



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۷۵۱۰

تجدید نظر اول

ISIRI

7510

1st. Revision

رنگ‌ها و جلاها -
اندازه‌گیری ضخامت فیلم

**Paints and varnishes -
Determination of film thickness**

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
تهران - خیابان ولیعصر، ضلع جنوبی میدان ونک، پلاک ۱۲۹۴، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹
تلفن: ۸۸۸۷۹۴۶۱-۵
دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳
کرج - شهر صنعتی، صندوق پستی ۳۱۵۸۵-۱۶۳
تلفن: ۸-۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶۱)
دورنگار: ۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶۱)
پیام نگار: standard@isiri.org.ir
وبگاه: www.isiri.org
بخش فروش، تلفن: ۲۸۱۸۹۸۹ (۰۲۶۱)، دورنگار: ۲۸۱۸۷۸۷ (۰۲۶۱)
بها: ۵۱۲۵ ریال

Institute of Standards and Industrial Research of IRAN
Central Office: No.1294 Valiaser Ave. Vanak corner, Tehran, Iran
P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran
Tel: +98 (21) 88879461-5
Fax: +98 (21) 88887080, 88887103
Headquarters: Standard Square, Karaj, Iran
P.O. Box: 31585-163
Tel: +98 (261) 2806031-8
Fax: +98 (261) 2808114
Email: standard@isiri.org.ir
Website: www.isiri.org
Sales Dep.: Tel: +98(261) 2818989, Fax.: +98(261) 2818787
Price: 5125 Rls.

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 «رنگ‌ها و جلاها- اندازه‌گیری ضخامت فیلم»
تجدیدنظر

رئیس:

اخیری، شهاب
(کارشناسی ارشد شیمی)

سمت و/ یا نمایندگی

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی
آذربایجان شرقی

دبیر:

قدیمی کلجاهی، فریده
(کارشناس ارشد شیمی)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی
آذربایجان شرقی

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

دیدهور، علی اصغر
(کارشناس مدیریت دولتی)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی
آذربایجان شرقی

سعادت، فریبا
(کارشناسی شیمی)

کارخانجات رنگ و رزین صانع یکتا

غضنفرزاده، آرم
(کارشناسی شیمی)

رنگ‌سازی سالم فام

مشتاقی، فرح
(کارشناسی شیمی)

کارخانجات رنگ و رزین بحرین

ج	آشنایی با موسسه استاندارد
د	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ اندازه‌گیری ضخامت فیلم تر
۱۱	۵ اندازه‌گیری ضخامت فیلم خشک
۳۰	۶ اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های پودری پخت نشده
۳۳	۷ اندازه‌گیری ضخامت فیلم روی سطوح زیر
۳۵	۸ گزارش آزمون
۳۶	پیوست الف (اطلاعاتی) مروری بر روش‌ها
۴۰	کتابنامه

پیش‌گفتار

استاندارد " رنگ‌ها و جلاها- اندازه‌گیری ضخامت فیلم" نخستین بار در سال ۱۳۸۳ تدوین شد. این استاندارد بر اساسی پیشنهادهای رسیده و بررسی توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و تایید کمیسیون‌های مربوط برای بار اول مورد تجدید نظر قرار گرفت و در پانصد و دوازدهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد شیمیایی و پلیمر تاریخ ۸۶/۱۲/۲۶ تصویب شد. اینک این استاندارد 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، استاندارد های ملی ایران در موقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استاندارد ها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوطه مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۷۵۱۰: سال ۱۳۸۳ است.

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

1-ISO 2808: 2007, Paints and Varnishes —Determination of film thickness

رنگ‌ها و جلاها - اندازه‌گیری ضخامت فیلم

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین چند روش برای اندازه‌گیری ضخامت پوشش‌های اعمال شده بر روی زیرآیند می‌باشد. روش‌های اندازه‌گیری ضخامت فیلم تر، ضخامت فیلم خشک، و ضخامت لایه‌های پودری پخت نشده^۱ توصیف شده‌اند. این استاندارد شامل هر کدام از موارد فوق می‌باشد. از طرف دیگر، روش به تفصیل توصیف شده است.

در پیوست الف، مروری بر این روش‌ها ارائه شده است که در آن دامنه کاربرد، استانداردهای موجود و صحت تک تک روش‌ها مشخص شده است.

در این استاندارد، عبارات مرتبط با اندازه‌گیری ضخامت فیلم نیز تعریف می‌شود.

۲ مراجع الزامی

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

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای 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 تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۶۴۴۲: سال ۱۳۸۱، میکرومتر-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

۲-۲ استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۱۸: سال ۱۳۸۳، رنگ‌ها و جلاها- واژه‌ها و اصطلاحات

2-3 ISO 463, Geometrical Product Specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Design and metrological characteristics of mechanical dial gauges

2-4 ISO 8503-1, Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrates — Part 1: Specifications and definitions for ISO surface profile comparators for the assessment of abrasive blast-cleaned surfaces

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعریف شده در استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۱۸: سال ۱۳۸۳ اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود.

۱-۳

زیر آیند

سطحی که با ماده پوشش دهنده، پوشش داده شده است یا قرار است که پوشش داده شود.

[ISO 4618:2006]

۲-۳

پوشش

لایه پیوسته‌ای که از اعمال یک یا چند ماده پوشش دهنده بر روی زیر آیند تشکیل شده است.

۳-۳

ضخامت فیلم

فاصله بین سطح فیلم و سطح زیر آیند

۴-۳

ضخامت فیلم تر

ضخامت ماده پوشش دهنده‌ی تر که به تازگی اعمال شده، و بلافاصله پس از اعمال پوشش، اندازه‌گیری شده باشد.

۵-۳

ضخامت فیلم خشک

ضخامت یک پوشش موجود بر روی سطح، پس از سخت شدن پوشش

۶-۳

ضخامت لایه پودری پخت نشده

ضخامت ماده پوشش دهنده که به تازگی و به شکل پودر اعمال شده باشد، و بلافاصله پس از اعمال پوشش و قبل از قرار دادن در کوره، اندازه‌گیری شده باشد.

۷-۳

سطح محل مورد نظر^۱

قسمتی از قطعه پوشش داده شده، یا مورد نظر برای پوشش‌دهی توسط پوشش و برای پوششی که برای قابلیت استفاده و/یا وضع ظاهری ضروری است.

یادآوری- اندازه‌گیری این خاصیت فقط برای ارزیابی گسترده‌تر اندازه‌گیری‌های ضخامت فیلم مورد نیاز است. به بندهای ۱۰-۸ و ۱۱-۱۰ مراجعه کنید.

۸-۳

سطح آزمون

قسمت مشخصی از سطح محل مورد نظر که تعداد توافق شده‌ای از اندازه‌گیری‌های جداگانه به عنوان یک بررسی نقطه‌ای انجام می‌گیرد.

1- Relevant surface area

۹-۳

سطح اندازه‌گیری

سطحی که یک اندازه‌گیری جداگانه بر روی آن انجام می‌گیرد.

۱۰-۳

کمینه ضخامت موضعی فیلم

کمترین مقدار ضخامت موضعی فیلم، که بر روی سطح مورد نظر یک نمونه آزمون معین وجود دارد.

۱۱-۳

بیشینه ضخامت موضعی فیلم

بیشترین مقدار ضخامت موضعی فیلم، که بر روی سطح مورد نظر یک نمونه آزمون معین وجود دارد.

۱۲-۳

میانگین ضخامت فیلم

میانگین حسابی تمام ضخامت‌های جداگانه فیلم خشک، بر روی سطح آزمون یا نتیجه حاصل از یک اندازه‌گیری وزن سنجی ضخامت است.

۱۳-۳

کالیبراسیون

فرآیند کنترل شده و مستند شده اندازه‌گیری استانداردهای کالیبراسیون قابل ردیابی، و تایید این که نتایج در محدوده صحت بیان شده ابزار اندازه‌گیری می‌باشد.

یادآوری- به عنوان مثال، کالیبراسیون اولیه توسط سازنده دستگاه یا آزمایشگاه واجد شرایط در محیط کنترل شده با استفاده از فرایند مستند شده انجام می‌گیرد. این کالیبراسیون، معمولاً در فواصل زمانی منظم توسط کاربر تایید می‌شود. استاندارد مورد استفاده برای کالیبراسیون، به گونه‌ای می‌باشد که عدم قطعیت‌های ترکیبی اندازه‌گیری‌های حاصل کمتر از صحت بیان شده دستگاه می‌باشد.

۱۴-۳

تایید^۱

بررسی صحت توسط کاربر با استفاده از استانداردهای مرجع

۱۵-۳

استاندارد مرجع

نمونه آزمونی با ضخامت معلوم که کاربر بتواند صحت اندازه‌گیری دستگاه را تایید کند.

یادآوری- استانداردهای مرجع ممکن است پوشش‌هایی با ضخامت استاندارد یا لایه‌های فلزی^۲ باشند. در صورت توافق بین طرفین قرارداد، ممکن است قسمتی از نمونه آزمون به عنوان یک استاندارد ضخامت برای یک کار خاص در نظر گرفته شود.

۱۶-۳

تنظیم

1- Verification

2- Shims

عمل خطی کردن اندازه‌گیری‌های ضخامت خوانده شده توسط ابزار اندازه‌گیری، برای منطبق کردن با مقادیر استانداردهای مرجع.

یادآوری- در مواردی که ضخامت پوشش یا لایه فلزی معلوم باشد، اغلب دستگاه‌های اندازه‌گیری الکترونیکی قادر به تنظیم شدن به یک ضخامت استاندارد یا یک لایه فلزی هستند.

۱۷-۳

صحت

سازگاری بین یک مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار صحیح استاندارد ضخامت

۴ اندازه‌گیری ضخامت فیلم تر

۱-۴ کلیات

پیوست الف، مروری بر روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم تر را ارائه می‌دهد.

۲-۴ روش‌های مکانیکی

۱-۲-۴ اساس روش

در تمام روش‌های مکانیکی، سطح زیرآیند از طریق پوشش با قسمتی از ابزار اندازه‌گیری در تماس است و سطح پوشش به طور همزمان (به شکل ۱ مراجعه شود) یا متعاقباً (به شکل‌های ۲ و ۳ مراجعه شود) با قسمت دیگری از ابزار در تماس است. ضخامت فیلم تر، اختلاف ارتفاع بین دو نقطه تماس است که به طور مستقیم قابل خواندن می‌باشد.

۲-۲-۴ دامنه کاربرد

اصول مکانیکی برای هر نوع ترکیب فیلم-زیرآیند مناسب است. زیر آیند باید حداقل در یک جهت از محل-های مورد اندازه‌گیری، مسطح باشد. انحنای سطح فقط در یک سطح مجاز است (مانند سطح داخلی یا خارجی لوله‌ها).

۳-۲-۴ کلیات

طبقه‌بندی به عنوان یک روش مخرب یا غیرمخرب به موارد زیر بستگی دارد:

الف-خواص رئولوژیکی ماده پوشش دهنده؛

ب- ماهیت تماس مرطوب بین سطوح تماس ابزار اندازه‌گیری و ماده پوشش دهنده؛

پ- این که اندازه‌گیری‌های ضخامت، پوشش را برای اهداف مورد نظر، نامناسب می‌کند.

چون احتمال باقی ماندن ذرات رنگدانه بین اندازه‌گیر (ضخامت سنج) و زیرآیند قابل چشم پوشی نیست، کلیه روش‌های مکانیکی شامل یک خطای سیستماتیک می‌باشند: ضخامت فیلم نشان داده شده حداقل به اندازه قطر میانگین ذرات رنگدانه، کوچکتر از ضخامت فیلم تر واقعی است.

در حالت ضخامت‌سنج چرخدار (به بند ۴-۲-۵، روش ۱ مراجعه شود) چرخ باید با ماده پوشش‌دهنده مرطوب شود. در غیر این صورت، خطای سیستماتیک بیشتری نشان می‌دهد که منجر به قرائت مبالغه‌آمیز می‌شود و تابعی از موارد زیر است:

کشش سطحی و خواص رئولوژیکی ماده پوشش دهنده؛

جنس ضخامت سنج چرخدار؛

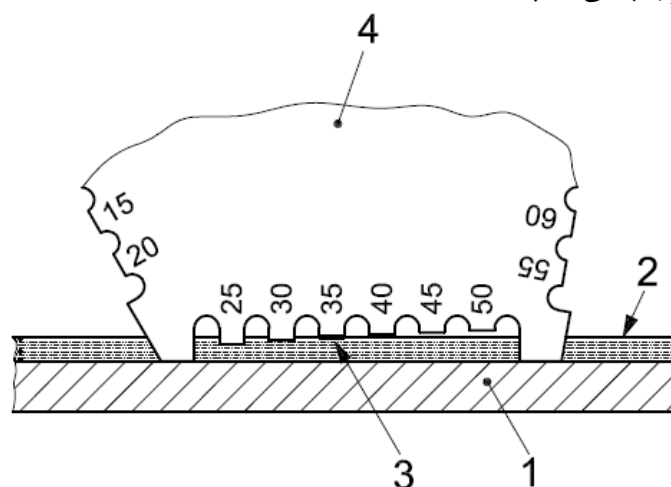
سرعت چرخش چرخ.

