توان از جدول‌ها و یا نمودارهایی استفاده کرد (به بخش پ-۲-۲-۱ مراجعه شود).

۵-۳-۲ روش کار برای محصولات از نوع پشمی

ضریب انتقال محصول با کمترین ضخامت را اندازه بگیرید.

۱- Skin products

الف) اگر مطابق داده‌های جدول ۱ برای پشم معدنی یا جدول ۲ برای پشم چوب، $(1-L) \leq 0.01$ باشد، اثر ضخامت، قابل چشم‌پوشی است.

ب) اگر مطابق داده‌های جدول ۱ برای پشم‌های معدنی یا جدول ۲ برای پشم‌های چوبی، $(1-L) \geq 0.01$ باشد، اثر ضخامت را به صورت زیر در نظر بگیرید:

- ۱) حداقل ۳ اندازه‌گیری طبق مشخصات زیر باید انجام شود:
 - در ضخامتی نزدیک به حداکثر ضخامت مجاز دستگاه
 - در حداقل ضخامت محصول یا در ضخامتی تقریباً برابر یک سوم حداکثر ضخامت مجاز آزمون (با برش لایه‌ای آزمون)، هر کدام که کوچک‌تر است.
 - در ضخامتی تقریباً برابر مقدار متوسط دو ضخامت فوق
- مثال: یک محصول در ضخامت‌های ۸۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تولید می‌شود. حداکثر ضخامت مجاز دستگاه ۱۲۰ میلی‌متر است. اندازه‌گیری‌ها در ضخامت‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر (با برش لایه‌ای محصول ضخیم‌تر) انجام می‌شود.

۲) با برازش خطی، R_0 و λ_t را محاسبه کنید. با استفاده از معادله ۲، ضریب انتقال در حداقل ضخامت محصول را محاسبه نمایید و از آن، نسبت $L = \frac{l}{\lambda_t}$ را به دست آورید. کنترل کنید که آیا $(1-L) \leq 0.02$ است یا خیر.

وقتی که چگالی محصولات پشم معدنی، در جهت ضخامت تغییر کند، داده‌های جدول ۱ باید با وارد کردن ضریب انتقال اندازه‌گیری شده مربوط به یک برش لایه‌ای از محصول ناهمگن واقعی، با کمترین چگالی آن، اعمال شود.

برای محصولاتی با ناهمگنی‌های چگالی و یا تغییرات چگالی در جهت ضخامت، که باعث ایجاد انحراف در مقاومت حرارتی اندازه‌گیری شده بیش از ۰/۷ درصد از خط راست شود، باید از پیوست پ برای راهنمایی استفاده شود.

۵-۳-۳ روش‌های کار برای دیگر مصالح

ضریب انتقال محصول با کوچک‌ترین ضخامت را اندازه‌گیری کنید. اگر براساس داده‌های جدول ۳ برای پلی‌استایرن منبسط یا داده‌های جدول ۴ در مورد تخته‌های عایق چوب پنبه، $(1-L) \leq 0.01$ باشد، اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی است.

بر اساس داده‌های جدول ۳ در مورد پلی‌استایرن منبسط یا داده‌های جدول ۴ در مورد تخته‌های عایق چوب پنبه، اگر $(1-L) > 0.01$ باشد، اثر ضخامت را به صورت زیر ارزیابی کنید:

- ۱) اندازه‌گیری‌های مقاومت حرارتی را برای ۳ مورد یا بیشتر انجام دهید. از آزمون‌ای که ضخامتی نزدیک به حداکثر ضخامت مجاز دستگاه دارد، شروع کنید. سپس آزمون را لایه لایه بریده و قسمت‌های باقی‌مانده را دوباره آزمون کنید. اندازه‌گیری‌ها باید با شرایط زیر انجام شود:

- در ضخامتی نزدیک به حداکثر ضخامت مجاز دستگاه

- در ضخامت ترجیحاً بین ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر یا حداقل در کمترین ضخامت مجاز دستگاه
 - در یک یا چند ضخامت بین مقادیر فوق، یک مورد در ضخامت تقریباً معادل دو برابر مورد دوم
 - ۲) اگر حداقل سه اندازه‌گیری از بند ۱ انجام شود و بتوان آنها را با انحرافی کمتر از ۰٫۷ درصد از خط راست درونیابی کرد، با استفاده از برازش خطی، R_0 و λ_t را محاسبه کنید. با استفاده از معادله ۲، ضریب انتقال در حداقل ضخامت محصول را محاسبه کنید و از آن، نسبت $L = \frac{t}{\lambda_t}$ را به دست آورید. (درغیراینصورت، اندازه‌گیری‌های بیشتری در ضخامت‌های دیگر انجام دهید یا از پیوست پ-۳-۲-۲ راهنمایی بگیرید).
 - ۳) کنترل کنید که آیا $(1-L) \leq 0.02$ است یا خیر
- وقتی که فرآیند اکستروژن یک محصول پلاستیکی سلولی باعث شود، چگالی پوسته صلب آن خیلی بیشتر از مغزه آن باشد، بخش میانی مصالح (که انتظار می‌رود کاملاً همگن باشد) باید آزمون شود.
- ۴-۵ روش‌های کار زمانی که اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی است**
- وقتی که از اثر ضخامت مطابق بند ۵-۳، صرف نظر می‌شود، از روش فوق حداقل ضخامت را برای این که $(1-L) \leq 0.01$ باشد، تعیین کنید.
 - آزمون را به لایه‌هایی با ضخامتی که کوچکتر از ضخامت تعریف شده نباشد، به صورت لایه‌ای ببرید. **یادآوری:** در زمان تصمیم‌گیری در خصوص مناسب بودن یک دستگاه برای استفاده با این روش، ضخامت فوق می‌تواند به عنوان حداقل مقدار ممکن برای حداکثر ضخامت مجاز دستگاه تلقی شود.
 - برش لایه‌ای برای مثال با یک اره نواری دوار می‌تواند باعث از دست رفتن یک لایه نازک مصالح هنگام برش هر لایه شود. در چنین مواردی، مقاومت حرارتی اندازه‌گیری شده لایه باید تصحیح شود. در صورتی که در استاندارد محصول، روش تعیین مقاومت حرارتی، مشخص نشده باشد، مقاومت حرارتی لایه، برابر با مقاومت حرارتی لایه برش خورده افزایش می‌یابد. این افزایش با درصدی متناسب با ضخامت لایه جدا شده هنگام برش همین لایه با ضخامت مورد نظر است.
 - مقاومت حرارتی کل آزمون، را به صورت مجموع مقاومت‌های حرارتی لایه‌های برش خورده محاسبه کنید. در ضمن، باید تعدیلی متناسب با ماده از دست رفته هنگام برش در نظر گرفته شود.
 - برای آگاهی از امکان محاسبه مقاومت حرارتی کل یک آزمون با استفاده از مقاومت حرارتی یک لایه و تعداد لایه‌های مشابه آن در آزمون یا لزوم آزمون هر لایه برش خورده از آزمون، از استانداردهای محصول استفاده کنید.
 - در صورت قابل اغماض بودن اثر ضخامت برای محصولات پشم معدنی ناهمگن (برای مثال با چگالی متغیر در جهت ضخامت) یا محصولاتی از مواد پلاستیکی سلولی که در اثر فرآیند اکستروژن، رویه (پوسته) ای به مراتب چگال‌تر از مغزه دارند، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:
 - محصول را به لایه‌هایی ببرید و حداکثر ضخامت را به گونه‌ای در نظر بگیرید که $(1-L) = 0.01$ باشد.
 - مقاومت حرارتی هر لایه را اندازه‌گیری کنید.

- مقاومت حرارتی محصول را با جمع کردن مقاومت حرارتی اندازه‌گیری شده هر لایه محاسبه کنید. لازم به ذکر است باید تعدیلی مناسب با مقدار ماده از دست رفته هنگام برش در نظر گرفته شود.

۵-۵ روش‌های کار زمانی که اثر ضخامت در نظر گرفته می‌شود

۵-۵-۱ کلیات

اگر ضخامت تأثیرگذار است، به استاندارد مربوط به محصول در مورد امکان انتخاب تعیین ضریب انتقال حرارت ماده یا مقاومت حرارتی محصول مراجعه کنید. استانداردهای محصول ممکن است استفاده از مقادیر L گرفته شده از جداول ۳، ۲، ۱ یا ۴ را برای محاسبه ضریب انتقال حرارت با استفاده از ضریب انتقال اندازه‌گیری شده یک لایه از محصول، یا از ضریب انتقال میانگین همه لایه‌های بریده شده محصول مجاز بدانند.

۵-۵-۲ تعیین ضریب انتقال حرارت ماده

اگر محصولی وجود داشته باشد که ضخامت آن از رابطه $(1-L) \leq 0.01$ تبعیت کند و ضخامت آن از حداکثر ضخامت مجاز دستگاه بزرگتر نباشد، یک آزمون از این محصول را انتخاب و آزمون را آزمون کنید. ضریب انتقال حرارت ماده را برابر با ضریب انتقال اندازه‌گیری شده آزمون در نظر بگیرید.

در صورت عدم وجود چنین محصولی، به استانداردهای محصول برای تصمیم‌گیری در خصوص این که آیا λ_h باید با درونیایی خطی اندازه‌گیری‌های موجود در بخش ۳-۵ به دست آید یا این که آیا همه لایه‌های بریده شده از محصول باید آزمون شوند و داده‌های اندازه‌گیری شده در برازش خطی قرار بگیرند و سپس λ_h به دست بیاید، مراجعه کنید.

وقتی که برازش خطی، مطابق بخش ۳-۵ به سه داده اندازه‌گیری شده اعمال شود، خطای مربوط به بدترین حالت، خطای ضریب انتقال حرارت محاسبه شده برابر با $\frac{2\Delta R}{R_M - R_m}$ می‌باشد که در آن ΔR حداکثر خطای مطلق در مقاومت‌های حرارتی اندازه‌گیری شده است، در حالی که R_M و R_m به ترتیب، بزرگترین و کوچکترین مقاومت حرارتی اندازه‌گیری شده هستند (بخش ۳-۵-۵ را نیز ببینید). اگر خطای ضریب انتقال حرارت محاسبه شده خیلی بزرگ باشد (مثلاً بیشتر از ۱ درصد)، تعداد اندازه‌گیری‌ها باید افزایش یابد و محاسبات آماری مناسبی برای ارزیابی خطای حاصل انجام شود.

وقتی که تعدادی یا همه داده‌ها از اندازه‌گیری روی آزمونیهایی با ضخامت کمتر از d_∞ به دست آمده باشد (مثلاً بعضی از محصولات پلی‌استایرن منبسط با چگالی کم)، درونیایی خطی امکان‌پذیر نیست و برازش باید روی معادلات ارائه شده در پیوست ب اعمال شود. برای راهنمایی بیشتر در این مورد، به پیوست پ مراجعه شود.

۵-۵-۳ تعیین مقاومت حرارتی محصولات

مقاومت حرارتی محصولاتی با مشخصاتی فراتر از توانایی‌های دستگاه، با استفاده از معادله ۱ (و ضریب انتقال با استفاده از معادله ۲) محاسبه می‌شود. به استانداردهای محصول، برای تصمیم‌گیری این که برای به دست

آوردن R ، آیا λ_t و R_0 باید با درونیایی خطی اندازه‌گیری‌های موجود در بخش ۵-۳ به‌دست آید یا این‌که همه لایه‌های بریده شده از محصول باید آزمون شوند و داده‌های اندازه‌گیری شده در برازش خطی قرار بگیرند و سپس R_0 و λ_t از آن به‌دست بیاید، مراجعه کنید.

وقتی‌که برازش خطی سه داده اندازه‌گیری شده اعمال می‌شود، مطابق بخش ۵-۳، برای مقاومت حرارتی برونیایی شده R_e در ضخامت d_e خطای ΔR_e مربوط به بدترین حالت برابر با معادله $\frac{\Delta R_e}{R_e} = \frac{2\Delta R}{R_M - R_m} \times [1 - (R_M - R_m) / 2R_e]$ به دست می‌آید که حداکثر خطا در مقاومت‌های حرارتی اندازه‌گیری شده است، درحالی‌که R_M و R_m ، به ترتیب، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مقاومت حرارتی اندازه‌گیری شده هستند. برای خطای نسبی $\frac{\Delta R_e}{R_e}$ می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\frac{\Delta R}{R_M} \leq \frac{\Delta R_e}{R_e} \leq \frac{2\Delta R}{R_M - R_m} \quad \text{حد پائین} \quad \frac{\Delta R}{R_M} \quad \text{وقتی‌که} \quad R_e \approx R_M \quad \text{باشد، اعمال می‌شود، درحالی‌که حد بالاتر}$$

$$\frac{2\Delta R}{R_M - R_m} \quad \text{وقتی اعمال می‌شود که} \quad R_e \gg R_M \quad \text{، باشد. اگر خطای نسبی} \quad \frac{\Delta R_e}{R_e} \quad \text{خیلی بزرگ باشد (مثلاً)}$$

بیشتر از ۱ درصد)، تعداد اندازه‌گیری‌ها باید افزایش یابد و محاسبات آماری مناسبی برای ارزیابی خطای حاصل انجام شود.

وقتی‌که تعدادی یا همه داده‌ها از اندازه‌گیری روی آزمونه‌هایی با ضخامت کمتر از d_∞ به‌دست آمده باشد (مثلاً بعضی از محصولات پلی‌استایرن منبسط با چگالی کم)، درونیایی خطی امکان‌پذیر نیست و باید برازش روی معادلات موجود در پیوست ب اعمال شود. برای راهنمایی بیشتر در این مورد، به پیوست پ مراجعه شود.

۶ محاسبات و گزارش آزمون

محاسبات خصوصیات انتقال حرارت اندازه‌گیری شده باید مطابق بند ۸ از استاندارد بند ۲-۳ انجام شود. ترتیب کلی گزارش باید بر اساس بند ۹ استاندارد بند ۲-۳ باشد. اطلاعات روش‌های توصیف شده در این استاندارد و داده‌ها و محاسبات مربوطه باید بر اساس استاندارد مربوط به محصول و ارجاع به این استاندارد باشد.

جدول ۱- پارامتر اثر ضخامت برای پشم معدنی

ضخامت آزمون D mm	پارامتر اثر ضخامت L	ضریب انتقال τ $mW/(m.K)$
۴۰	۰/۹۵۲-۰/۹۵۷	۵۰
۸۰	۰/۹۷۸-۰/۹۸۰	
۲۰۰	۰/۹۹۱-۰/۹۹۳	
۴۰	۰/۹۷۰-۰/۹۷۳	۴۵
۸۰	۰/۹۸۶-۰/۹۸۸	
۲۰۰	۰/۹۹۳-۰/۹۹۶	
۴۰	۰/۹۸۳-۰/۹۸۷	۴۰
۸۰	۰/۹۹۱-۰/۹۹۴	
۲۰۰	۰/۹۹۶-۰/۹۹۸	
۲۰	۰/۹۸۶-۰/۹۹۳	۳۵
۴۰	۰/۹۹۳-۰/۹۹۷	
۸۰	۰/۹۹۶-۰/۹۹۹	
۲۰۰	۰/۹۹۸-۱/۰۰۰	

جدول ۲- پارامتر اثر ضخامت برای پشم چوب

ضخامت آزمون d mm	پارامتر اثر ضخامت L	ضریب انتقال τ $mW/(m.K)$
۳۰	۰/۹۰۶-۰/۹۲۱	۶۵
۵۰	۰/۹۴۵-۰/۹۵۵	
۱۰۰	۰/۹۷۲-۰/۹۷۷	
۱۵	۰/۸۸۵-۰/۹۲۵	۵۵
۳۰	۰/۹۵۳-۰/۹۶۹	
۵۰	۰/۹۷۳-۰/۹۸۳	
۱۰۰	۰/۹۸۶-۰/۹۹۲	
۱۵	۰/۹۳۵-۰/۹۶۵	۵۰
۳۰	۰/۹۷۲-۰/۹۸۵	
۵۰	۰/۹۸۳-۰/۹۹۲	
۱۰۰	۰/۹۹۱-۰/۹۹۷	
۱۵	۰/۹۶۲-۰/۹۸۵	۴۶
۳۰	۰/۹۸۰-۰/۹۹۲	
۵۰	۰/۹۸۵-۰/۹۹۵	
۱۰۰	۰/۹۹۱-۰/۹۹۷	

جدول ۳- پارامتر اثر ضخامت برای پلی استایرن منبسط

ضخامت آزمون D mm	پارامتر اثر ضخامت L	ضریب انتقال τ $mW/(m.K)$
۲۰	۰/۸۰۵-۰/۸۱۵	۴۳
۴۰	۰/۹۰۵-۰/۹۱۰	
۱۰۰	۰/۹۶۵-۰/۹۷۰	
۲۰	۰/۸۵۵-۰/۸۷۰	۴۰
۴۰	۰/۹۳۰-۰/۹۴۰	
۱۰۰	۰/۹۷۰-۰/۹۸۰	
۲۰	۰/۹۳۵-۰/۹۴۵	۳۵
۴۰	۰/۹۶۵-۰/۹۸۰	
۱۰۰	۰/۹۸۵-۰/۹۹۰	
۲۰	۰/۹۷۰-۰/۹۸۵	۳۲
۴۰	۰/۹۸۵-۰/۹۹۵	
۱۰۰	۰/۹۹۵-۰/۹۹۹	

جدول ۴- پارامتر اثر ضخامت برای تخته‌های چوب پنبه عایق

ضخامت آزمون d mm	پارامتر اثر ضخامت L	ضریب انتقال τ mW/(m.K)
۴۰	۰/۸۹۰-۰/۹۰۹	۴۷
۱۰۰	۰/۹۵۹-۰/۹۶۲	
۲۰۰	۰/۹۷۷-۰/۹۸۱	
۲۰	۰/۸۹۶-۰/۹۲۱	۴۰
۴۰	۰/۹۴۸-۰/۹۶۲	
۱۰۰	۰/۹۸۱-۰/۹۸۴	
۲۰۰	۰/۹۹۰-۰/۹۹۴	
۲۰	۰/۹۵۸-۰/۹۷۶	۳۵
۴۰	۰/۹۷۷-۰/۹۸۸	
۱۰۰	۰/۹۹۳-۰/۹۹۶	
۲۰۰	۰/۹۹۶-۰/۹۹۸	
۲۰	۰/۹۷۹-۰/۹۹۲	۳۳
۴۰	۰/۹۸۵-۰/۹۹۵	
۱۰۰	۰/۹۹۵-۰/۹۹۷	
۲۰۰	۰/۹۹۶-۰/۹۹۸	

پیوست الف

(الزامی)

تجهیزات

الف-۱ نوع دستگاه

در مواردی که صراحتاً بیان نشده باشد، الزامات دستگاه لوح گرم محافظت شده در دستگاه جریان حرارت سنج نیز قابل اعمال است.

الف-۲ لوح گرم محافظت شده

الف-۲-۱ الزامات دستگاه لوح گرم محافظت شده و بازرسی عملکرد دستگاه

الزامات دستگاه در پیوست ب استاندارد بند ۳-۲ ارائه شده است. طبق استاندارد بند ۱-۲، طراحی دستگاه و تحلیل خطا باید بر اساس بندهای ۱-۲، ۲-۲ و ۳-۲ از استاندارد بند ۷-۲ صورت گیرد. همچنین کنترل عملکرد (کارایی) دستگاه باید بر اساس بند ۴-۵ از استاندارد بند ۱-۲ انجام شود.