۴-۲-۴ روش ۱ الف- ضخامت سنج شانهای

۱-۴-۲-۴ توصیف دستگاه

ضخامت سنج شانهای، صفحه مسطحی است که از ماده مقاوم به خوردگی با دندانهای در طول لبه‌های آن تشکیل شده است (به شکل ۱ مراجعه شود). دندانهای مرجع در گوشه‌های صفحه، خط پایه‌ای را مشخص می‌کنند که دندانهای داخلی در امتداد آن مرتب شده‌اند تا یک سری از شکاف‌های درجه‌بندی شده را ارایه دهند. هر دندان به مقدار اختصاص داده شده به شکاف، برچسب گذاری می‌شود.

با ضخامت سنج‌های شانهای که به طور تجاری در دسترس می‌باشد، بیشینه ضخامت قابل اندازه‌گیری برابر $2000\text{ }\mu\text{m}$ و کمترین درجه‌بندی $5\text{ }\mu\text{m}$ است.



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ نقطه تماس تر
- ۴ ضخامت سنج شانهای

شکل ۱- مثالی از ضخامت سنج شانهای

۲-۴-۲-۴ روش آزمون

از تمیز بودن و فرسوده و آسیب دیده نبودن دندانها مطمئن شوید. ضخامت سنج شانهای را بر روی سطح صاف آزمون قرار دهید، طوری که دندانها به طرف سطح باشند. قبل از برداشتن ضخامت سنج، بگذارید تا دندانها به مدت کافی با پوشش، تر شوند.

در حالتی که آزمونها فقط در یک سطح خمیده باشند، ضخامت سنج شانهای باید در موقعیتی موازی با محورهای خمیدگی قرار گیرد.

نتیجه حاصل از اندازه‌گیری ضخامت، بستگی به زمان اندازه‌گیری دارد. بنابراین بهتر است بلافاصله پس از اعمال پوشش، اندازه‌گیری شود.

بزرگترین قرائت شکاف دندانه‌ی تر شده توسط ماده پوشش‌دهنده را به عنوان ضخامت فیلم تر یادداشت کنید.

۵-۲-۴ روش ۱ب- ضخامت‌سنج چرخدار

۱-۵-۲-۴ توصیف دستگاه

ضخامت‌سنج چرخدار شامل یک چرخ است که از فولاد سخت شده و مقاوم به خوردگی ساخته شده است و سه زهوار^۱ درجه‌بندی شده دارد (به شکل ۲ مراجعه شود).

دو زهوار به قطر یکسان نصب شده‌اند و با محور چرخ هم مرکز می‌باشند. زهوار سوم قطر کوچکتری دارد و به صورت غیر هم مرکز نصب شده است. یکی از زهوارهای بیرونی، مقیاسی دارد که از درجه‌بندی مربوط به زهوارهای هم مرکز نسبت به زهوار غیرهم مرکز، قرائت می‌شود.

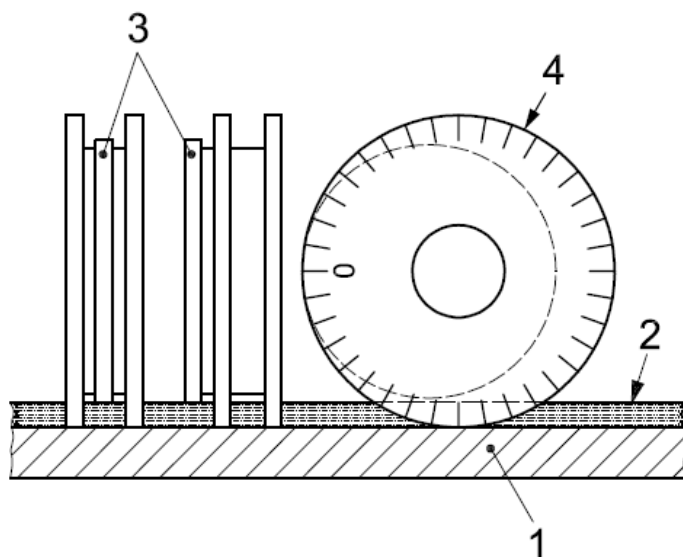
دو نوع در دسترس می‌باشد:

- در نوع اول، زهوار غیرهم مرکز بین زهوارهای هم مرکز قرار می‌گیرد،

- در نوع دوم، زهوار غیرهم مرکز خارج از زهوارهای هم مرکز و نزدیک یکی از آنها قرار می‌گیرد.

یادآوری- بر خلاف نوع ۱، طراحی نوع ۲ قرائت‌های عاری از اختلاف منظر ضخامت فیلم تر را مجاز می‌کند.

با ضخامت‌سنج‌های چرخدار که به طور تجاری در دسترس می‌باشد، بیشینه ضخامت قابل اندازه‌گیری برابر $1500\text{ }\mu\text{m}$ و کمترین درجه‌بندی $2\text{ }\mu\text{m}$ است.



- | | |
|---|------------------|
| ۱ | زیرآیند |
| ۲ | پوشش |
| ۳ | زهوار غیرهم‌مرکز |
| ۴ | ضخامت‌سنج چرخدار |

شکل ۲- شمایی از ضخامت‌سنج چرخدار

۲-۵-۲-۴ روش آزمون

ضخامت سنج چرخدار را به کمک محور چرخ و با انگشت شست و اشاره محکم بگیرید و زهوارهای هم مرکز را روی سطح در نقطه‌ای که بزرگترین قرائت بر روی مقیاس حاصل شود، فشار دهید. در این حالت، نمونه آزمون فقط در یک سطح خم می‌شود و محور خم شدگی و محور ضخامت‌سنج باید موازی باشند.

ضخامت‌سنج چرخدار را در یک جهت بچرخانید، آن را از روی سطح بردارید و بزرگترین قرائت مقیاس را در زهوار غیرهم مرکز که با ماده پوشش دهنده‌ی تر شده است، بخوانید. ضخامت‌سنج را تمیز کنید و در جهت دیگر تکرار کنید.

ضخامت فیلم تر را به صورت میانگین حسابی این قرائت‌ها، محاسبه کنید. نتیجه حاصل از اندازه‌گیری ضخامت، بستگی به زمان اندازه‌گیری دارد. بنابراین بهتر است بلافاصله پس از اعمال پوشش، اندازه‌گیری شود.

برای به کمینه رساندن تاثیر کشش سطحی بر روی نتایج بررسی کنید که چگونه رنگ، زهوار غیرهم مرکز را تر می‌کند و مقدار خوانده شده‌ی مقیاس را در اولین نقطه تماس یادداشت کنید. این عمل فقط در صورت استفاده از نوع ۲ با ضخامت‌سنج چرخدار، امکان پذیر است.

۶-۲-۴ روش ۱ پ- ضخامت‌سنج عقربه‌ای

۱-۶-۲-۴ دستگاه و استانداردهای مرجع

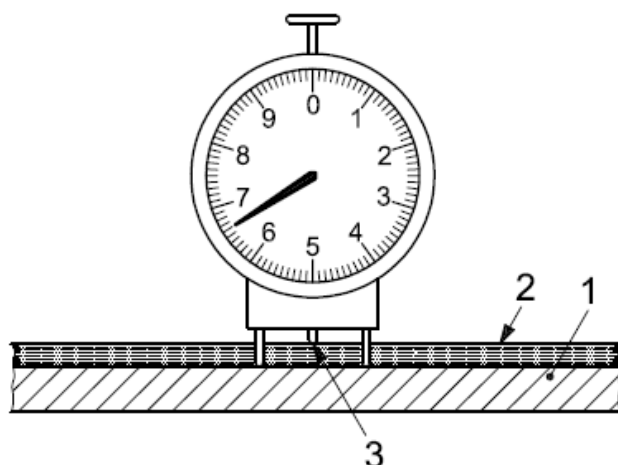
۱-۱-۶-۲-۴ ضخامت سنج عقربه‌ای (به شکل ۳ مراجعه شود)

ضخامت‌سنج‌های عقربه‌ای مکانیکی که با الزامات استاندارد ISO 463 مطابقت دارند، قادر به اندازه‌گیری ضخامت با صحت $5\text{ }\mu\text{m}$ و ضخامت‌سنج‌های عقربه‌ای الکترونیکی قادر به اندازه‌گیری ضخامت با صحت $1\text{ }\mu\text{m}$ یا بهتر می‌باشند. ضخامت‌سنج می‌تواند یک نشانگر آنالوگ یا دیجیتالی داشته باشد.

سطح زیرین ضخامت‌سنج عقربه‌ای دو محل اتصال به طول برابر و هم‌فاصله از پیستون قابل حرکت و هم‌راستا با آن دارد. برای برقراری تنظیمات محل پیستون در شیار، از یک پیچ تنظیم کننده استفاده می‌شود.

۲-۱-۶-۲-۴ استاندارد مرجع برای صفر کردن ضخامت‌سنج

صفحه مدرج باید شامل سطح شیشه‌ای صاف باشد که رواداری همواری آن از $1\text{ }\mu\text{m}$ بیشتر نباشد (به استاندارد ISO 1101 مراجعه شود).



۱ زیرآیند

۲ پوشش

۳ پیستون

شکل ۳- شمایی از ضخامت سنج عقربه‌ای

۲-۶-۲-۴ روش آزمون

ضخامت سنج عقربه‌ای را روی صفحه مرجع با اندازه‌گیری نوک تنظیم شده صفر کنید به طوری که فقط صفحه را لمس کند. پیستون را از موقعیت صفر به سمت عقب بپیچانید. محل اتصال ضخامت سنج عقربه‌ای را روی آزمون قرار دهید طوری که بر روی سطح زیرآیند قرار گیرند و به دقت پیستون را به طرف پایین بپیچانید تا نوک ضخامت سنج دقیقاً ماده پوشش دهنده را لمس کند.

نتیجه حاصل از اندازه‌گیری ضخامت، بستگی به زمان اندازه‌گیری دارد. بنابراین بهتر است بلافاصله پس از اعمال پوشش، اندازه‌گیری شود.

ضخامت فیلم تر را مستقیماً از روی ضخامت سنج قرائت کنید.

۳-۴ روش وزن سنجی

۱-۳-۴ اساس روش

پوشش، اعمال شده و ضخامت با استفاده از کم کردن جرم پوشش، و مساحت سطح پوشش داده شده و چگالی ماده پوشش دهنده اندازه‌گیری می‌شود.

ضخامت فیلم تر، t_w ، بر حسب میکرومتر از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$t_w = \frac{m - m_0}{A \times \rho} \quad (1)$$

که در آن

m_0 جرم نمونه آزمون بدون پوشش بر حسب گرم؛

m جرم نمونه آزمون پوشش داده شده بر حسب گرم؛

A مساحت سطح پوشش داده شده بر حسب متر مربع؛

ρ چگالی ماده پوشش مایع اعمال شده بر حسب گرم بر میلی‌لیتر است.

یادآوری- چگالی ماده پوشش دهنده مطابق استانداردهای ISO 2811-1، ISO 2811-2، ISO 2811-3 یا ISO 2811-4 قابل اندازه گیری است.

۴-۳-۲ دامنه کاربرد

اصول وزن سنجی، به شرطی که مقدار مواد خیلی فرار در ماده پوشش دهنده مایع کم باشد، عموماً کاربرد دارد.

۴-۳-۳ کلیات

اندازه گیری با استفاده از اصول وزن سنجی، میانگین مقدار ضخامت فیلم تر را روی تمام سطح پوشش داده شده ارائه می دهد. در صورت اعمال پوشش به روش پاشش، طرف دیگر نمونه آزمون باید به منظور جلوگیری از خطاهای اندازه گیری ناشی از پوشش طرف دیگر (پاشش زیاد) پوشانده شود. هرگونه پوشش طرف دیگر باید قبل از وزن کردن نمونه آزمون پوشش داده شده برداشته شود.