الف-۳ جریان حرارت سنج

الف-۳-۱ الزامات دستگاه جریان حرارت سنج، کالیبراسیون و کنترل عملکرد دستگاه

الزامات دستگاه در پیوست پ استاندارد بند ۳-۲ ارائه شده است. طبق استاندارد بند ۲-۲، طراحی دستگاه و تحلیل خطا باید بر اساس بندهای ۱-۲، ۲-۲ و ۳-۲ از استاندارد بند ۶-۲ صورت گیرد. همچنین کالیبراسیون دستگاه بر اساس بند ۴-۵ استاندارد بند ۲-۲ و کنترل عملکرد دستگاه باید بر اساس بند ۴-۶ از همان استاندارد انجام شود.

الف-۴ حداکثر ضخامت آزمونه

حداکثر ضخامت مجاز آزمونه برای چند مورد از ابعاد دستگاه، زمانی که برخی شرایط آزمون ارضا شده‌اند، در جدول الف-۱ از استاندارد بند ۳-۲ نشان داده شده است. این اطلاعات بر روی مدل‌های رسانای مطلق پایه‌گذاری شده است. در مواد با چگالی کم (مثلاً کمتر از 20 kg/m^3) که میزان انتقال حرارت تابشی قابل ملاحظه است، چگونگی کنترل اتلاف‌های جانبی توسط گرادیان مؤثر صفحات محافظ باید احراز شود. توصیه می‌شود ضخامت‌ها از مقادیر مجاز اعلام شده در جدول الف-۱ از استاندارد بند ۳-۲ کمتر باشد، زیرا در غیر این صورت، محاسبه خطای اتلاف لبه باید شامل اثر ترکیبی رسانش و تابش باشد. اثر مضر انتقال حرارت تابشی روی خطای اتلاف حرارت لبه را می‌توان از مقایسه دو مجموعه از داده‌های جدول الف-۱ آن استاندارد درک کرد: مقایسه‌ها در دو حد نهایی رسانش مطلق در آزمونه و تابش مطلق (زمانی که جای اشغال شده توسط آزمونه در دستگاه خالی می‌ماند) انجام می‌شود. مقدار $e = 0$ مربوط به حداقل خطای

اتلاف حرارت لبه در تابش مطلق است (همان طور که مقدار e نزدیک به ۰٫۵ مربوط به حداقل خطای اتلاف حرارت لبه در رسانش مطلق آزمون می باشد).

یادآوری پارامتر e ، به صورت نسبت اختلاف دما بین لبه آزمون، با فرض یکنواختی دما، و سمت سرد آزمون به اختلاف دمای بین دو سمت گرم و سرد آزمون تعریف می شود.

همچنین اطلاعات این بند با فرض همگرا بودن آزمون ها ارائه شده است و برای ارزیابی عملکرد دستگاه در مواردی که آزمون های به شدت ناهمگرا یا لایه لایه آزمون می شود، مناسب نیست.

جدول الف-۱ خطاهای ناشی از اتلاف حرارتی لبه در رسانش و تابش مطلق

اندازه کلی	بخش سنجش	پهنای صفحه محافظ	ضخامت آزمون (mm)						
			۴۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰	۱۶۰
رسانش مطلق $e=0$									
۵۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۰٫۰۱ %	۰٫۰۸ %	۰٫۲۷ %	۱٫۳۵ %	۳٫۷۵ %	-	-
۵۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۰٫۰۰ %	۰٫۰۱ %	۰٫۰۳ %	۰٫۲۸ %	۱٫۱۰ %	۲٫۸۴ %	۹٫۷۲ %
تابش مطلق $e=0$									
۵۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۳٫۳ %	۵٫۱ %	-	-	-	-	-
۵۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۲٫۵ %	۳٫۸ %	۵٫۵ %	-	-	-	-

الف-۵ حداقل ضخامت آزمون، رواداری های تخت بودن

الف-۵-۱ خطای ضخامت و حداقل ضخامت آزمون در آزمون های غیر صلب

اگر هنگام آزمایش آزمون های غیر صلب، آزمون به نحو مناسبی در تماس با دستگاه باشد، انحراف از صفحه صاف می تواند به عنوان خطایی در اندازه گیری ضخامت آزمون در نظر گرفته شود. این خطا نتیجه انحراف سطوح آزمون از یک صفحه صاف و در نتیجه انحراف سطوح دستگاه از یک صفحه صاف است.

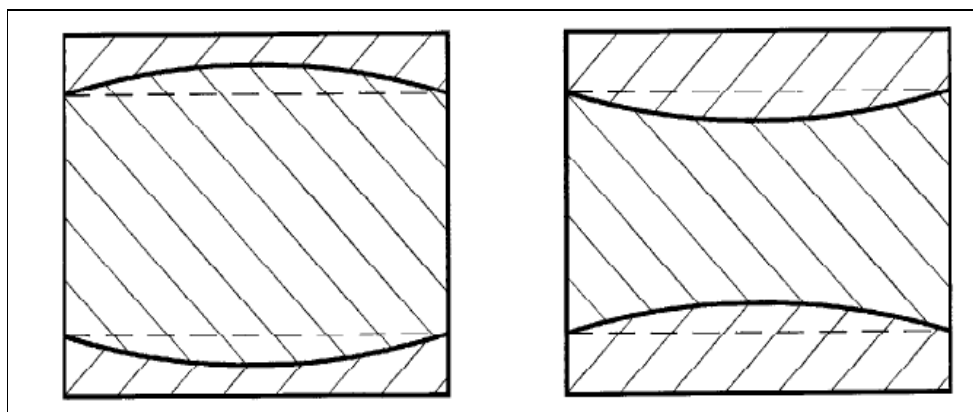
بدترین حالت ناشی از رواداری های تخت بودن در حداقل ضخامت قابل اندازه گیری، d_m ، اتفاق می افتد، زمانی که هر دو سطح سرد و گرم، مقعر یا محدب هستند (به شکل الف-۱ مراجعه شود). اگر p رواداری تخت بودن تعریف شده به عنوان حداکثر فاصله یک سطح دستگاه از صفحه صاف باشد، میانگین خطای ضخامت برای هر سطح دستگاه، $p/2$ است، پس خطای ضخامت، زمانی که هر دو سطح دستگاه در تماس با آزمون باشد مساوی p ، است.

بر اساس استاندارد بند ۲-۳، اگر اندازه کلی دستگاه، مثلاً سمت بیرونی صفحه محافظ، G ، باشد، حداکثر رواداری تخت بودن مجاز p ، نباید از ۰٫۲۵ درصد مقدار G بیشتر باشد. پس $\frac{p}{G} = 0.025$ 100 می شود (به ستون پنجم جدول الف-۱ از استاندارد بند ۲-۳ مراجعه شود). به دلیل محدودیت خطای ضخامت،

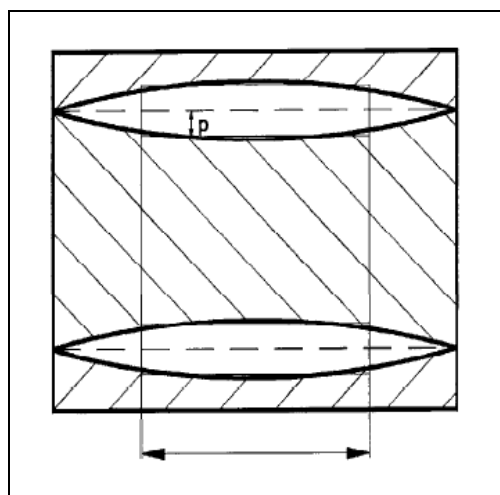
است. حداقل ضخامت آزمون d_m با رواداری تخت بودن، محدود می‌شود و نباید کمتر از ۵

درصد مقدار G باشد (به ستون ششم جدول الف-۱ از استاندارد بند ۲-۳ مراجعه شود).

زمانی که حداقل ضخامت آزمون در ستون هشتم جدول الف-۱ از استاندارد بند ۲-۳ (مربوط به حداکثر پهنای فاصله (درز) مجاز) بزرگتر از ستون ششم همان جدول باشد، مقدار پهنای واقعی فاصله (درز) باید کنترل شود تا تضمین شود که حداقل ضخامت آزمون کمتر از $10G$ نباشد. در حالت عکس، تنها رواداری‌های تخت بودن بهتر امکان انجام آزمون‌ها در حداقل ضخامت آزمون را فراهم می‌سازند. در این شرایط، ضخامت حداقل بستگی به فاصله (درز) خواهد داشت.



شکل الف-۱ آزمون‌های غیر صلب



شکل الف-۲ آزمون‌های صلب

الف-۵-۲ مقاومت‌های تماسی و رواداری‌های تخت بودن آزمون‌های صلب

وقتی که آزمون‌های صلب آزمون می‌شوند، یک مقاومت حرارتی ناشی از بسته‌های هوا، (روی هر دو سمت آزمون مطابق شکل الف-۲ در بدترین حالت) به دلیل انحراف از سطح صاف ایجاد می‌شود (مقاومت تماسی).

در دمایی نزدیک دمای اتاق (ضریب هدایت حرارت هوا تقریباً 0.025 W/(m.K) است) میزان حداکثر لایه هوای ناشی از بسته‌های هوا بر روی دو وجه آزمونه، که اثر انحراف از تخت بودن دستگاه و آزمونه را نیز شامل می‌شود با انجام محاسبات تعیین و در جدول الف-۲ از استاندارد بند ۲-۳ ارائه شده است. **یادآوری** همانطور که در جدول الف-۲ از استاندارد بند ۲-۳ نشان داده شده، ترازهای تخت بودن مورد نیاز برای سطوح آزمونه و دستگاه سختگیرانه است و به اندازه دستگاه وابسته نیست.