۴-۳-۴ روش ۲- اختلاف در جرم

۴-۳-۴-۱ وسایل لازم

وسایلی با مقیاس های با قابلیت توزین بیشتر از ۵۰۰ g با تقریب ۱ mg لازم است.

۴-۳-۴-۲ روش آزمون

ابتدا نمونه آزمون بدون پوشش را وزن و سپس آن را پوشش دهید و ضخامت فیلم تر را با استفاده از معادله (۱) محاسبه کنید.

۴-۴ روش نور-حرارت^۱

۴-۴-۱ اساس روش

ضخامت فیلم از روی اختلاف بین زمان یک موج حرارتی که بر روی پوشش تابیده می شود و زمان موج بازنشری^۲ (حرارت یا فراصوتی)، تعیین می شود (به شکل ۴ مراجعه شود).

صرفنظر از نوع تحریک مورد بحث یا روش آشکارسازی، کلیه روش های نور-حرارت با یک اساس مورد استفاده می باشند: وارد کردن دوره ای^۳ یا ضربه ای^۴ انرژی به شکل حرارت به یک نمونه آزمون و آشکارسازی افزایش حرارت موضعی.

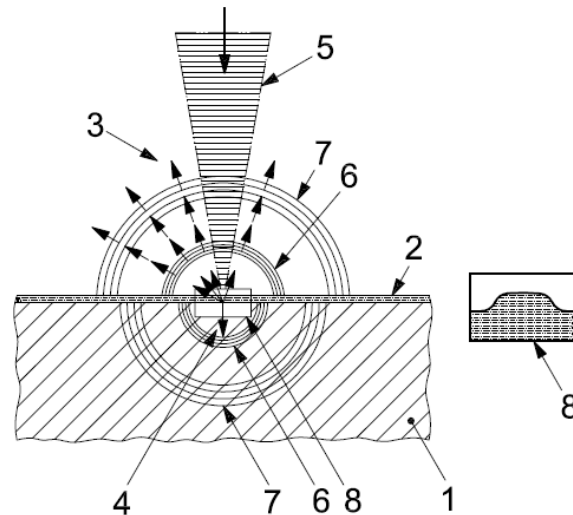
اختلاف زمانی اندازه گیری شده، در برابر مقادیر به دست آمده با دستگاه برای ضخامت های معلوم فیلم، تحت شرایط ثابت (انرژی تحریک، طول ضربه، فرکانس تحریک و غیره) مقایسه می شود (به بند ۴-۴-۴-۲ مراجعه شود).

1- Photothermal

2- Re-emitted

3- Periodic

4- Pulsed



۱ زیرآیند

۲ پوشش

۳ تابش حرارتی باز نشر شده

۴ جذب تابش توسط پوشش (بر اساس ضخامت پوشش و جنس ماده پوششی)

۵ تابش حرارتی

۶ امواج حرارتی

۷ امواج فراصوتی

۸ تغییر شکل سطح

شکل ۴- برهم کنش تابش با نمونه آزمون در اندازه گیری ضخامت به روش نور-حرارت، با نمایش تغییر شکل سطح.

۴-۴-۲ دامنه کاربرد

اساساً اصول نور-حرارت برای تمام ترکیب‌های فیلم-زیرآیند مناسب است. این روش برای اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های تکی یا پوشش‌های چندلایه مورد استفاده قرار می‌گیرد، مشروط بر این که لایه‌ها از نظر هدایت حرارتی و خواص انعکاسی، به قدر کافی از همدیگر متمایز باشند. کمینه ضخامت لازم زیرآیند، عاملی برای سیستم‌های اندازه‌گیری مورد استفاده (به بند ۴-۴-۱-۱ مراجعه شود) و ترکیب فیلم-زیرآیند است.

۴-۴-۳ کلیات

طبقه‌بندی روش به عنوان مخرب یا غیرمخرب به اهداف پوشش بستگی دارد. انرژی حرارتی جذب شده توسط پوشش می‌تواند بر روی پوشش، دارای اثر حرارتی موضعی موثر باشد (به شکل ۴، بخش ۸ مراجعه شود).

۴-۴-۴ روش ۳- اندازه‌گیری با استفاده از خواص حرارتی

۴-۴-۴-۱ وسایل و استانداردهای مرجع

۴-۴-۴-۱-۱ سیستم اندازه‌گیری

روش‌های مختلفی برای تولید امواج حرارتی در یک ماده پوشش دهنده و برای آشکارسازی اثرات حرارتی ایجاد شده در موقعیت حرارت داده شده نمونه‌های آزمون وجود دارد (به استاندارد EN 15042-2 مراجعه شود). منابع تابش حرارتی (مانند منابع لیزری، دیودهای نشر کننده نور، منابع نوری ملتهب) به طور عمده به عنوان سیستم برانگیخته کننده پوشش‌های رنگ، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش‌های آشکارسازی زیر مورد استفاده می‌باشند:

آشکارسازی تابش حرارتی نشر شده (پرتوسنجی نور-حرارت)؛

آشکارسازی تغییر در ضریب شکست (در هوای گرم شده بالای موضع اندازه‌گیری)؛

آشکارسازی پیروالکترونیک^۱ (اندازه‌گیری جریان گرم).

۴-۴-۲ استانداردهای مرجع

نمونه‌های استاندارد مرجع با خواص جذبی متفاوت و محدوده ضخامت فیلم متفاوت برای مقاصد کالیبراسیون مورد نیاز هستند (به استاندارد EN 15042-2 مراجعه شود).

۴-۴-۲ کالیبراسیون

سامانه‌ی اندازه‌گیری را با نمونه‌های آزمون مرجع (به بند ۴-۴-۲-۱ مراجعه شود) برای هر ترکیب فیلم-زیرآیند (به ویژه برای هر ماده پوشش دهنده) کالیبره کنید.

۴-۴-۳ روش آزمون

ابزار را مطابق دستورالعمل سازنده به کار گیرید و ضخامت فیلم را اندازه بگیرید.

۵ اندازه‌گیری ضخامت فیلم خشک

۵-۱ کلیات

پیوست الف، مروری بر روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم خشک را ارائه می‌دهد.

۵-۲ روش‌های مکانیکی

۵-۲-۱ اساس روش

یک ریزسنج یا ضخامت‌سنج عقبه‌ای (به روش ۴ الف و بند ۵-۲-۴ مراجعه شود) برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم از روی اختلاف بین ضخامت کل (زیرآیند + فیلم) و ضخامت زیرآیند، به کار می‌رود. دو روش برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم وجود دارد:

الف- اندازه‌گیری قبل و بعد از جدا کردن پوشش انجام می‌گیرد (مخرب)

ابتدا ضخامت کل در یک سطح اندازه‌گیری تعریف شده، اندازه‌گیری و پس از جدا کردن پوشش از سطح اندازه‌گیری، ضخامت زیرآیند اندازه‌گیری می‌شود.

ب- اندازه‌گیری قبل و بعد از اعمال پوشش انجام می‌گیرد (غیرمخرب)

ابتدا ضخامت زیرآیند و سپس ضخامت کل در همان سطح اندازه‌گیری پس از اعمال پوشش، اندازه‌گیری می‌شود.

ضخامت فیلم از روی اختلاف بین دو قرائت محاسبه می‌شود.

ضخامت‌سنج عمقی (به روش ۴ب در بند ۵-۲-۵ مراجعه شود) یا پروفایل‌سنج (به روش ۴پ در بند ۵-۲-۶ مراجعه شود) قادر است ضخامت فیلم را به طور مستقیم از روی اختلاف بین ارتفاع سطح فیلم و سطح بدون پوشش زیرآیند اندازه‌گیری کند.

یادآوری- با ضخامت‌سنج عمقی یا پروفایل‌سنج، فقط روش "جدا کردن پوشش" امکان‌پذیر است (به روش ۴ب و ۴پ مراجعه شود).

۵-۲-۲ دامنه کاربرد

اساساً اصول مکانیکی برای همه نوع ترکیب فیلم-زیرآیند مناسب است. در صورتی که اندازه‌گیری مکانیکی مورد استفاده باشد، زیرآیند باید به اندازه کافی سخت باشد تا از انحراف در قرائت ناشی از ایجاد یک فرورفتگی توسط نوک ضخامت‌سنج، جلوگیری شود.

ریزسنج یا ضخامت‌سنج عقربه‌ای (روش ۴ الف) برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم نمونه‌های آزمون استوانه‌ای شکل با سطح مقطع دایره‌ای (مانند مفتول و لوله) مناسب است.

در موارد اختلاف نظر، پروفایل‌سنج (روش ۴پ) به عنوان یک روش مرجع، قابل قبول است.

۵-۲-۳ کلیات

در روش "اعمال پوشش" یک الگو با سوراخ‌های برچسب‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرد تا اطمینان دهد که ضخامت زیرآیند و ضخامت کل دقیقاً در یک نقطه اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۱- روش "اعمال پوشش" در زیرآیندهای پلاستیکی ترجیح داده می‌شود، چون در بیشتر حالت‌ها، زیرآیند آسیب می‌بیند.

در روش "جدا کردن پوشش" محل‌های اندازه‌گیری باید دایره‌ای و برچسب‌دار باشند. پوشش باید به دقت و به طور کامل در محل اندازه‌گیری بدون آسیب دیدگی مکانیکی یا شیمیایی زیرآیند، جدا شود. ممکن است قسمتی از زیرآیند قبل از اعمال پوشش، به منظور حصول مراحل تعریف شده از یک لایه تا لایه بعدی، توسط نوار چسب پوشانده شود.

در حالت ضخامت‌سنج عمقی و پروفایل‌سنج (روش‌های ۴ب و ۴پ) پوششی که از محل اندازه‌گیری جدا نشده است، باید بدون آسیب باقی بماند.

در حالت پروفایل‌سنج (روش ۴پ) سطح بین زیرآیند و سطح فیلم باید به قدر کافی مشخص باشند.

در زیرآیندهای سخت (مانند شیشه) پوشش می‌تواند به طور مکانیکی جدا شود، اما در زیرآیندهای با سختی کمتر (مانند فولاد) پوشش باید به طور شیمیایی با استفاده از یک حلال یا رنگبر جدا شود.

یادآوری ۲- در زیرآیندهایی با سختی کمتر مانند فولاد، می‌توان فیلم را با یک مته توخالی^۱ به قطر ۱۰ mm برید و صفحه پوشش داده شده را با یک حلال یا رنگبر، پاک کرد.

کلیه سطوح (پوشش، زیرآیند، طرف پشت نمونه آزمون) که در تماس با ضخامت‌سنج می‌باشند یا اندازه‌گیری می‌شوند، باید تمیز و عاری از بقایای فیلم باشند.

۴-۲-۵ روش ۴ الف- اختلاف در ضخامت

۱-۴-۲-۵ توصیف دستگاه

۱-۱-۴-۲-۵ ریزسنج

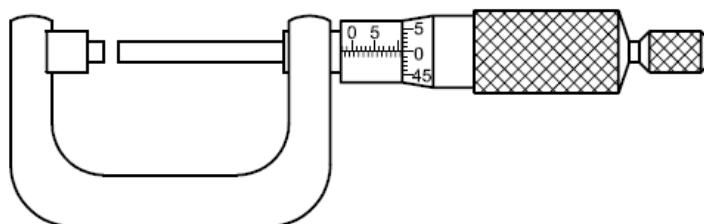
ریزسنج باید قابلیت اندازه‌گیری با تقریب $5\text{ }\mu\text{m}$ را داشته باشد و برای محدود کردن نیروی اعمال شده توسط سوزن بر روی سطح آزمون، باید با یک ضامن^۱ محکم شده باشد.

روش ۱: تثبیت شده تبه یک پایه

یک سر ریزسنج، به یک پایه محکم با صفحه مسطح به طور محکم بسته می‌شود، طوری که ارتفاع صفحه اندازه‌گیری قابل تنظیم باشد. صفحه اندازه‌گیری باید موازی با نوک پایه زیرین باشد.

روش ۲: نگه داشته شده با دست^۲

اصطلاح معمول برای این نوع دستگاه، ریزسنج بیرونی است، اگر چه به عنوان ریزسنج‌های ورنیه برای استفاده‌های خارجی نیز شناخته شده است (به استاندارد ملی ایران به شماره ۶۴۴۲: سال ۱۳۸۱ مراجعه شود). ریزسنج باید با الزامات استاندارد ملی ایران شماره ۶۴۴۲ مطابقت داشته باشد. رویه‌های اندازه‌گیری سوزن و سندان باید به شکل صفحه، و موازی با یکدیگر باشند.