پیوست ب

(الزامی)

برنامه‌ها یا الگوهای محاسباتی کمکی برای آزمون‌های ضخیم

ب-۱ کلیات

تمامی روش‌های آزمون برای ارزیابی عملکرد حرارتی آزمون‌های ضخیم به برنامه‌ها یا الگوهای محاسباتی کمکی نیاز دارد که عمدتاً بر مبنای توابع درونیابی، حاوی تعدادی از پارامترهای مواد و شرایط آزمون، پایه‌گذاری شده‌اند. توابع درونیابی و پارامترهای مواد، برای تمام مواد یکسان نیستند. توابع درونیابی متداول در بند ب-۲-۱ ارائه شده‌اند که هر خانواده از مواد، از معادلات جداگانه‌ای پیروی می‌کنند.

ب-۲ توابع درونیابی

ب-۲-۱ توابع درونیابی قابل استفاده برای هر محصول

معادلات زیر، که انتقال حرارت آزمون‌های عایق همگن با چگالی کم را توصیف می‌کند، باید در این استاندارد به عنوان ابزارهای درونیابی به کار روند. همچنین کاربرد این معادلات برای بعضی از مواد ناهمگن در پیوست پ تشریح شده است. یک حالت خاص از پشم‌های معدنی با تغییرات چگالی یکنواخت در بند ب-۲-۲-۲ توصیف شده است.

مقاومت حرارتی R ، یک آزمون تخت از یک ماده با چگالی کم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = R'_0 + \frac{d}{\lambda_t} \quad (\text{ب-۱})$$

که R'_0 ، همان‌طور که در معادله (ب-۱) مشاهده می‌شود، لزوماً مستقل از ضخامت d نیست. همچنین،

$$\lambda_t = \lambda_{cd} + \lambda_r \quad (\text{ب-۲})$$

که در آن

λ_t ضریب انتقال حرارت

λ_{cd} ضریب هدایت حرارت ترکیبی جامد و گاز

λ_r تابندگی است.

اگر T_m دمای ترمودینامیکی متوسط آزمون باشد و $\sigma_n = 5.6699 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ثابت استفان بولتزمن، ε ضریب گسیل (گسیلندگی) نیمکروی کل دستگاه، β_* پارامتر خاموشی جرمی، ω_* آلبدو، ρ چگالی حجمی (توده‌ای) ماده تعریف شوند:

$$F = (1 - \omega_*) \quad , \quad h_r = 4\sigma_n T_m^3 \quad (\text{ب-۳})$$

تابندگی λ_r به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda_r = \frac{h_r}{\beta_* p / 2} \quad (\text{ب-۴})$$

و عبارت R_0' به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R_0' = \frac{h_r}{(\lambda_t \beta_* \rho / 2)^2 \left[\frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon} Z + \frac{1}{\tanh(Ed / 2)} \sqrt{F \frac{\lambda_{cd}}{\lambda_t}} \right]} \quad (\text{ب-۵})$$

برای تمامی مواد، به جز پلی‌استایرن منبسط یا تخته‌های چوب پنبه عایق، $Z=1$ در نظر گرفته می‌شود (به بند ب-۲-۳ مراجعه شود). در حالی که E پارامتر خاموشی اصلاح شده است که به دلیل انتقال حرارت ترکیبی تابشی و رسانشی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E = \beta_* \rho \sqrt{F \frac{\lambda_t}{\lambda_{cd}}} \quad (\text{ب-۶})$$

ضریب انتقال $\tau = \frac{d}{R}$ در اغلب متون علمی به عنوان ضریب هدایت حرارت مؤثر، معادل یا اندازه‌گیری شده یک آزمونه، معرفی و با در نظر گرفتن معادله (ب-۱)، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\tau = \lambda_t \frac{1}{1 + \frac{\lambda_t}{d} \cdot R_0'} \quad (\text{ب-۷})$$

معادله (ب-۵) و عبارت λ_{cd} ، با توجه به خانواده مواد مختلف، هر دو به شکل‌های متفاوتی نوشته می‌شوند.

ب-۲-۲ توابع درونیابی برای محصولات پشمی

ب-۲-۲-۱ مواد پشمی همگن یک لایه

ثابت F ، در معادله (ب-۶) برای محصولات پشمی، مقداری بین ۰٫۲ و ۰٫۵ است. بنابراین ضخامت بیشتر آزمونه‌ها طوری انتخاب می‌شود که اختلاف $\tanh(E.d/2)$ با یک، بیش از یک درصد نباشد. در این شرایط، مقاومت حرارتی R_0' از معادله (ب-۵) تبدیل به مقاومت حرارتی R_0 می‌شود و مستقل از ضخامت آزمونه، از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$R_0 = \frac{h_r}{(\lambda_t \beta_* \rho / 2)^2 \left[\frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon} + \sqrt{F \frac{\lambda_{cd}}{\lambda_t}} \right]} \quad (\text{ب-۸})$$

همچنین، عبارت λ_{cd} که ضریب هدایت حرارت ترکیبی فاز گازی (هوا با ضریب هدایت λ_a) و خمیره صلب (با چگالی ρ_s) از یک ماده عایق را بیان می‌کند، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\lambda_{cd} = \lambda_a \left(1 + B \frac{\rho}{1 + \sqrt{\rho \cdot \rho_s} \cdot B} \right) \quad (\text{ب-۹})$$

که در آن، B یک مقدار ثابت است.

با مطرح کردن یک مقدار ثابت اضافی $C = 2 \frac{h_r}{\beta^*}$ و با در نظر گرفتن معادلات (ب-۴) و (ب-۹)، معادله (ب-۲) می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود:

$$\lambda_t = A(1 + B \frac{\rho}{1 + \sqrt{\rho \cdot \rho_s} \cdot B}) + \frac{C}{\rho} \quad (\text{ب-۱۰})$$

همچنین، در دمای اتاق، ضریب هدایت حرارت هوا λ_a می‌تواند بر حسب دمای سلسیوس θ ، به صورت زیر بیان شود:

$$\lambda_a = \lambda_{a0} (1 + 0.003052\theta - 1.282 \times 10^{-6} \theta^2) \quad (\text{ب-۱۱})$$

که λ_0 با عدد ثابت ۰٫۰۲۴۲۳۹۶ جایگزین می‌شود. به این ترتیب، معادلات (ب-۱)، (ب-۲)، (ب-۳)، (ب-۴)، (ب-۵) یا (ب-۸) و (ب-۹) باید برای درونیابی نتایج تجربی مورد استفاده قرار بگیرند. در این معادلات، سه پارامتر ماده به نام‌های A ، B و پارامتر خاموشی جرمی β^* ، در تعریف ضریب انتقال حرارت، مطرح می‌شوند. علاوه بر این، چگالی حجمی (توده‌ای) ماده و دمای متوسط آزمون نیز باید معلوم باشند. در تعریف مقاومت حرارتی یا ضریب انتقال، یک پارامتر اضافی F (یا متمم به ۱ آن یعنی آلبیدو ω_*) و شرایط اضافی آزمون، ضریب گسیل (گسیلندگی) دستگاه ε ، نیز مورد نیاز است.

ب-۲-۲-۲ پشم معدنی یک لایه با تغییرات (گرادیان) چگالی یکنواخت

وقتی که تغییر چگالی زیادی در جهت ضخامت آزمون وجود دارد، شرایط جدیدی به وجود می‌آید. این تغییرات کاملاً خطی نیستند، اما فرض

$$\rho = \rho_0 (1 + kx) \quad (\text{ب-۱۲})$$

تغییرات چگالی در جهت x موازی با ضخامت‌های آزمون، با توجه به اهداف این استاندارد، به اندازه کافی دقیق است.

که در آن k یک ضریب ثابت در معادله درجه یک (ب-۱۲) است، درحالی که ρ_0 چگالی در مختصات $x=0$ می‌باشد. مقدار $x=0$ در مرکز آزمون در نظر گرفته شده است، بنابراین، سطوح آزمون‌های به ضخامت d در مختصات

$$x = -d/2 \text{ و } x = +d/2 \text{ واقع می‌شوند.}$$

اگر تأثیر ضخامت قابل چشم‌پوشی باشد، با توجه به فرض فوق و به کار بردن انتگرال قانون فوریه، بین مختصات x_1 و x_2 ، در معادله (ب-۲)، با در نظر گرفتن فرضیات فوق، مقاومت حرارتی R_{12} برای لایه‌ای به ضخامت $(x_1 - x_2)$ از معادله زیر به دست می‌آید:

$$R_{12} = \frac{x_1 - x_2}{\lambda_{cd}} - \frac{\lambda_r}{\lambda_{cd}^2 \cdot k} \ln \left\{ \frac{1 + kx_1 \cdot \lambda_{cd} / \lambda_t}{1 + kx_2 \cdot \lambda_{cd} / \lambda_t} \right\} \quad (\text{ب-۱۳})$$

با جایگذاری $x_1 = -d/2$ و $x_2 = +d/2$ در معادله فوق، مقاومت حرارتی کل آزمونه، R ، محاسبه می‌شود.

اگر تأثیر ضخامت قابل توجه باشد، معادله (ب-۱) به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$R = \frac{1}{2}(R_{01} + R_{02}) + R_{12} \quad (\text{ب-۱۴})$$

که در آن R_{01} و R_{02} با معلوم بودن مقادیر چگالی ماده در سطوح آزمونه یعنی در مختصات $-d/2$ و $+d/2$ ، با استفاده از معادله (ب-۸) محاسبه می‌شوند. همچنین R_{12} مقاومت حرارتی آزمونه مطابق معادله (ب-۱۳) است.

ب-۲-۳ توابع درونیابی برای مواد پلاستیکی سلولی و تخته‌های عایق چوب‌پنبه

تقریباً برای همه مواد پلاستیکی سلولی و تخته‌های عایق چوب‌پنبه، در معادله (ب-۶)، پارامتر F نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین $\tanh(Ed/2) = (Ed/2)$ است و مقاومت حرارتی R'_0 در معادله (ب-۵) که کماکان به ضخامت d وابسته است، از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$R'_0 = \frac{h_r}{(\lambda_t \beta'_* \rho / 2)^2 \left[\frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon} Z + \frac{2\lambda_{cd}}{\beta'_* d \rho \lambda_t} \right]} \quad (\text{ب-۱۵})$$

برای تمامی مواد پلاستیکی سلولی به جز پلی‌استایرن منبسط bead-board و تخته‌های عایق چوب‌پنبه، $Z=1$ در نظر گرفته می‌شود. برای این مواد و مصالح، Z تابعی از ضخامت آزمونه و قطر متوسط دانه‌ها یا مهره‌ها است. در موارد تجربی، با تقریب خوبی $Z = 0.75 - 0.25 \tanh(d/3d_b)$ به دست می‌آید، که در آن d_b قطر متوسط دانه‌ها یا مهره‌ها است.

همچنین عبارت λ_{cd} که ضریب هدایت حرارت ترکیبی فاز گازی (با ضریب هدایت λ_g) و خمیره صلب (چگالی ρ_s) یک ماده عایق را بیان می‌کند، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\lambda_{cd} = \lambda_g (1 + B\rho) \quad (\text{ب-۱۶})$$

که در آن، B یک مقدار ثابت است.

اما همچنان تابندگی λ_r ، از معادله (ب-۴) به دست می‌آید.

با تعریف یک مقدار ثابت اضافی $C = 2 \frac{h_r}{\beta'_*}$ و با استفاده از معادلات (ب-۴) و (ب-۱۶) معادله (ب-۲) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\lambda_t = A(1 + B\rho) + \frac{C}{\rho} \quad (\text{ب-۱۷})$$

معادلات (ب-۱)، (ب-۲)، (ب-۳)، (ب-۴)، (ب-۱۵) و (ب-۱۶) باید برای درونیابی با استفاده از نتایج تجربی مورد استفاده قرار بگیرند. در این معادلات، سه پارامتر مربوط به مواد و مصالح به نام‌های A ، B و پارامتر خاموشی جرمی β'_* ، در تعریف ضریب انتقال حرارت، مشاهده می‌شوند. علاوه بر این، چگالی حجمی (توده‌ای) ماده و دمای متوسط آزمون نیز باید معلوم باشند. در تعریف مقاومت حرارتی یا ضریب انتقال، علاوه بر شرایط اضافی آزمون، ضریب گسیل دستگاه ε ، نیز نیاز است.

در اصل، همهٔ پارامترهای ماده به دما بستگی دارند. در برخی از محصولات پلاستیکی سلولی، مثل اسفنج‌های پلی‌استایرن منبسط و تخته‌های عایق چوب پنبه، پارامتر خاموشی جرمی β_* وابسته به دما تعریف می‌شود. اگر پارامتر β_* یک عدد ثابت نباشد، عبارت چندجمله‌ای درجه اول دما در اغلب درونیایی‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده، مناسب است.

پیوست پ

(اطلاعاتی)

روش‌های کار پیشرفته برای آزمون‌های ضخیم با ضخامتی بیش از ظرفیت دستگاه

پ-۱ ملاحظات مقدماتی

روش کار آزمایشگاهی طرح شده در بند ۵-۳ از دید مفهومی بسیار ساده است، ولی برای هر آزمون نیاز به سه اندازه‌گیری دارد. به علاوه، این روش کار قابل اعمال به هر آزمون نیست.

با قبول این نکته که مشخصات حرارتی، پارامترهای مواد و شرایط آزمون می‌توانند با معادلات درونیابی مشتق شده از تحلیل‌های انتقال حرارت در مصالح عایق در ارتباط باشند، امکان پوشش تمامی شرایط آزمون فراهم می‌شود و نیاز به داده‌های تجربی به حداقل کاهش می‌یابد. برخی از معادلات درونیابی برای تمامی مصالح عایق معتبر هستند (به پیوست ب، بند ب-۲-۱ مراجعه شود)، در حالی که برخی دیگر برای تعداد محدودی از مصالح قابل استفاده هستند (به پیوست ب، بند ب-۲-۲ و بند ب-۲-۳ مراجعه شود).

روش‌ها و روش‌های کار تشریح شده در این پیوست، به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

الف) روش‌های کار اولیه برای ارزیابی مؤثر یا غیر مؤثر بودن ضخامت (به بند پ-۲ مراجعه شود)

ب) روند قابل اعمال، زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است (به بند پ-۳ مراجعه شود).

تقسیم‌بندی‌های ریزتر به شرح زیر است:

۱) روش‌های کار اولیه برای گزینش پارامترهای مواد، زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است.

۲) روش‌های کار معمول تعیین کارایی محصول در محدوده مقادیر متوسط. روش‌های کار معمول با تعداد محدودی اندازه‌گیری مشخص می‌شوند.

اندازه‌گیری‌های اولیه و ارزیابی‌ها با هدف تعیین پارامترهای مشترک برای یک خانواده مصالح، یک مصالح، یک خانواده محصول یا یک محصول تعریف می‌شوند. برخی از این پارامترها می‌توانند در استاندارد محصول تعیین شوند، یا این که اندازه‌گیری آنها، زمانی که استاندارد محصول تدوین شده‌است، بسته به میزان اطلاعات در دسترس در مورد تغییرات پارامترها، در آغاز تولید محصول لازم باشد.

اندازه‌گیری‌های معمول و ارزیابی‌ها برای تعیین تغییرات عملکردی محصول در زمان تولید در نظر گرفته شده‌اند. این موارد در استاندارد محصول مشخص شده‌اند، و برای تعیین پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر تغییرات عملکرد محصول دارند، در نظر گرفته می‌شوند.

روش‌های کار ویژه، به شرح زیر، برای محصولاتی با تغییرات چگالی در جهت ضخامت در نظر گرفته شده‌اند: در صورت گرادین چگالی برای پشم‌های معدنی یا در صورتی که افزایش چگالی با شیب زیاد در مجاورت دو سطح محصول مطرح باشد (محصولات پوسته‌ای) به بند پ-۳-۱-۲ مراجعه کنید و برای محصولات سلولی پلاستیکی با پوسته سخت به بند پ-۳-۲-۲-۳ مراجعه کنید.

پ-۲ روش‌های کار مقدماتی برای تعیین اثر ضخامت

پ-۲-۱ کلیات

این روش‌های کار به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- مواردی که نیاز به یک مقدار اندازه‌گیری شده دارند،
- مواردی که نیاز به مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های دقیق دارند.

پ-۲-۲ برآورد مقدماتی اثر ضخامت

با توجه به این نکته که دقت آزمون‌ها به ندرت بهتر از ۲ درصد است، در صورتی که در استاندارد محصول مشخص نشده باشد و $1-L \leq 0.02$ است، اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی خواهد بود.

زمانی که مقادیر ارائه‌شده در جدول یا مقادیر محاسبه‌شده طبق بند پ-۲-۲-۲ برای حداقل ضخامت محصول، d_m ، به گونه‌ای باشند که $R_0/(d_m/\lambda_t) < 0.01$ ، یعنی زمانی که $1-L < 0.01$ باشد، هیچ اقدام آزمایشی مضاعفی مورد نیاز نیست، و با محصولات همانند مصالح هادی مطلق، که با مقدار ضریب هدایت حرارت، λ_t مشخص می‌شوند، رفتار می‌شود (به بند ۵-۴ مراجعه شود).

زمانی که $0.01 < 1-L < 0.03$ ، توصیه می‌شود تأثیر واقعی ضخامت، به صورت تجربی تعیین شود (به بند پ-۲-۳ مراجعه شود).

همان‌گونه که در بند ۵-۳ مطرح شده است، تخمین اولیه، در این بند با فرض معتبر بودن معادلات (۱) یا (ب-۱) و معادله (۲) ارائه شده است. فرض دیگر این است که R_0 را می‌توان با استفاده از اطلاعات موجود در خصوص چند پارامتر مواد محاسبه کرد. معادله (ب-۸) به محصولات از نوع الیافی (پشمی)، و معادله (ب-۱۶) به مصالح پلاستیکی سلولی و صفحات چوب‌پنبه‌ای عایق قابل اعمال است (به بند ب-۲ پیوست ب مراجعه شود).

پ-۲-۲-۱ ارزیابی اثر ضخامت با استفاده از نمودار و جدول

برای مصالحی که دارای هوای محبوس فقط در خمیره صلب خود هستند، می‌توان نسبت $L = 7/\lambda_t$ را، که تعیین‌کننده اثر ضخامت است، بر حسب ضریب انتقال و پارامترهای آزمون (ضخامت، پارامتر خاموشی و چگالی) ترسیم نمود.

مثال: برای یک محصول به ضخامت ۴۰ میلی‌متر، که مطابق جدول ۱، در دمای $10^\circ C$ ضریب انتقالی برابر $45 [mW/(m.K)]$ دارد، ضریب انتقال بین ۰/۹۷۰ و ۰/۹۷۳ برابر مقدار ضریب انتقال حرارت خواهد بود. به عبارت دیگر، وابستگی به ضخامت حدود ۳ درصد ضریب انتقال حرارت است، و در نتیجه، غیر قابل چشم‌پوشی است.

پ-۲-۲-۲ ارزیابی اثر ضخامت از طریق محاسبه

برآورد دقیق‌تر مقاومت حرارتی R_0' می‌تواند برای مصالح عایق حاوی هوا در خمیره صلب خود انجام شود. این کار با در دست داشتن مقداری اندازه‌گیری شده برای ضریب انتقال مربوط به ضخامتی نسبتاً زیاد، و با استفاده از آن در ابتدا، به عنوان ضریب انتقال حرارت λ_t صورت می‌گیرد.