شکل ۵- ریزسنج بیرونی

۴-۲-۵-۱-۲ ضخامت‌سنج عقربه‌ای

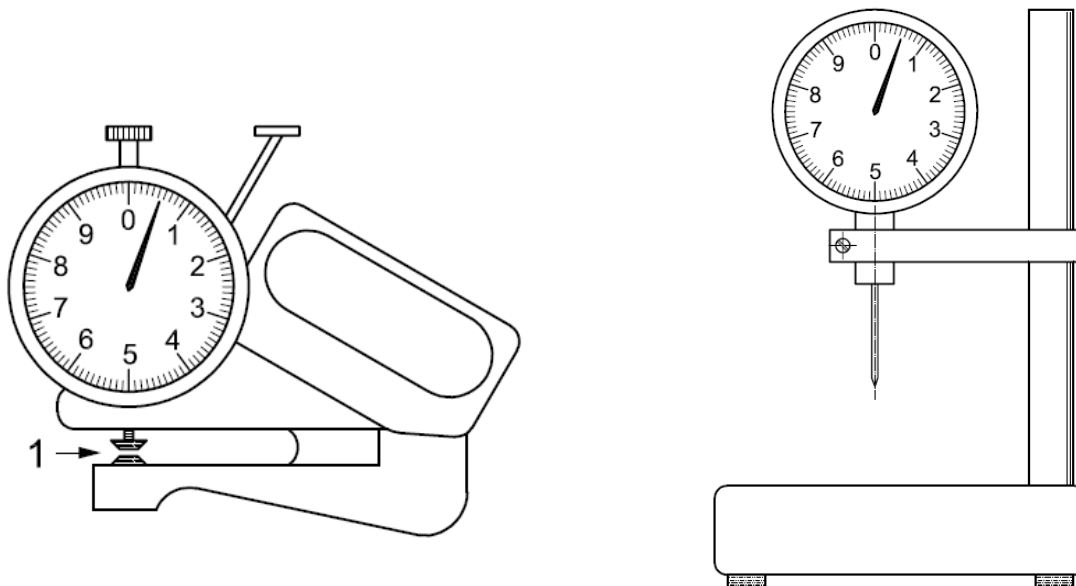
ضخامت‌سنج‌های عقربه‌ای از نوع مکانیکی، مطابق با الزامات ISO 463 قادر به اندازه‌گیری با صحت $5\text{ }\mu\text{m}$ و ضخامت‌سنج‌های عقربه‌ای از نوع الکتریکی قادر به اندازه‌گیری با صحت $1\text{ }\mu\text{m}$ یا بهتر می‌باشند. ضخامت‌سنج‌ها باید توسط وسیله‌ای برای بلند کردن نوک اندازه‌گیری، تثبیت شده باشند. شکل نوک قسمت اندازه‌گیری باید بر اساس سختی ماده پوشش دهنده که ضخامت آن اندازه‌گیری می‌شود، انتخاب شود (کروی برای مواد سخت و مسطح برای مواد نرم).

1- Ratchet

2- Hand-held

روش ۱: تثبیت شده به یک پایه

ضخامت‌سنج عقربه‌ای به روشی که در شکل ۶ نشان داده شده است، به یک پایه محکم می‌شود. اگر نوک سوزنی شکل مورد استفاده قرار گیرد، سطح مورد اندازه‌گیری باید موازی با نوک پایه زیرین باشد.



۱- دهانه یا شکاف اندازه‌گیری

شکل ۷- ضخامت‌سنج ورقه نازک

شکل ۶- ضخامت‌سنج عقربه‌ای تثبیت شده به یک پایه

روش ۲: تثبیت شده با دست

ضخامت‌سنج عقربه‌ای با گیره دستی محکم شده است. وسیله‌ای برای بالا بردن پیستون، باید به نحوی قرار گیرد، که ضخامت‌سنج با یک دست قابل کارکردن باشد. نوک قابل تعویض سندان، باید مقابل نوک اندازه‌گیر قابل حرکت قرار گیرد. شکل نوک اندازه‌گیر باید بر اساس سختی ماده پوشش دهنده که ضخامت آن اندازه‌گیری می‌شود، انتخاب شود (کروی برای مواد سخت و مسطح برای مواد نرم).

اگر نوک اندازه‌گیر و سندان هر دو به شکل صفحه باشند (مانند ضخامت‌سنج ورق نازک که در شکل ۷ نشان داده شده است) سطح اندازه‌گیر باید موازی با هر یک از آن‌ها باشد.

۲-۴-۲-۵ روش آزمون

نمونه آزمون را به روش مشخص شده در بند ۳-۲-۵ برای "جداکردن پوشش" و "اعمال پوشش" آماده کنید (به بند ۱-۲-۵ مراجعه کنید).

همه دستگاهها را طوری مورد استفاده قرار دهید که طرف پوشش داده شده نمونه آزمون یا طرف مورد نظر برای پوشش‌دهی مقابل سوزن (ریزسنج، به بند ۱-۴-۲-۵-۱ مراجعه شود) در "جداکردن پوشش" و عنصر تماس (ضخامت‌سنج عقربه‌ای، به بند ۲-۴-۲-۵-۱ مراجعه شود) در "اعمال پوشش" قرار گیرد.

به هنگام استفاده از یک دستگاه محکم شده به یک پایه (به روش ۱ در بند ۲-۴-۱-۵ و بند ۲-۴-۲-۵ مراجعه شود) نمونه آزمون را روی پایه زیرین قرار دهید.

به هنگامی که از روش نگهداری با دست استفاده می‌کنید (به روش ۲ در بند ۲-۴-۱-۵ و بند ۲-۴-۲-۵ مراجعه شود) نمونه آزمون را در مقابل نوک اندازه‌گیر تثبیت شده نگهدارید.

یادآوری- گیره دستگاه‌های مشخص شده در روش ۲ بندهای ۲-۴-۱-۵ و ۲-۴-۲-۵ می‌تواند جهت کاربرد آسانتر، با یک پایه محکم شود.

روش را برای اندازه‌گیری دوم پس از جداکردن فیلم (جدا کردن پوشش) یا اعمال فیلم (اعمال پوشش) تکرار کنید.

هر اندازه‌گیری را به شکل زیر انجام دهید:

به هنگام استفاده از ریزسنگ به روش تعریف شده در بند ۲-۴-۱-۵، سوزن در برابر سطح مورد آزمون حرکت داده می‌شود تا زمانی که ضامن فعال شود؛

به هنگام استفاده از ضخامت‌سنج عقبه‌ای به روش تعریف شده در بند ۲-۴-۲-۵، سطح بهداشت با نوک عنصر تماس بارگذاری شده با فنر، تماس داده می‌شود.

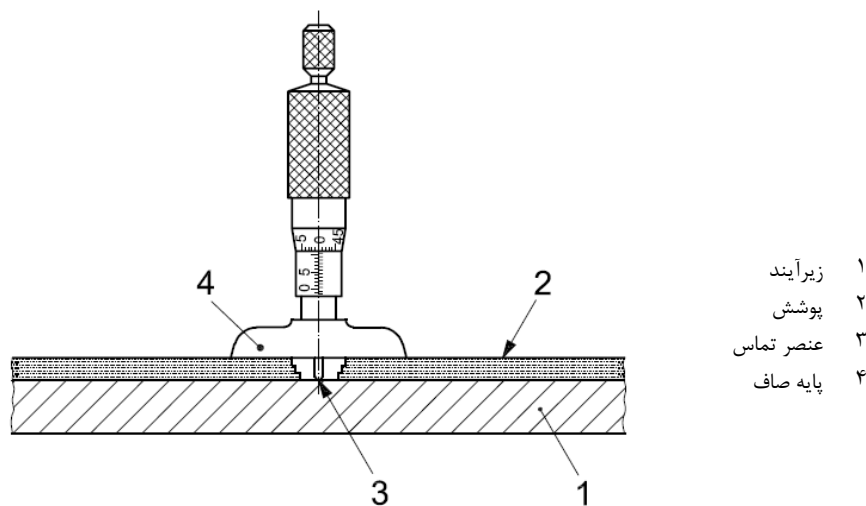
ضخامت فیلم، اختلاف بین قرائت حاصل از ضخامت کل و مقدار به دست آمده از ضخامت زیرآیند است.

۵-۲-۵ روش ۴ب- ضخامت‌سنجی عمقی

۵-۲-۵-۱ دستگاه و استانداردهای مرجع

۵-۲-۵-۱-۱ روش ۱- ضخامت‌سنج عمقی ریزسنگ (به شکل ۸ مراجعه شود)

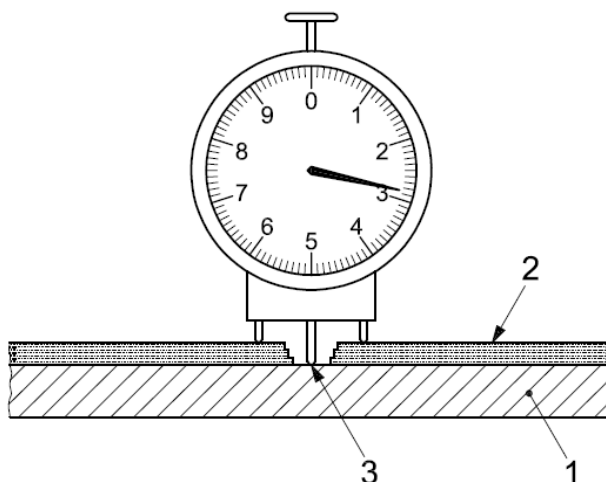
این نوع ریزسنگ‌ها قادر به اندازه‌گیری با تقریب $5\text{ }\mu\text{m}$ یا بهتر هستند. ریزسنگ باید با یک ضامن جهت محدود کردن نیروی اعمال شده بر عنصر تماس روی زیرآیند، محکم شود. ریزسنگ پایه صافی دارد که روی سطح پوشش قرار می‌گیرد و به عنوان یک سطح مرجع عمل می‌کند.



شکل ۸- ضخامت‌سنج عمقی ریزسنگ

۵-۲-۱-۲-۵ روش ۲- ضخامت سنج عمقی عقربه‌ای (به شکل ۹ مراجعه شود)

ضخامت سنج‌های عقربه‌ای از نوع مکانیکی، مطابق با الزامات ISO 463 قادر به اندازه‌گیری با صحت $5\text{ }\mu\text{m}$ و ضخامت سنج‌های عقربه‌ای از نوع الکتریکی قادر به اندازه‌گیری با صحت $1\text{ }\mu\text{m}$ یا بهتر می‌باشند. ضخامت-سنج می‌تواند یک سطح صاف داشته باشد که روی سطح پوشش قرار می‌گیرد و به عنوان سطح مرجع عمل می‌کند.



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ عنصر تماس

شکل ۹- ضخامت سنج عمقی عقربه‌ای

۵-۲-۱-۳-۵ استاندارد مرجع برای صفر کردن ضخامت سنج

یک صفحه مرجع صاف برای صفر کردن ضخامت سنج لازم است. صفحه مرجع باید شامل یک صفحه شیشه-ای صاف باشد به طوری که رواداری صافی آن بیشتر از $1\text{ }\mu\text{m}$ نباشد.

۵-۲-۵ روش آزمون

پوشش محل اندازه‌گیری را جدا کنید. دستگاه را با کنترل کردن نقطه صفر با صفحه مرجع (بند ۵-۲-۱-۳-۵) صفر کنید و سپس:

الف- به هنگام استفاده از اندازه‌گیر عمقی ریزسنج، پا را روی سطح پوشش قرار دهید طوری که محور، بالای محل مورد نظر قرار گیرد و محور را به طرف پایین بپیچانید تا این که نوک زیرآیند را لمس کند و ضامن به کار انداخته شود.