در ادامه، از معادله (ب-۱۰) برای مصالح از نوع الیافی (پشمی)، یا معادله (ب-۱۸) برای مصالح پلاستیکی سلولی و صفحات چوب‌پنبه‌ای عایق، سهم هدایت کسر می‌شود (بند ب-۲-۲ را برای مصالح از نوع الیافی (پشمی) و بند ب-۲-۳ را برای مصالح پلاستیکی سلولی و صفحات چوب‌پنبه‌ای عایق ببینید). در نتیجه، عبارت C/ρ ناشی از انتقال حرارت تابشی، به دست می‌آید. لازم به ذکر است که $h_r = 4 \sigma_n T_m^3$ می‌باشد، و در نتیجه:

$$\rho \beta^* / 2 = h_r \rho / C$$

و در نتیجه، تمامی پارامترهای مورد نیاز برای برآورد R_0 در دسترس هستند.

مثال: یک عایق معدنی پتویی با چگالی $[kg/m^3]$ ۱۱ در دمای $10^\circ C$ ، دارای ضریب انتقالی برابر $[W/(m.K)]$ ۰.۴۵ است و هدایت حرارت هوا برابر $[W/(m.K)]$ ۰.۲۵۰ است. در این صورت، $B = 0.0015 [m^3/kg]$ ، $B = 0.0015 \times 11 = 0.0165$ ، $\rho = 0.0015 \times 11$ ، و در نتیجه، هدایت در هوا و خمیره صلب به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$0.0250(1 + 0.0015 \times 11) = 0.0250 \times 1.0165 = 0.0254$$

با انجام تفاضل،

$$C/\rho = 0.45 - 0.0254 = 0.4246 [W/(m.K)]$$

اگر گسیلندگی $e = 0.92$ و $F = 0.5$ در نظر گرفته شود، و در دمای $10^\circ C$:

$$h_r = 4 \times 5.66997 \times 10^{-8} \times 283.15^3 = 5.149 [W/(m^2.K)]$$

$\rho \beta^* / 2 = h_r \rho / C = 5.149 / 0.4246 = 12.12 m^{-1}$ ، با وارد کردن داده‌های عددی در معادله (ب-۸) بند ب-۲-۲، نتیجه می‌شود:

$$R_0 = \frac{5.149}{(0.045 \times 262.9)^2 \left[\frac{0.92}{2 - 0.92} + \sqrt{0.5 \frac{0.0254}{0.0450}} \right]} = 0.027 m^2.K/W$$

برای حداقل ضخامت آزمونه، $d_m = 50 [mm]$ است. در این صورت:

$$R_0 / (d_m / \lambda_t) = 0.027 / (0.050 / 0.045) = 0.024$$

یعنی، R_0 مساوی ۲.۴ درصد از مقاومت حرارتی به دست آمده از ضریب انتقال حرارت است و اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است، و روش کار مطرح شده در بند (پ-۳) باید در نظر گرفته شود.

پ-۲-۲-۳ موارد خاص ارزیابی مربوط به اثر ضخامت

برای محصولات پوسته‌دار (برای مثال پلی‌استایرن اکستروژنه)، خصوصیات مغزه مصالح باید در محاسبات اولیه R_0 در نظر گرفته شود.

برای محصولات پشم معدنی، با تغییرات چگالی در جهت ضخامت، در یک ارزیابی اولیه ارتباط با اثر ضخامت با محاسبه R_0 یا با استفاده از جدول ۱، باید خصوصیات یک مصالح همگن با کمترین چگالی مشاهده شده، برای یک محصول غیر همگن واقعی در نظر گرفته شود.

پ-۲-۳ روش کار اندازه‌گیری R_0 و λ_t برای ارزیابی مربوط به اثر ضخامت

روش کار بند ۳-۵ تنها می‌تواند به آزمونه‌های همگن اعمال شود. روش کاری که در ادامه تشریح می‌شود، بیشتر غیرهمگنی‌هایی را که در حالت معمول در یک مصالح عایق با آن برخورد می‌کنیم، با اضافه کردن یک

درون‌یابی دقیق مقاومت حرارت مربوط به هر ضخامت، متوسط‌گیری می‌کند. این روش کار، در مورد محصولاتی که از نظر ارتباط با اثر ضخامت در مرز قرار دارند و نیاز به تصمیم‌گیری جدی در مورد اندازه‌گیری‌های بعدی دارند نیز قابل اعمال است.

در ادامه، مثالی برای توضیح روش کار قابل پیروی برای یک دستگاه جریان حرارت‌سنج تک‌آزمونه‌ای ارائه می‌شود.

- مجموعه‌ای از سه آزمونه S_1 ، S_2 و S_3 را، با ضخامت‌های مساوی، ولی کمتر از یک سوم حداکثر ضخامت مجاز آزمونه برای دستگاه مورد نظر، برش لایه‌ای دهید (شکل پ-۲)، برای مثال ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر.

- هر یک از آزمونه‌ها را جداگانه اندازه‌گیری کنید.

- سه آزمون دیگر، با ضخامتی دو برابر ضخامت آزمونه تکی، با روی هم قرار دادن آزمونه‌ها S_1+S_2 ، S_1+S_3 و S_2+S_3 انجام دهید.

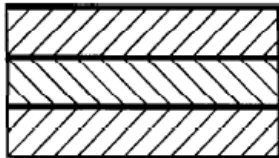
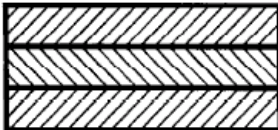
- سه آزمون دیگر، با ضخامتی سه برابر ضخامت آزمونه تکی، با روی هم قرار دادن آزمونه‌ها $S_1+S_2+S_3$ ، $S_2+S_3+S_1$ و $S_3+S_1+S_2$ انجام دهید.

- برازش (رگرسیون) خطی داده‌های به‌دست آمده از نه (۹) آزمون انجام شده را محاسبه کنید.

بدین ترتیب، وزن در نظر گرفته‌شده برای داده‌های اندازه‌گیری شده برای هر ضخامت یکسان خواهد بود، و امکان تعیین مقادیر متوسط با در نظر گرفتن تفاوت‌های بین آزمونه‌ها، و در ادامه تعیین مقادیر برای کل ضخامت با برون‌یابی فراهم خواهد شد.

زمانی که یک دستگاه لوح گرم محافظت‌شده دو آزمونه‌ای مورد استفاده قرار گیرد، دو مجموعه سه آزمونه‌ای مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

روش‌های کار اولیه برای پشم‌های معدنی که دارای گرادیان چگالی در جهت ضخامت هستند با مواردی که در آنها اثر ضخامت غیرقابل چشم‌پوشی است یکجا در بند پ-۳-۲-۱-۲ تشریح شده‌اند.

S1	S2	S3
S1 S2	S2 S3	S3 S1
S1 S2 S3	S2 S3 S1	S3 S1 S2
		

ردیف زیرین توده انباشته (فشرده) سه آزمون پشم معدنی را نشان می‌دهد.

شکل پ-۲ آرایش (ترتیب) خاص برای اندازه‌گیری‌های مصالح تقریباً همگن

پ-۳ روش‌های کار، زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است

پ-۳-۱ کاربرد مقادیر ارائه شده در جداول، زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است زمانی که با محاسبات یا روش کار تجربی بند پ-۲-۳ ثابت شده باشد که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است (زمانی که $1-L > 0.02$ باشد و در استاندارد محصول مطرح نشده باشد)، تجربیات اندازه‌گیری‌های قبلی بر روی همان مصالح باید مورد استفاده قرار گیرد، تا در خصوص کفایت دقت، امکان انجام آزمون تک‌لایه‌ای و تعیین ضریب انتقال کل ضخامت مورد نظر، با استفاده از اطلاعات ارائه شده در جداول ۱ تا ۴ تصمیم‌گیری شود.

در موارد دیگر، روش‌های کاری که در ادامه ارائه شده است می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

پ-۳-۲ روش‌های کار تجربی زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است

روش کاری که در این بخش تشریح می‌شود با این فرض است که ضخامت آزمون بیش از ظرفیت دستگاه و اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است، و نیز محاسبات و استفاده از جداول، امکان دستیابی به دقتی بهتر از یک درصد حداقل مقاومت حرارتی قابل انتظار برای آزمون را فراهم نمی‌کند. این روش‌های کار، در مواردی که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی، و ضخامت آزمون از ظرفیت دستگاه فراتر نیست، نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در این حالت، روش‌های کاری برای استنتاج پارامترهای مواد، مورد استفاده قرار می‌گیرند، تا نیاز انجام اندازه‌گیری‌ها برای ضخامت‌های مختلف محصول برطرف شود.

پ-۳-۲-۱ روش‌های کار برای پشم‌های معدنی

انتظار می‌رود زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم‌پوشی است، چگالی در جهت ضخامت عایق پشم معدنی متغیر باشد. در این حالت، به بند پ-۳-۲-۱-۲ مراجعه شود. در صورتی که مصالح همگن باشد، باید مطابق بند پ-۳-۲-۱-۱ عمل شود.