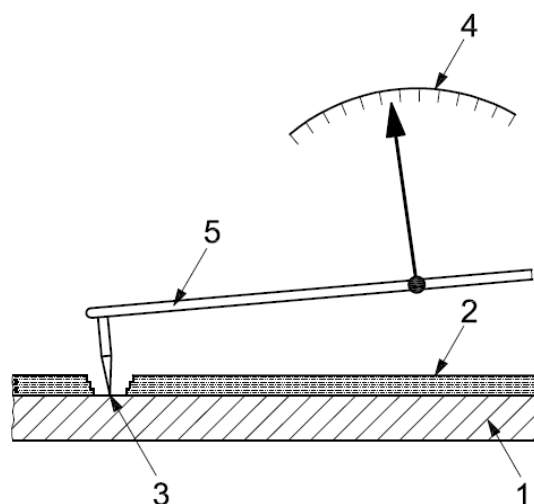
ب- با استفاده از ضخامت سنج عقربه‌ای، عنصر تماس را روی زیرآیند بدون پوشش قرار دهید و پا (نوک تماس) روی پوشش قرار دهید (اگر ضخامت سنج از نوع نوک تماس باشد، باید دقت کرد تا اطمینان حاصل شود که آنها نسبت به سطح نمونه‌های آزمون در وضع عادی هستند). ضخامت فیلم می‌تواند از روی قرائت عمق به طور مستقیم قرائت شود (در صورت لزوم، با تصحیح برای هر گونه خطای صفر).

۵-۲-۶ روش ۴-پویش^۱ تصویر سطح

۵-۲-۶-۱ توصیف دستگاه

دستگاه شامل قلم پیمایشی متصل جهت تقویت مناسب و دستگاه ثبت می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری ضخامت فیلم، از دستگاه برای ثبت مقطع، شانه تشکیل شده بین زیرآیند و پوشش را که توسط جداکردن قسمتی از پوشش به وجود آمده (به شکل ۱۰ مراجعه شود) استفاده می‌شود. زبری یا اندازه‌گیر مقطع با قلمی که به طور آزادانه حرکت می‌کند ضخامت سنجی می‌شود و در آن شعاع نوک قلم طوری انتخاب می‌شود که با زبری زیرآیند و سطح فیلم بیشترین تطابق را داشته باشد.

یادآوری- اندازه‌گیری‌ها می‌تواند نوری یا صداسنجی باشد (به عبارت دیگر بدون هیچ گونه تماسی با نمونه آزمون).



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ نوک قلم
- ۴ مقیاس
- ۵ اهرم

شکل ۱۰- پویشگر تصویر سطح

۵-۲-۶-۲ روش آزمون

نمونه آزمون را با روش مشخص شده در بند ۵-۲-۳ آماده کنید. تصویر سطح را در محل اندازه‌گیری با استفاده از یک نمایشگر و یا ثبات^۲ مناسب پویش و ثبت کنید.

عوامل زیر می‌تواند تاثیر منفی بر روی قرائت‌ها داشته باشد:

سطوح به طور نامناسب تمیز شده باشند؛

ارتعاش در سیستم ضخامت‌سنجی؛

استفاده از نوک قلم نامناسب.

1- Scanning

2- Plotter

خطوط مرجعی از میان ارتفاع متوسط ثبت شده برای سطح فیلم (خط بالایی) و از میان ارتفاع ثبت شده برای زیرآیند (خط پایینی) رسم کنید. ضخامت فیلم را به عنوان فاصله بین خطوط مرجع در نقطه میانی شانه اندازه بگیرید.

۳-۵ روش وزن سنجی

۱-۳-۵ اساس روش

ضخامت فیلم خشک، t_d ، بر حسب میکرومتر از اختلاف بین جرم نمونه آزمون بدون پوشش و نمونه آزمون پوشش داده شده با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$t_d = \frac{m - m_0}{A \times \rho_0} \quad (۲)$$

که در آن

m_0 جرم نمونه آزمون بدون پوشش بر حسب گرم؛

m جرم نمونه آزمون پوشش داده شده بر حسب گرم؛

A مساحت سطح پوشش داده شده بر حسب متر مربع؛

ρ_0 چگالی فیلم خشک ماده پوشش دهنده‌ی اعمال شده بر حسب گرم بر میلی‌لیتر است.

یادآوری- چگالی فیلم خشک ماده پوشش دهنده مطابق استاندارد ISO 3233 قابل اندازه‌گیری است.

۲-۳-۵ دامنه کاربرد

روش وزن سنجی عموماً کاربرد دارد.

۳-۳-۵ کلیات

با استفاده از روش وزن سنجی، مقدار میانگین ضخامت فیلم خشک روی تمام سطح پوشش داده شده حاصل می‌شود. با اعمال پوشش به خصوص به روش پاشش، طرف دیگر نمونه آزمون باید پوشانده شود تا از خطاهای اندازه‌گیری حاصل از پوشش جزئی طرف دیگر جلوگیری شود (پاشش زیادی).

۴-۳-۵ روش ۵- اختلاف در جرم

۱-۴-۳-۵ دستگاهها

ترازوی لازم برای وزن کردن ۵۰۰g با تقریب ۱mg

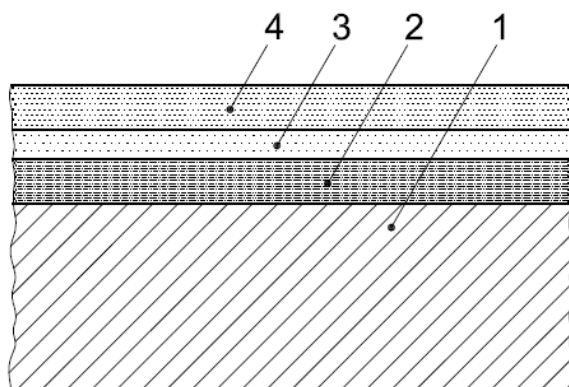
۲-۴-۳-۵ روش آزمون

نمونه آزمون بدون پوشش تمیز را وزن کنید، آن را پوشش‌دهی و دوباره وزن کنید. ضخامت لایه خشک را با استفاده از معادله ۲، محاسبه کنید.

۴-۵ روش‌های اختیاری

۱-۴-۵ اساس

در روش برش متقاطع، (به روش ۶ الف در بند ۴-۴-۵ مراجعه کنید) آزمون در طول صفحه معمولی تا پوشش اعمال شده، خرد/بریده می‌شود طوری که ضخامت فیلم با استفاده از یک میکروسکوپ به طور مستقیم اندازه‌گیری شود (به شکل ۱۱ مراجعه شود).



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش ۱
- ۳ پوشش ۲
- ۴ پوشش ۳

شکل ۱۱- سطح مقطع آزمونه

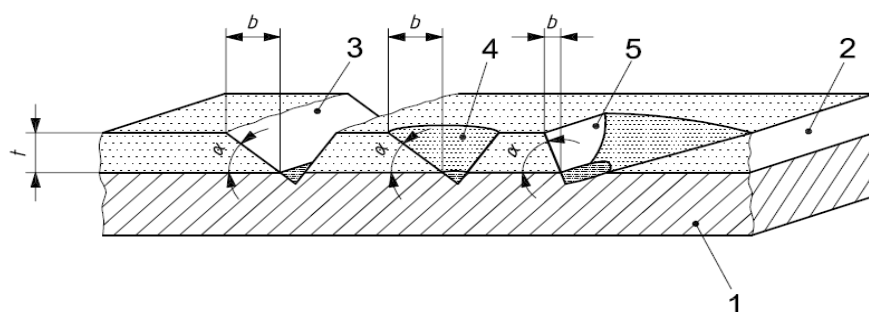
با روش برش با گوه (روش ۶ در بند ۵-۴-۵ مراجعه شود) یک برش از ابعاد تعریف شده با استفاده از یک ابزار برش در یک زاویه مشخص شده تا سطح ایجاد می‌شود (به شکل ۱۲ مراجعه شود). ضخامت فیلم، t ، با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$t = b \times \tan \alpha \quad (3)$$

که در آن:

b پهنای برش داده شده (از لبه تا زیرآیند) با استفاده از یک میکروسکوپ؛
 α زاویه برش است.

برش گوه‌ای متقارن (شکل ۱۲- شماره ۳) در پوشش با استفاده از یک تیغه مخصوص، برش مخروطی (شکل ۱۲- شماره ۴) توسط یک مته مخصوص و برش شیب‌دار (شکل ۱۲- شماره ۵) با یک ابزار فرزکاری می‌تواند ایجاد شود.



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ برش متقارن
- ۴ برش مخروطی
- ۵ برش شیب‌دار

شکل ۱۲- برش متقارن، برش مخروطی و برش شیب‌دار

۲-۴-۵ دامنه کاربرد

روش نوری اساساً برای هر نوع ترکیب فیلم- زیرآیند مناسب است. ضخامت یک لایه در پوشش‌های چند لایه به شرطی که لایه‌ها به اندازه کافی از همدیگر مجزا باشند، می‌تواند اندازه‌گیری شود. اگر برش متقاطع یا روش برش گوه‌ای مورد استفاده باشد، زیرآیند باید خواص لازم برای برش متقاطع، بریدن یا سوراخ کردن را داشته باشد. در موارد اختلاف، روش برش متقاطع (روش ۶ الف در بند ۴-۴-۵) به عنوان روش مرجع قابل قبول است.

۳-۴-۵ کلیات

نمونه‌های آزمون برای روش برش گوه باید تخت باشند (به یادآوری بند ۲-۴-۵-۵ مراجعه شود). اگر ماده پوشش، الاستیک باشد، روش متقاطع/ برش گوه بدشکل شده و اندازه‌گیری‌ها، منجر به نتایج نامعتبری خواهند شد. این اثر می‌تواند با خنک کردن نمونه‌های آزمون قبل از ایجاد برش، کم شود. به هنگام روی دادن پوشش شکننده و/ یا پوشش با پیوند ضعیف، لایه‌لایه شدگی فیلم، آن را برای اندازه‌گیری سطح مشترک صحیح بین پوشش و زیرآیند با مشکل مواجه می‌کند. بنابراین ممکن است در قرائت، خطا ایجاد شود.

۴-۴-۵ روش ۶ الف- برش متقاطع

۱-۴-۴-۵ روش ۱- سنگ‌زنی^۱

۱-۱-۴-۴-۵ دستگاه‌ها و مواد

۱-۱-۱-۴-۴-۵ دستگاه سنگ‌زنی و صیقل‌کاری

دستگاهی که برای آماده‌سازی متالوگرافی به کار می‌رود، مناسب است.

۲-۱-۱-۴-۴-۵ وسیله جاسازی^۲

از یک رزین سرد کار که تاثیر زیان‌آور روی پوشش رنگ نداشته باشد و جاسازی عاری از شکاف ارایه دهد، استفاده کنید.

۳-۱-۱-۴-۴-۵ وسیله سنگ‌زنی و صیقل‌کاری

از کاغذ سمباده ضدآب به عنوان مثال شماره ۲۸۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ یا درجه مناسبی از خمیر الماس یا خمیر مشابه استفاده کنید.

۴-۱-۱-۴-۴-۵ میکروسکوپ اندازه‌گیری

یک میکروسکوپ با سیستم روشن‌سازی مناسب که تصویری با رنگ زمینه بهینه ارایه دهد، لازم است. بزرگ‌نمایی باید طوری انتخاب شود که میدان دید تا ۱/۵ تا ۳ برابر ضخامت فیلم مطابقت داشته باشد. عدسی یا وسیله اندازه‌گیری اپتوالکترونیک^۳ باید امکان اندازه‌گیری‌هایی با صحت حداقل $1\text{ }\mu\text{m}$ را داشته باشد.

1- Grinding

2- Embedding

3- Optoelectronic

۲-۱-۴-۴-۵ روش آزمون

آزمونه یا نمونه‌ای معرف از آزمونه را در داخل رزین جاسازی کنید (بند ۲-۱-۴-۴-۵). آزمونه را با استفاده از دستگاه سنگ‌زنی و صیقل‌کاری (بند ۱-۱-۴-۴-۵) در طول صفحه در طرف پوشش داده شده صیقل دهید. این مرحله را با درجه ریزتر سمباده تکرار کنید. ضخامت لایه‌های بدون پوشش را با استفاده از میکروسکوپ اندازه بگیرید.

۲-۴-۴-۵ روش ۲- برش دادن

۱-۲-۴-۴-۵ دستگاه‌ها

۱-۱-۲-۴-۴-۵ ابزار برش

یک ریزبر^۱ دورانی^۲ یا پیمایشی^۳ با تیغه‌های کاربیدی با شکل هندسی مناسب و یک نگهدارنده برای محکم کردن آزمونه در جای خود لازم است.

۲-۲-۴-۴-۵ میکروسکوپ اندازه‌گیری

یک میکروسکوپ با سیستم روشن‌سازی مناسب که تصویری با رنگ زمینه بهینه ارائه دهد، لازم است. بزرگ‌نمایی باید طوری انتخاب شود که میدان دید ۱/۵ تا ۳ برابر ضخامت فیلم مطابقت داشته باشد. عدسی یا وسیله اندازه‌گیری اپتوالکترونیک باید امکان اندازه‌گیری‌هایی با صحت حداقل $1\text{ }\mu\text{m}$ را داشته باشد.

۳-۲-۴-۴-۵ روش آزمون

آزمونه یا نمونه‌ای گویا از آزمونه را در نگهدارنده ریزبر آزمونه محکم کنید و در طول صفحه، طرف پوشش داده شده را ببرید. ضخامت لایه‌های بدون پوشش را با استفاده از میکروسکوپ اندازه بگیرید.

۵-۴-۵ روش ۵ب- برش گوه

۱-۵-۴-۵ دستگاه‌ها

۱-۱-۵-۴-۵ کلیات

برای برش گوه‌ای یک ابزار برش و میکروسکوپ اندازه‌گیری لازم است. این دو دستگاه می‌تواند به شکل یک دستگاه نیز ترکیب شود.

۲-۱-۵-۴-۵ ابزار برش (انبردست)

وسیله‌ای خاص با یک ابزار برش قابل تعویض برای ایجاد دقیق برش با زاویه‌های مشخص شده لازم است.

ابزار برش (تیغه برنده، مته مخصوص رنگ یا ابزار فرزکاری) باید:

از جنس کاربید باشد؛

دارای تکیه گاه برش دقیق باشد؛

برای اطمینان از صحت برش گوه، شکل هندسی مناسب داشته باشد.

زاویه‌های برش استاندارد در محدوده $\alpha = 5/7^\circ$ تا $\alpha = 45^\circ$ ($\alpha \tan = 0/1$) تا $\alpha \tan = 1$) می‌باشد.

1-Microtome

2- Rotary

3-Traversing

۵-۴-۱-۳ میکروسکوپ اندازه‌گیری

یک میکروسکوپ با بزرگنمایی $\times 50$ و منبع نور لازم است. عدسی باید امکان اندازه‌گیری با دقت $20\text{ }\mu\text{m}$ را داشته باشد.

۵-۴-۲ روش آزمون

آزمونه‌ها را با وسایلی مانند مداد نوک نمدی^۱ در محل اندازه‌گیری با رنگ قابل تشخیص علامت‌گذاری کنید. در محل علامت‌گذاری شده، یک برش یا سوراخ ایجاد کنید. برش یا سوراخ باید تا زیرآیند نفوذ کند. با استفاده از علامت در محل برش یا سوراخ، با میکروسکوپ پهنای قابل پیش‌بینی، b، را اندازه بگیرید و ضخامت فیلم را با استفاده از معادله ۳ محاسبه کنید (به بند ۵-۴-۱ مراجعه شود).

یادآوری - معادله ۳ نمی‌تواند برای سطوح خمیده مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود یک فرمول محاسبه اصلاح شده می‌تواند برای سوراخ‌های مخروطی سطوح خمیده مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۵ روش‌های مغناطیسی

۵-۵-۱ کلیات

ضروری است که بیشتر ضخامت‌سنج‌های فیلم خشک نوع مغناطیسی، قبل از قرائت کنترل شوند. بررسی در محدوده‌های ضخامت‌های پیش‌بینی شده پوشش، باید مطابق دستورالعمل سازنده انجام گیرد.

۵-۵-۲ اصول

ضخامت فیلم از برهم‌کنش یک میدان مغناطیسی و زیرآیند فلزی اندازه‌گیری می‌شود. ضخامت فیلم از روی نیروی لازم برای حرکت یک آهن‌ربا از روی پوشش (به روش ۷ الف در بند ۵-۵-۵ مراجعه شود) یا از روی تغییرات میدان مغناطیسی (به روش ۷ ب، ۷ پ و ۷ ت بندهای ۵-۵-۶، ۵-۵-۷ و ۵-۵-۸ مراجعه شود) اندازه‌گیری می‌شود.

۵-۵-۳ دامنه کاربرد

روش‌های مغناطیسی برای پوشش بر روی زیرآیندهای فلزی مناسب هستند. برای روش‌های ۷ الف، ۷ ب و ۷ پ، زیرآیند باید فرومغناطیس باشد و برای روش ۷ ت غیرفرومغناطیس باشد. خواص پوشش باید به گونه‌ای باشد که به هنگامی که دستگاه سطح پوشش را لمس می‌کند، قرائت بی‌اعتباری ارائه ندهد.

۵-۵-۴ کلیات

میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط دستگاه می‌تواند توسط فاکتورهای زیر تحت تاثیر قرار گیرد:

شکل هندسی زیرآیند (ابعاد، خمیدگی و ضخامت)؛

خواص ماده زیرآیند (مانند نفوذپذیری مغناطیسی، هدایت و خواص ناشی از پیش عملیات)؛

زبری زیرآیند؛

سایر میدان‌های مغناطیسی (خاصیت مغناطیسی باقی‌مانده زیرآیند و میدان‌های مغناطیسی خارجی).

۵-۵-۵ روش ۷ الف - ضخامت‌سنج کشش مغناطیسی^۲

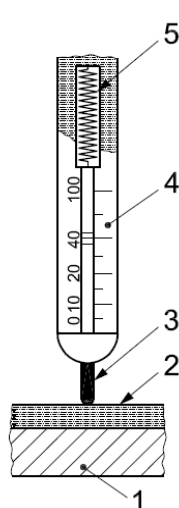
۵-۵-۵-۱ توصیف دستگاه

1-Felt-tip pen

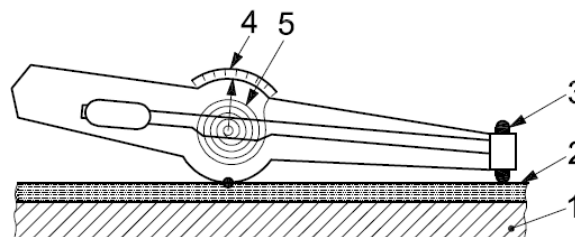
2- Magnetic pull-off

این دستگاه، شامل یک آهنربا برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم از طریق نیروی جاذبه بین آهنربا و زیرآیند است (به شکل‌های ۱۳-الف و ۱۳-ب مراجعه شود).

یادآوری- دستگاه نشان داده شده در شکل ۱۳-الف در هر موقعیتی می‌تواند به کار رود. دستگاه نشان داده شده در شکل ۱۳-ب به دلیل تاثیر وزن، فقط برای استفاده در یک جهت طراحی شده است.



ب- روش ۲



الف- روش ۱

- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ آهنربا
- ۴ مقیاس
- ۵ فنر

شکل ۱۳- ضخامت سنج کشش مغناطیسی

۵-۵-۲ روش آزمون

دستگاه را همراه با آهنربا در مقابل پوشش قرار دهید. آهنربا را در جهت عمود بر سطح پوشش از روی پوشش بردارید. ضخامت فیلم از روی نیروی لازم برای برداشتن آهنربا از روی نمونه آزمون حاصل می‌شود.

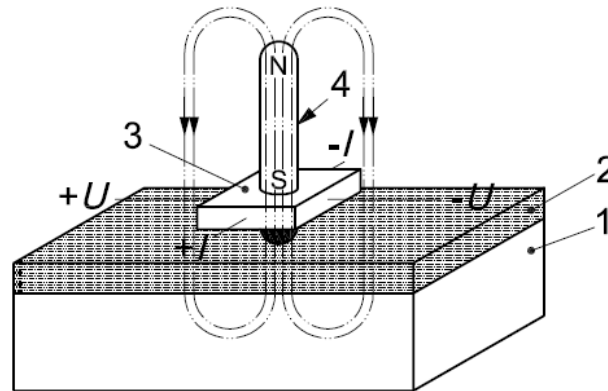
۵-۵-۶ روش ۷ ب ضخامت‌سنج شار مغناطیسی^۱

۵-۵-۶-۱ توصیف دستگاه

این دستگاه، شامل یک آهنربا برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم، از روی تغییر در میدان مغناطیسی آهنربا که توسط زیرآیند ایجاد می‌شود، است. میدان مغناطیسی با یک میله هال^۲ اندازه‌گیری می‌شود.

1- Magnetic-Flux

2-Hall



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ عنصر هال
- ۴ آهن ربا
- U ولتاژ هال
- I جریان کنترل

شکل ۱۴- میله هال

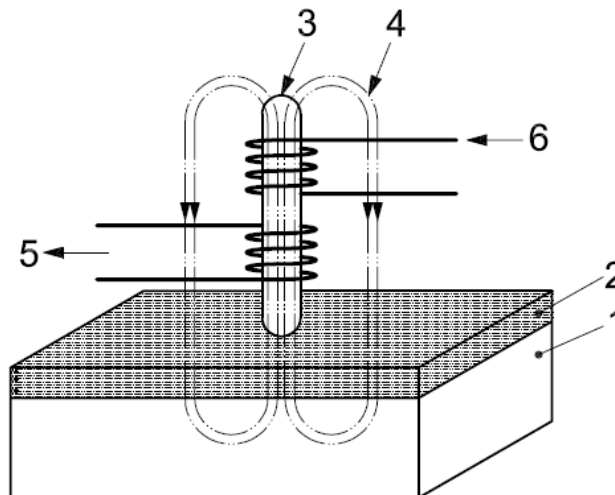
۵-۶-۲ روش آزمون

دستگاه را روی پوشش بگذارید طوری که بر پوشش عمود باشد. ضخامت را به طور مستقیم از روی عقربه بخوانید یا مطابق دستورالعمل سازنده محاسبه کنید.

۵-۵-۷ روش ۷پ- ضخامت سنج القای مغناطیسی^۱

۵-۵-۷-۱ توصیف دستگاه

این دستگاه، شامل یک آهنربای مغناطیسی است که در آن ضخامت فیلم، از روی تغییرات ایجاد شده در میدان مغناطیسی، به هنگامی که به زیرآیند فرومغناطیس نزدیک می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود (به شکل ۱۵ مراجعه شود). میدان الکترومغناطیسی متناوب با فرکانس پایین (مانند ۶۰ Hz تا ۴۰۰ Hz) توسط یک آهنربای مغناطیسی ایجاد می‌شود.



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ هسته فرومغناطیس
- ۴ میدان مغناطیسی متناوب
- ۵ اندازه‌گیری علامت
- ۶ جریان

شکل ۱۵- اصول ضخامت سنج القای مغناطیسی

۵-۵-۷-۲ روش آزمون

دستگاه را بر روی پوشش قرار دهید، طوری که به طور عمود بر روی پوشش قرار گیرد. ضخامت فیلم را از روی تغییرات در شار مغناطیسی محاسبه کنید.

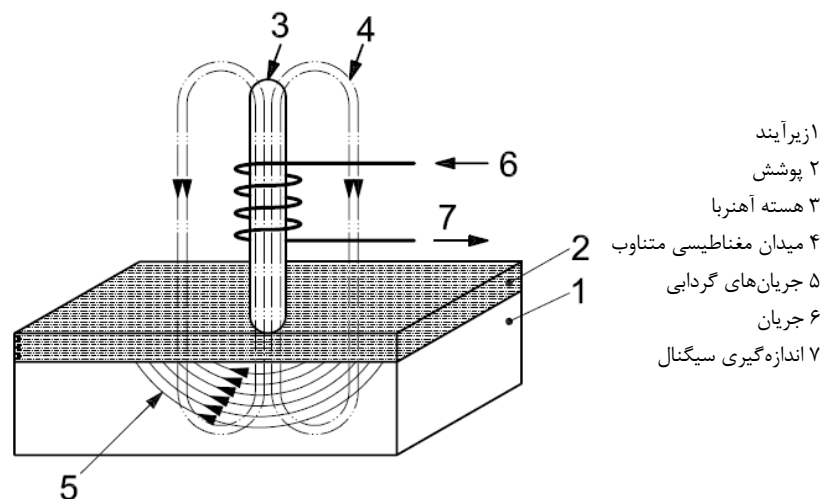
۵-۵-۸ روش ۷- ضخامت سنج جریان گردابی^۱

۵-۸-۱ توصیف دستگاه

این دستگاه، شامل یک آهنربای مغناطیسی برای اندازه گیری ضخامت فیلم، از روی تغییرات ایجاد شده در میدان مغناطیسی ناشی از جریان های گردابی در زیرآیندهایی که دارای هدایت الکتریکی هستند، می باشد (به شکل ۱۶ مراجعه شود). میدان الکترومغناطیسی متناوب با فرکانس بالا (مانند ۰/۱ MHz تا ۳۰ MHz) توسط یک آهنربای مغناطیسی ایجاد می شود.

۵-۸-۲ روش آزمون

دستگاه را بر روی پوشش قرار دهید، طوری که عمود بر پوشش قرار گیرد.