پ-۳-۲-۱-۱ روش کار برای پشم‌های معدنی همگن

پ-۳-۲-۱-۱-۱ روش کار اولیه برای استنتاج پارامترهای مواد

منظور از این روش کار، محدود کردن تعداد اندازه‌گیری‌های مورد نیاز برای شناسایی پارامترهای تعیین‌کننده تغییرات عملکرد محصول است. چگالی یکی از این موارد است. بنابراین، در نظر گرفتن معادلات (ب-۱۰) و (ب-۱۸) و عبارت ارائه شده در (ب-۴) برای λ_r می‌تواند مفید باشد. λ_r می‌تواند به سه عامل هدایت در هوا (A)، هدایت در خمیره صلب $(Ab_r / B(1 + (\rho\rho_s)^{1/2}))$ یا Ab_r و تابندگی (λ_r) تجزیه شود. هدایت در خمیره صلب و تابندگی به چگالی توده‌ای وابسته هستند. جزئیات تکمیلی در این زمینه در پیوست ب-۲ ارائه شده است. با فرض این که مقدار A شناخته شده است (برای مثال با استفاده از معادله (ب-۱۱) برای هوا)، در اصل دو مقدار λ_r برای یک دمای متوسط دلخواه و دو چگالی متفاوت مورد نیاز است، تا پارامترهای B و β^* از هم تفکیک شوند. در عمل، امکان تکرار روش کار تجربی تشریح شده در بند پ-۳-۲، با استفاده از سه گروه آزمون از یک مصالح وجود دارد، زیرا پارامترهای B و β^* متفاوت خواهند بود. روش کاری که در ادامه ارائه می‌شود مثالی برای حل این مسئله است:

- محصول را به چندین آزمون با ضخامت یکسان، در محدوده ظرفیت دستگاه برش لایه‌ای دهید (برای مثال،

۳۰۰mm به سه آزمون ۱۰۰ میلی‌متری بریده می‌شود)

- هر یک از آزمون‌ها را با چگالی و ضخامت خود آزمون کنید.

- آزمون‌ها را بر روی هم قرار دهید و با اعمال فشار، سه یا چهار چگالی متفاوت به‌دست آورید این کار می‌تواند

برای مثال، با کاهش ضخامت به دوسوم، و یک سوم ضخامت اولیه، و یک یا بیش از یک ضخامت میانی،

همان‌گونه که در پایین شکل پ-۱ بند پ-۳-۲ مشخص شده‌است، انجام شود.

آزمون‌ها در ضخامت‌های متفاوت از همان مصالح، مطابق معادله (ب-۱۰) صورت می‌گیرند، ولی آنچه در این

صورت تعیین می‌شود مقاومت حرارتی، R، با استفاده از معادله (۱) یا ضریب انتقال حرارت، T، با استفاده از

معادله (۲) یا بند (ب-۷) است، نه مقدار حدی λ_r آن.

مقادیر کم فشردگی، که باعث می‌شود افزایش چگالی نسبت به حالت غیر فشرده بیش از ۲۰ درصد نباشد،

می‌تواند عدم دقت مضاعف درون‌یابی‌ها را نیز به همراه داشته باشد، در حالی که مقادیر فشردگی زیاد، که

چگالی‌های دو تا سه برابر را ناشی می‌شود، می‌توانند ساختار مصالح را تغییر دهند. در خصوص میزان حداکثر

فشردگی، توصیه می‌شود استانداردهای محصولات مورد بررسی قرار گیرند.

- تحلیل کمترین مربعات را، برای R_0 بر حسب پارامترهای مواد، با استفاده از معادله (۱) بند ۵-۲ و معادله (ب-

۱۰) یا (ب-۱۸)، برای ضریب انتقال حرارتی و معادله (ب-۸) یا (ب-۵) برای آزمون‌های با چگالی بسیار کم و

ضخامت کم، انجام دهید.

در معادله (ب-۸) ε ضریب گسیل نیمکروی کل دستگاه، β^* پارامتر خاموشی جرمی، و ρ چگالی توده‌ای مصالح هستند. F و h_f نیز با معادلات (ب-۳) تعریف می‌شوند. پارامتر E که در معادله (ب-۵) ظاهر می‌شود پارامتر خاموشی اصلاح شده است و با معادله (ب-۶) بیان می‌شود.

– مقاومت حرارتی آزمون برای ضخامت تعیین شده را، با استفاده از معادلات درونیابی و پارامترهای مواد مشتق شده از تحلیل کمترین مربعات محاسبه کنید.

از پارامترهای مواد، B دارای اهمیت کمی است و F تغییرات قابل توجهی ندارد. پس با شناخته بودن A ، تغییرپذیری مصالح می‌تواند تنها به پارامتر β^* اطلاق شود. به عبارت دیگر، برای دستیابی به پارامترهای متوسط معرف محصول، انجام آزمون در شرایط فشرده برای تعداد معدودی آزمون، مورد نیاز خواهد بود (اندازه‌گیری‌های اولیه و ارزیابی‌ها برای آزمون).

پ-۳-۱-۲-۱-۲ روش کار معمول

به عنوان روش کار معمول، آزمون محصول به صورت برش خورده و با چگالی اولیه توصیه می‌شود. پارامتر β^* از این اندازه‌گیری‌ها استنتاج می‌شود، و مقاومت مربوط به کل ضخامت آزمون با استفاده از معادلات (۱) بند (۲-۵) و (ب-۸) محاسبه می‌شود.

پ-۳-۱-۲-۳ روش کار برای پشم معدنی با گرادیان چگالی در جهت ضخامت

در ادامه، مثالی از روش کار برای پشم معدنی با تغییر چگالی در جهت ضخامت ارائه می‌شود:

– محصول پشم معدنی را برش لایه‌ای دهید تا تعدادی لایه با ضخامتی کمتر از ضخامت حداکثر قابل قبول برای دستگاه به دست آید. از طرف دیگر، ضخامت لایه‌ها نباید کمتر از یک سوم ضخامت آزمون باشد (برای مثال، آزمون با ۲۴۰ میلی‌متر ضخامت به سه لایه ۸۰ میلی‌متری برش لایه‌ای داده می‌شود).

بهتر است تعداد لایه‌های برش خورده فرد باشد تا یک لایه مربوط به قسمت مرکزی آزمون باشد. هرچه ضخامت لایه‌ها بیشتر باشد (بدون آن که از ضخامت حداکثر قابل قبول برای دستگاه فراتر رود)، شبیه مؤثر بودن اثر ضخامت برای لایه کم‌رنگ‌تر می‌شود. زمانی که اثر ضخامت قابل انتظار یا غیر قابل صرف نظر باشد، ضخامت کم لایه، امکان تعیین دقیق‌تر بعضی از پارامترهای مواد را فراهم می‌سازد. در این حالت، اندازه‌گیری‌ها بر روی دو یا سه لایه روی هم باید در برنامه کاری قرار گیرد.

– چگالی هر لایه را اندازه‌گیری نمایید. چگالی هر لایه را به مختصات مرکز هر لایه ارتباط دهید. مرکز مختصات بر روی نقطه مرکز آزمون در نظر گرفته می‌شود. با تحلیل همبستگی، پارامترهای ρ_0 و k در معادله (ب-۱۳)، مربوط به همبستگی چگالی بر حسب مختصات x موازی با جهت ضخامت آزمون، را نتیجه‌گیری کنید.

مثال: آزمون به ضخامت ۲۴۰ میلی‌متر به سه لایه ۸۰ میلی‌متری بریده شده، و مقادیر زیر برای چگالی‌ها اندازه‌گیری شده‌است: $[1170 \text{ kg/m}^3]$ ، $[1410 \text{ kg/m}^3]$ و $[2030 \text{ kg/m}^3]$. این چگالی‌ها به مختصات ۸۰ میلی‌متر، صفر میلی‌متر و ۸۰ میلی‌متر مربوط شده‌اند. با برازش خطی اعمال شده به معادله (ب-۱۳) عبارت زیر به دست می‌آید:

$$R = 15.37 (1 + 0.0538 x) [\text{kg/m}^3]$$

که در آن، x مختصات به میلی‌متر است.

چگالی را بر روی دو سطح مقابل هم آزمون، $-d/2$ و $+d/2$ محاسبه کنید. اگر اختلاف چگالی‌های محاسبه شده با مقدار متوسط چگالی آزمون کمتر از ۲۰ درصد باشد، تفاوت نتیجه معادله (ب-۱۴) با عبارت $R=d/\lambda_f$ کمتر از یک درصد خواهد بود.

مثال : اگر در آزمون مثال قبلی، در مختصات ۱۲۰- و ۱۲۰+ میلی‌متر، به ترتیب $\rho=8,92 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ و $\rho=21,82 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ باشد، این مقادیر با چگالی متوسط، حدود ۴۲ درصد تفاوت خواهند داشت، و در نتیجه باید معادله (ب-۱۴) به کار رود.

ضریب انتقال لایه‌ای که کمترین فشردگی را دارد اندازه‌گیری کنید و مقاومت حرارتی R_0 را طبق بند پ-۲-۲-۲ محاسبه نمایید، تا تصمیم‌گیری اولیه در خصوص اثر ضخامت لایه‌هایی که باید مورد آزمون قرار گیرند صورت گیرد. همان‌گونه که در بندهای پ-۳-۲-۱-۲ و پ-۳-۲-۱-۲-۲ مشخص شده‌است، تعیین کنید اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی است یا خیر.

پ-۳-۲-۱-۲-۳ روش کار زمانی که اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی است

زمانی که اثر ضخامت قابل چشم‌پوشی است، ادامه روش کار می‌تواند به شرح زیر باشد:

- مقاومت حرارتی لایه یا دو لایه‌ای که در مرکز آزمون هستند، اندازه‌گیری کنید
- ضریب هدایت حرارتی λ_{cd} جامد و گازی را، با استفاده از چگالی متوسط آزمون (در مثال قبلی $15,37 \text{ kg/m}^3$) طبق بند پ-۲-۲-۲ محاسبه کنید. ضخامت x_c مربوط به لایه‌ای با چگالی نزدیک‌تر به چگالی متوسط را در معادله (ب-۱۳) محاسبه کنید (در مثال قبلی، چگالی $14,10 \text{ kg/m}^3$ لایه مرکزی مربوط به x_c برابر $23,6 \text{ mm}$ است). مختصات x_1 و x_2 سطح تحتانی و فوقانی لایه به مرکز x_c آزمون را محاسبه کنید (در مثال قبلی، x_1 و x_2 به ترتیب برابر $6,6 \text{ mm}$ و $16,4 \text{ mm}$ هستند). با استفاده از معادله (ب-۱۴) و معادلات (ب-۲)، (ب-۳) و (ب-۴)، β^* مربوط به آزمون را نتیجه‌گیری کنید.
- با استفاده از مقدار β^* آزمون و معادلات (ب-۲)، (ب-۴) و (ب-۱۴) با $x_1 = -d/2$ و $x_2 = +d/2$ ، مقاومت حرارتی آزمون را حساب کنید.