شکل ۱۶- اساس روش ضخامت سنج جریان گردابی

۵-۶ روش رادیولوژیکی

۵-۶-۱ اساس روش

ضخامت فیلم از برهم کنش بین تابش یونیزه کننده و پوشش، اندازه گیری می شود. یک رادیو ایزوتوپ به عنوان منبع تابش مورد استفاده قرار می گیرد.

۵-۶-۲ دامنه کاربرد

اساس روش رادیولوژیکی برای هر نوع ترکیب فیلم-زیرآیند مناسب است، مشروط بر این که اختلاف بین عدد اتمی ماده پوشش دهنده و زیرآیند حداقل ۵ باشد (به استاندارد ISO 3543 مراجعه شود).

۵-۶-۳ کلیات

اندازه‌گیری ضخامت فیلم تحت تاثیر عوامل زیر قرار می‌گیرد:

شکل هندسی زیرآیند (ابعاد، انحناء)؛

ناخالصی‌های سطح پوشش؛

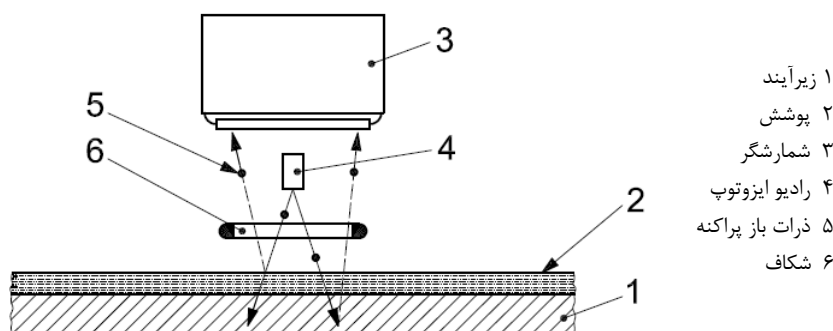
اختلاف در چگالی پوشش.

۵-۶-۴ روش ۸- روش بازپراکنش بتا^۱

۵-۶-۴-۱ توصیف دستگاه

دستگاه بازپراکنش بتا (به شکل ۱۷ مراجعه شود) شامل موارد زیر است:

یک منبع تابش (رادیوایزوتوپ) که ذرات بتا با انرژی لازم برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم، نشر می‌کند؛
یک میله یا سیستم اندازه‌گیری با محدوده شکاف و شامل یک آشکارساز بتا برای شمارش تعداد ذرات پراکنش برگشتی بتا (شمارشگر گیگر)^۲؛
یک سیستم پردازش داده‌ها و نمایشگر.



شکل ۱۷- روش بازپراکنش بتا

۵-۶-۴-۲ بررسی

دستگاه را با نمونه‌های استاندارد دارای ترکیب پوشش و زیرآیند مشابه با آزمون، بررسی و در صورت لزوم تنظیم کنید.

۵-۶-۴-۳ روش آزمون

دستگاه را مطابق دستورات سازنده به کار گیرید.

۵-۷ روش نور حرارت

۵-۷-۱ اساس روش

ضخامت فیلم از اختلاف زمانی که یک موج حرارتی بر روی پوشش تابیده می‌شود و زمانی که موج نشر شده (حرارت یا فراصوتی) آشکار می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود (به شکل ۱۸ مراجعه شود).

1 - Beta backscatter

2 - Geiger

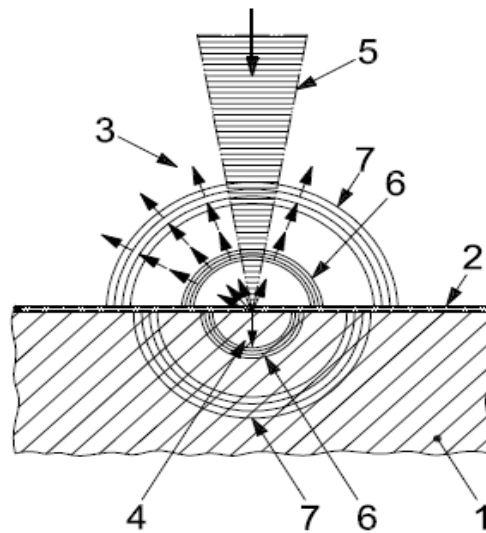
صرفنظر از نوع برانگیختگی یا روش آشکارسازی، کلیه روش‌های نور-حرارتی اساس یکسانی دارند: دادن انرژی حرارتی به شکل متناوب یا پالسی به آزمون و سپس تعیین افزایش دمای موضعی. اختلاف دمایی اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر حاصل شده توسط دستگاه برای فیلم‌های با ضخامت معلوم تحت شرایط تثبیت شده (انرژی برانگیختگی، طول پالس، فرکانس برانگیختگی و...) مقایسه می‌شود (به بند ۵-۴-۲ مراجعه شود).

۵-۷-۲ دامنه کاربرد

اساساً روش نور-حرارتی برای تمام ترکیب‌های فیلم-زیرآیند مناسب است. این روش برای اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های منفرد در یک پوشش چندلایه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، به شرطی که خواص انعکاسی و هدایت حرارتی لایه‌ها به قدر کافی از یکدیگر متمایز باشند. کمینه ضخامت لازم زیرآیند، تابع سیستم اندازه‌گیری مورد استفاده و ترکیب فیلم-زیرآیند می‌باشد (به بند ۵-۴-۱-۱ مراجعه شود).

۵-۷-۳ کلیات

طبقه‌بندی روش به عنوان یک روش مخرب یا غیرمخرب بستگی به هدف پوشش‌دهی دارد. انرژی حرارتی جذب شده توسط پوشش می‌تواند بر روی پوشش دارای حرارت موضعی ایجاد شده، تاثیر گذارد.



- ۱ زیرآیند
- ۲ پوشش
- ۳ تابش حرارتی نشر شده
- ۴ جذب تابش توسط پوشش، به ضخامت و جنس پوشش بستگی دارد
- ۵ تابش حرارتی
- ۶ امواج حرارتی
- ۷ امواج صوتی

شکل ۱۸- برهم‌کنش تابش با آزمون در اندازه‌گیری ضخامت به روش نور-حرارت

۵-۷-۴ روش ۹- اندازه‌گیری با استفاده از خواص حرارتی

۵-۷-۴-۱ دستگاه و استانداردهای مرجع

۵-۷-۴-۱-۱ سیستم اندازه‌گیری

روش‌های مختلفی برای تولید امواج حرارتی در یک ماده پوشش دهنده و نیز آشکارسازی اثرات حرارتی در موضع حرارت داده شده در آزمون وجود دارد (به استاندارد EN 15042-2 مراجعه شود). منابع تابش حرارتی مانند منابع لیزری، دیودهای نشر کننده نور، منابع نوری ملتهب به طور عمده به عنوان سیستم تحریک کننده برای پوشش‌های رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روش‌های آشکارسازی زیر مورد استفاده می‌باشند:

آشکارسازی تابش حرارتی نشر شده (پرتوسنجی نور-حرارتی)؛

آشکارسازی تغییر ضریب شکست (در هوای گرم شده بالای محل اندازه‌گیری)؛

آشکارسازی پیروالکترونیک (اندازه‌گیری جریان گرم).

۵-۷-۴-۲ استانداردهای مرجع

آزمونه‌های مرجع با خواص جذبی متفاوت و نیز گستره‌ای از ضخامت فیلم به منظور بررسی، مورد نیاز می‌باشد (به استاندارد EN 15042-2 مراجعه شود).

۵-۷-۴-۲ بررسی

سیستم اندازه‌گیری را با آزمونه‌های مرجع (به بند ۵-۷-۴-۲-۱ مراجعه شود) برای هر ترکیب فیلم-زیرآیند (به خصوص برای ماده پوشش دهنده) بررسی، و در صورت لزوم تنظیم کنید.

۵-۷-۴-۳ روش آزمون

دستگاه را مطابق دستورات سازنده به کار گیرید. ضخامت را مستقیماً از روی نشانگر قرائت کنید، یا مطابق دستورالعمل سازنده محاسبه کنید.

۵-۸ روش صوتی

۵-۸-۱ اساس روش

در روش صوتی، ضخامت فیلم بر اساس زمان انتشار پالس صوتی در میان پوشش اندازه‌گیری می‌شود.

۵-۸-۲ دامنه کاربرد

اساس روش صوتی برای هر نوع ترکیب فیلم-زیرآیند مناسب است.

سرعت صوت باید در تک‌تک پوشش‌ها یکنواخت باشد و نیز به طور محسوسی در پوشش مجاور و زیرآیند تفاوت داشته باشد.

یادآوری- غیریکنواختی در پوشش (به عنوان مثال: حضور پولک‌های آلومینیوم) و در زیرآیند (به عنوان مثال: تراشه در چوب) بر روی نتایج تاثیر دارد.

۳-۸-۵ کلیات

میدان صوتی می‌تواند از شکل هندسی زیرآیند (ابعاد، خمیدگی و زبری) تاثیر پذیرد.

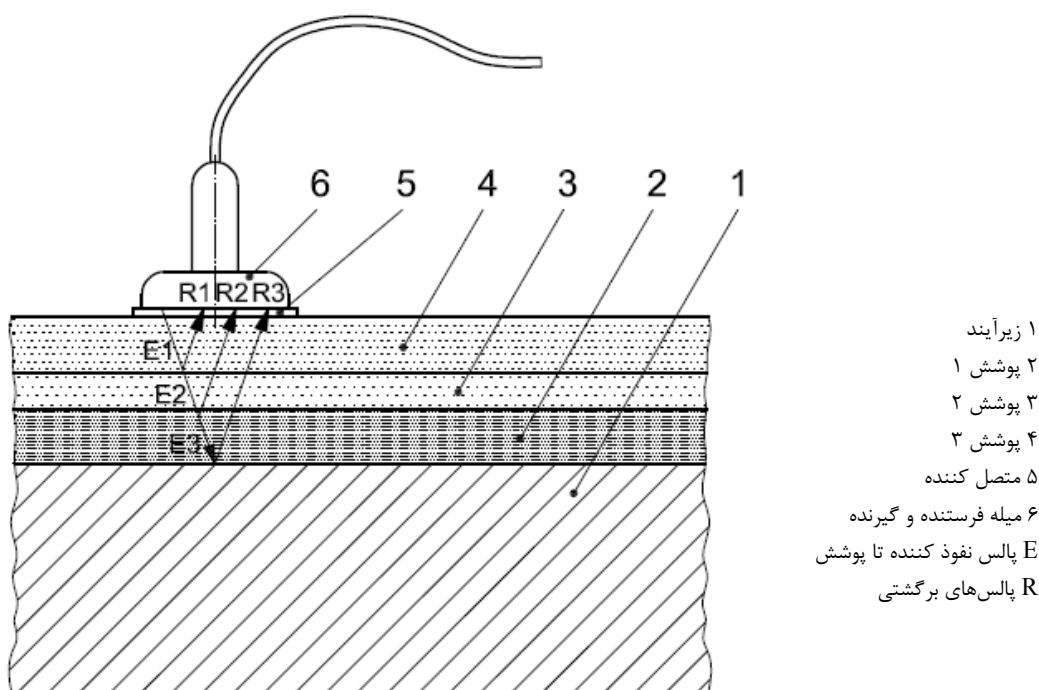
۴-۸-۵ روش ۱۰- ضخامت‌سنج فراصوتی

۱-۴-۸-۵ توصیف دستگاه

این دستگاه دارای یک فرستنده صوتی و یک دریافت کننده صوتی برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم از زمان انتشار صوت دارد (به شکل ۱۹ مراجعه شود).

۲-۴-۸-۵ روش آزمون

برای پوششی که اندازه‌گیری ضخامت آن مد نظر می‌باشد یک متصل کننده^۱ به کار برید. دستگاه را از طرف مسطح میله‌ای آن بر روی پوشش قرار دهید. دستگاه را به کار برید و نتایج را مطابق دستورالعمل سازنده تعیین کنید.



شکل ۱۹- ضخامت سنج فراصوتی

۶ اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های پودری پخت نشده

۱-۶ کلیات

پیوست الف، مروری بر روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های پودری پخت نشده، دارد.