یادآوری: زمانی که $(k d/2) < 0.2$ باشد، عبارت $R_{12} = (x_2 - x_1) / \lambda_t$ به جای معادله (ب-۱۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای اطلاعات تکمیلی در خصوص امکان استفاده از روش کار فوق، برای هر دو مرحله مقدماتی و روال معمول، یا فقط روال معمول، می‌توان استاندارد محصول را بررسی کرد.

برای تعیین مختصات مناسب مربوط به چگالی لایه (مطرح شده در بخش قبلی)، و همچنین تعیین هر دو ضریب λ_{cd} و β^* با تحلیل کمترین مربعات برای مقاومت‌های حرارتی اندازه‌گیری شده لایه‌ها، با استفاده از معادله (ب-۱۳) و مختصات مناسب لایه که در معادله قسمت قبلی ارائه شده، یک روال معمول مقدماتی دقیق شامل اندازه‌گیری مقاومت حرارتی تمامی لایه‌ها است.

پ-۳-۲-۱-۲-۳ روش کار زمانی که اثر ضخامت غیرقابل چشم‌پوشی است

زمانی که اثر ضخامت غیرقابل چشم‌پوشی است، روش کار مشخص شده در بند پ-۳-۲-۱-۲-۳ کماکان معتبر می‌باشد، ولی در این صورت معادله (ب-۱۵) برای محاسبه هر دو مقاومت حرارتی لایه و آزمون مناسب است. R_{01} و R_{02} با استفاده از معادله (ب-۸) و با در نظر گرفتن چگالی‌ها بر روی سطوح آزمون با مختصات $d/2$ و $+d/2$ یا چگالی‌های بر روی سطوح به ترتیب x_1 و x_2 محاسبه می‌شود. R_{12} مقاومت حرارتی آزمون یا لایه است که با معادله (ب-۱۴) تعیین می‌شود. پارامتر $F=0,50$ می‌تواند در محاسبه R_{01} و R_{02} مورد استفاده قرار گیرد. در روش معمول مقدماتی، F نیز می‌تواند با استفاده از تحلیل کمترین مربعات به دست آید.

پ-۳-۲-۲ روش کار برای پلاستیک‌های سلولی و صفحات عایق چوب‌پنبه‌ای

پ-۳-۲-۲-۱ روش کار برای پلاستیک‌های سلولی همگن، به غیر از صفحات پلی‌استایرن منبسط و صفحات عایق چوب‌پنبه‌ای

زمانی که برای انجام ارزیابی‌ها مطابق بند پ-۲ نیاز به آزمایش‌های تکمیلی وجود دارد، روش کار زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای بسیاری از مصالح در نظر گرفته شده در این بند، برای مثال پلی‌استایرن منبسط، ضخامت‌های آزمونه نیز تا کمتر از ضخامت d_{∞} کاهش می‌یابد.

پ-۳-۲-۲-۱-۱ روش کار مقدماتی

در ادامه یک مثال از روش کار مقدماتی برای پلاستیک‌های همگن سلولی ارائه می‌شود.

- مقاومت حرارتی لایه‌ای از محصول، که ضخامتی کمتر از حداکثر ضخامت مجاز برای دستگاه دارد، را اندازه‌گیری کنید.
- ضخامت لایه را به صورت تدریجی، با برش لایه‌ای و جدا کردن لایه‌های ۱۰ mm تا ۲۰ mm کاهش دهید. پس از هر برش، مقاومت حرارتی باقی‌مانده لایه را اندازه‌گیری کنید.
- پارامترهای مواد را با استفاده از تحلیل کمترین مربعات استنتاج کنید.

برای مصالح پلاستیک سلولی و صفحات چوب‌پنبه‌ای، R'_0 با استفاده از معادله (ب-۱۵) که در زیر آمده است بیان می‌شود.

$$R'_0 = \frac{h_r}{(\lambda_t \beta^* \rho / 2)^2 \left[\frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon} Z + \frac{2 \lambda_{cd}}{\beta^* d \rho \lambda_t} \right]} \quad (\text{ب-۱۵})$$

$Z=1$ به تمام پلاستیک‌های سلولی، به غیر از صفحات پلی‌استایرن منبسط و چوب‌پنبه عایق، اعمال می‌شود. با تحلیل کمترین مربعات، پارامترهای β^* ، A ، B و F محاسبه می‌شوند (F در اکثر موارد به صفر میل می‌کند). زمانی که مصالح حاوی هوا است، A پارامتر ثابتی است که از معادله (ب-۱۱) به دست می‌آید.

پ-۳-۲-۲-۱-۲ روال معمول

برای آزمایش در حالت معمول، محصول را، مشابه حالت پشم‌معدنی همگن، مطابق بند پ-۳-۲-۱-۱ به لایه‌هایی برش دهید. پارامتر β^* را استنتاج کنید و با استفاده از مقدار آن و دیگر پارامترهای روال اولیه، مقدار R'_0 و ضریب انتقال محصول را تعیین کنید.

پ-۳-۲-۲-۲ روش کار برای صفحات پلی‌استایرن منبسط و چوب‌پنبه عایق

روش کار مشابه روش ارائه شده در بند پ-۳-۲-۱-۲ است، ولی حال A ضریب هدایت هوا است، F به صفر میل می‌کند، و Z تابع ضخامت آزمونه و قطر متوسط دانه‌های پلی‌استایرن است. رابطه تجربی $Z=0,75-0,25 \tanh(d/(3d_b))$ ، زمانی که d_b قطر متوسط دانه‌های پلی‌استایرن است قابل قبول ارزیابی می‌شود. پارامترهای ناشناخته‌ای که باید با استفاده از روش تحلیل کمترین مربعات، در مرحله مقدماتی تعیین شوند عبارتند از β^* ، B و d_b قطر متوسط دانه‌های پلی‌استایرن.

هنگام روش کار معمول، تنها β^* را به عنوان پارامتر ناشناخته در نظر بگیرید، همانند بند پ-۳-۱-۲-۳ برای پشم معدنی و پ-۳-۲-۳-۱ برای دیگر پلاستیک‌های سلولی.

پ-۳-۲-۳-۳ روش‌های کار برای محصولات رویه پلاستیکی سلولی اکستروودشده
زمانی که فرایند اکستروژن مصالح پلاستیکی سلولی باعث افزایش چگالی در سطح محصول و تشابه ظاهری آن به یک پوسته شود، مغزه مصالح باید مورد آزمون قرار گیرد و محاسبات بند پ-۳-۲-۲ باید انجام شود. اگر محاسبات بند پ-۳-۲-۲ حاکی از نیاز به اندازه‌گیری‌های تکمیلی باشد، یکی از راه‌های اقدام به شرح زیر است:

- مقاومت حرارتی R'_0 مغزه مصالح را همانند حالت مصالح همگن تعیین کنید
- مقاومت حرارتی محصول را، معادل جمع مقاومت‌های حرارتی هر یک از n لایه با کاهشی برابر $(n-1)$ برابر مقاومت حرارتی R'_0 ، تعیین کنید. اگر در زمان برش، بخشی از مصالح از دست برود، تعدیل‌های مقتضی را مطابق بند ۴-۵ در نظر بگیرید.

پیوست ت

(اطلاعاتی)

مواردی که انتظار می‌رود در استاندارد محصول مشخص شده باشد

شماره بندی که برای هر یک از موارد زیر مشخص شده است مربوط به بندی از این استاندارد است که در آنجا به اقلام مورد نظر اشاره شده است.

شماره بند	مورد
۱-۵	آماده سازی آزمون و وابسته به محصول
۴-۵	روش های کار محاسبه مقاومت حرارتی لایه برش خورده متفاوت با مورد تشریح شده در این استاندارد
۴-۵	اختیار بین محاسبه مقاومت حرارتی کل آزمون حاصل از مقاومت حرارتی یک لایه و تعداد لایه ها مساوی تشکیل دهنده آزمون، یا محاسبه حاصل جمع مقاومت های حرارتی تمامی لایه ها تشکیل دهنده آزمون
۱-۵-۵	زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم پوشی باشد، تعیین ضریب انتقال حرارتی مصالح یا مقاومت حرارتی محصول
۱-۵-۵	کاربرد جداول ۱ تا ۴ برای تعیین ضریب انتقال حرارت، زمانی که اثر ضخامت غیر قابل چشم پوشی باشد
۲-۵-۵	انتخاب روال درونیابی
۳-۵-۵	انتخاب روال درونیابی
۶	اطلاعاتی که باید در گزارش آزمون درج شود
پ-۱	پارامترهای مواد که باید در روال اولیه یا معمول مشخص یا اندازه گیری شوند
پ-۲ و پ-۳-۱	وابستگی به اثر ضخامت زمانی که $1-L > 0,02$ ، مگر آن که به طریق دیگری در استاندارد محصول مشخص نشده باشد.
پ-۱-۱-۲-۳	حداکثر میزان فشردگی مجاز، هنگام آزمون محصولات پشم معدنی
پ-۱-۲-۳-۱	به کار گیری روش کار بند پ-۳-۱-۲-۱ برای هر دو روال اولیه و روال معمول، یا فقط برای روال معمول