۲-۶ روش وزن سنجی

۱-۲-۶ اساس روش

ضخامت لایه پودری پخت نشده، t_p ، بر حسب میکرومتر از اختلاف بین جرم آزمون پخت نشده و آزمون پوشش داده شده با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$t_p = \frac{m - m_0}{A \times \rho_p} \quad (۴)$$

که در آن

m_0 جرم آزمون بدون پوشش بر حسب گرم؛

m جرم آزمون پوشش داده شده بر حسب گرم؛

A مساحت سطح پوشش داده شده بر حسب متر مربع؛

ρ_p چگالی ماده پوشش دهنده پودری پخت نشده اعمال شده، بر حسب گرم بر میلی‌لیتر است.

یادآوری- چگالی ماده پوشش دهنده پودری مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۱۴ : سال ۱۳۷۷ و ISO 8130-3 قابل اندازه‌گیری است.

۲-۲-۶ دامنه کاربرد

روش وزن سنجی عموماً کاربرد دارد.

۳-۲-۶ کلیات

با استفاده از روش وزن سنجی، مقدار میانگین ضخامت فیلم بر روی تمام سطح پوشش داده شده به دست می‌آید. به هنگام پاشش پودر، طرف دیگر آزمون باید پوشانده شود، تا از خطاهای اندازه‌گیری حاصل از پوشش جزئی طرف دیگر جلوگیری شود (پاشش بیش از حد).

۴-۲-۶ روش ۱۱- اختلاف در جرم

۱-۴-۲-۶ دستگاه

ترازوی لازم برای وزن کردن ۵۰۰g با تقریب ۱mg.

۲-۴-۲-۶ روش آزمون

آزمون بدون پوشش تمیز را وزن کنید. ضخامت فیلم را با استفاده از معادله ۴ محاسبه کنید.

دومین توزین باید بلافاصله پس از پاشش پودر انجام گیرد.

۳-۶ روش‌های مغناطیسی

۱-۳-۶ اساس روش

ضخامت فیلم از برهم‌کنش میدان مغناطیسی و زیرآیندهای فلزی اندازه‌گیری می‌شود. ضخامت فیلم از تغییر میدان مغناطیسی حاصل می‌شود.

۶-۳-۲ دامنه کاربرد

روش‌های مغناطیسی برای زیرآیندهای فلزی پوشش داده شده مناسب هستند. در روش ۱۲ الف، زیرآیند باید فرومغناطیس و در روش ۱۲ ب، باید غیر فرومغناطیس باشد.

۶-۳-۳ کلیات

میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط دستگاه تحت تاثیر عوامل زیر قرار می‌گیرد:

شکل هندسی زیرآیند (ابعاد، ضخامت)؛

خواص ماده زیرآیند (نفوذپذیری مغناطیسی، هدایت و خواص ناشی از پیش آماده سازی)؛

سایر میدان‌های مغناطیسی (مغناطیس باقی‌مانده در زیرآیند و میدان‌های مغناطیسی خارجی).

فقط اندازه‌گیری‌های روی سطوح مسطح، مجاز هستند.

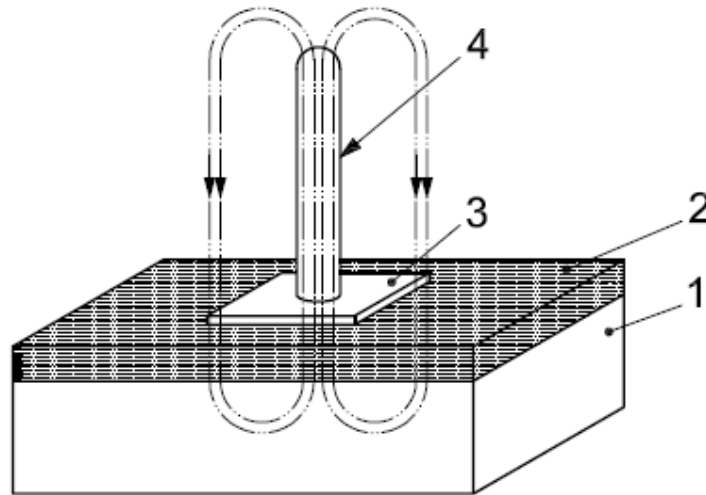
۶-۳-۴ روش ۱۲ الف - ضخامت‌سنج القای مغناطیسی

۶-۴-۱ توصیف دستگاه

این دستگاه، شامل یک آهنربای مغناطیسی برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم، از روی تغییرات ایجاد شده در میدان مغناطیسی، به هنگامی که به زیرآیند فرومغناطیس نزدیک می‌شود، است (به شکل ۲۰ مراجعه شود).

میدان الکترومغناطیسی متناوب با فرکانس پایین (مانند ۶۰ Hz تا ۴۰۰ Hz) توسط یک آهنربای مغناطیسی ایجاد می‌شود (به استاندارد ملی ایران به شماره ۶۸۲۷ سال: ۱۳۸۱ مراجعه شود).

تاثیر میله بر روی ضخامت لایه پودری پخت نشده به هنگام تثبیت موقعیت میله باید در کمترین حد نگهداشته شود.



۱ زیرآیند

۲ پوشش

۳ صفحه پایه

۴ آهنربا یا میله جریان گردابی

شکل ۲۰- میله ضخامت سنج القای مغناطیسی برای اندازه‌گیری ضخامت پوشش پودری

۶-۳-۲ روش آزمون

دستگاه را روی پوشش بگذارید طوری که بر پوشش عمود باشد. ضخامت را به طور مستقیم از روی نشانگر بخوانید یا مطابق دستورالعمل سازنده محاسبه کنید.

۶-۳-۵ روش ۱۲ ب- ضخامت سنج جریان های گردابی

۶-۳-۵-۱ توصیف دستگاه

این دستگاه، شامل یک آهنربای مغناطیسی برای اندازه گیری ضخامت فیلم، از روی تغییرات ایجاد شده در میدان مغناطیسی ناشی از جریان های گردابی در زیرآیندهایی که دارای هدایت الکتریکی هستند، می باشد (به شکل ۱۶ مراجعه شود). میدان الکترومغناطیسی متناوب با فرکانس بالا (مانند ۰/۱ MHz تا ۳۰ MHz) توسط یک آهنربای مغناطیسی ایجاد می شود (به استاندارد ملی ایران به شماره ۶۸۲۸: سال ۱۳۸۱ مراجعه شود).

تأثیر میله بر روی ضخامت لایه پودری پخت نشده، به هنگام تثبیت موقعیت میله باید در کمترین حد نگهداشته شود.

۶-۳-۵-۲ روش آزمون

دستگاه را روی پوشش بگذارید طوری که بر پوشش عمود باشد. ضخامت را به طور مستقیم از روی نشانگر بخوانید، یا مطابق دستورالعمل سازنده محاسبه کنید.

۶-۴ روش نور- حرارت

۶-۴-۱ اساس روش

ضخامت فیلم از اختلاف زمانی که یک موج حرارتی بر روی پوشش تابیده می شود و زمانی که موج نشر شده (حرارت یا فراصوتی) آشکار می شود، اندازه گیری می شود (به شکل ۱۸ مراجعه شود). صرف نظر از نوع برانگیختگی یا روش آشکارسازی، کلیه روش های نور-حرارتی اساس یکسانی دارند: دادن انرژی حرارتی به شکل متناوب یا پالسی به آزمون و سپس تعیین افزایش دمای موضعی. اختلاف دمایی اندازه گیری شده در مقابل مقادیر حاصل شده توسط دستگاه برای فیلم های با ضخامت معلوم تحت شرایط تثبیت شده (انرژی برانگیختگی، طول پالس، فرکانس برانگیختگی و...) مقایسه می شود (به بند ۶-۴-۴-۲ مراجعه شود).

۶-۴-۲ دامنه کاربرد

اساساً روش نور-حرارت برای تمام ترکیب های فیلم-زیرآیند مناسب است. این روش برای اندازه گیری ضخامت لایه های منفرد در یک پوشش چندلایه نیز مورد استفاده قرار می گیرد، به شرطی که خواص انعکاسی و هدایت حرارتی لایه ها به قدر کافی از یکدیگر متمایز باشند. کمینه ضخامت لازم زیرآیند، تابع سیستم اندازه گیری مورد استفاده و ترکیب فیلم-زیرآیند می باشد (به بند ۶-۴-۴-۱-۱ مراجعه شود).

۳-۴-۶ کلیات

طبقه‌بندی روش به عنوان یک روش مخرب یا غیرمخرب بستگی به هدف پوشش‌دهی دارد. انرژی حرارتی جذب شده توسط پوشش می‌تواند به پوشش دارای اثر موضعی حرارت ایجاد شده، تاثیر گذارد.

۴-۴-۶ روش ۱۳- اندازه‌گیری با استفاده از خواص حرارتی

۱-۴-۴-۶ دستگاه‌ها و استانداردهای مرجع

۱-۱-۴-۴-۶ سیستم اندازه‌گیری

روش‌های مختلفی برای تولید امواج حرارتی در یک ماده پوشش دهنده و نیز آشکارسازی اثرات حرارتی در موضع حرارت داده شده در آزمون وجود دارد (به استاندارد EN 15042-2 مراجعه شود). منابع تابش حرارتی مانند منابع لیزری، دیودهای نشر کننده نور، منابع نوری ملتهب به طور عمده به عنوان سیستم تحریک کننده برای پوشش‌های رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های آشکارسازی زیر مورد استفاده می‌باشند:

آشکارسازی تابش حرارتی نشر شده (پرتوسنجی نور-حرارتی)؛

آشکارسازی تغییر ضریب شکست (در هوای گرم شده بالای محل اندازه‌گیری)؛

آشکارسازی پیروالکتریک (اندازه‌گیری جریان گرم).

۲-۱-۴-۴-۶ استانداردهای مرجع

آزمونه‌های مرجع با خواص جذبی متفاوت و نیز گستره‌ای از ضخامت فیلم به منظور بررسی، مورد نیاز می‌باشد (به استاندارد EN 15042-2 مراجعه شود).

۲-۴-۴-۶ بررسی

سیستم اندازه‌گیری را با آزمونه‌های مرجع (به بند ۲-۱-۴-۴-۶ مراجعه شود) برای هر ترکیب فیلم-زیرآیند (به خصوص برای ماده پوشش دهنده) بررسی، و در صورت لزوم تنظیم کنید.

۳-۴-۴-۶ روش آزمون

دستگاه را مطابق دستورات سازنده به کار گیرید. ضخامت را مستقیماً از روی نشانگر قرائت کنید، یا مطابق دستورالعمل سازنده محاسبه کنید.

۷ اندازه‌گیری ضخامت فیلم روی سطوح زبر

۱-۷ کلیات

زبری سطح یک زیرآیند، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های ضخامت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین برای زیرآیندهای فولادی تمیز کاری شده با پاشش^۱، ملاحظات ویژه‌ای به کار برید. اگر پوشش، بر روی زیرآیند فولادی تمیز کاری شده با پاشش اعمال شود، اندازه‌گیری‌های ضخامت آن، پیچیده‌تر از سطوح صاف است. نتایج، تحت تاثیر طراحی تجهیزات اندازه‌گیری و خواص زیرآیندی قرار می‌گیرند که از نقطه‌ای به نقطه دیگر

1- Blust-cleaned

فرق می‌کنند. روش مورد استفاده برای تنظیم دستگاه برای زیرآیندهای تمیزکاری شده با پاشش، در عمل منجر به تغییر قابل توجهی در قرائت‌های ضخامت فیلم خشک می‌شود.

به علاوه، اختلاف نتایج با نوع دستگاه مورد استفاده، صفر کردن دستگاه روی سطح تمیز شده با پاشش هوا مشکلاتی نظیر موارد زیر دارد:

تکرارپذیری ضعیف؛

تغییرپذیری در ضخامت اندازه‌گیری شده لایه قرار گرفته در این سطح (لایه ضخیم‌تر، ظاهر بزرگ‌تر، افزایش در ضخامت لایه)

عدم قطعیت، هنگامی که زبری سطح زیرآیند فولادی معلوم نیست.

هدف روش تعریف شده در این بخش، کم کردن تغییرپذیری و دستیابی به یکنواختی دسترسی به اندازه‌گیری ضخامت پوشش‌های بر روی سطوح فولادی تمیزکاری شده با پاشش است. روش، مستلزم اندازه‌گیری ضخامت فیلم با استفاده از دستگاه نوع القای مغناطیسی که قبلاً بر روی سطح صاف فولادی صفر شده است، می‌باشد.

این روش، ضخامت پوشش را از روی طرح تصویری قرار گرفته بین پیک و حداقل موج سطح زبر زیرآیند، در حدود $25\text{ }\mu\text{m}$ زیر پیک (به عبارت دیگر حدود نصف زبری سطح بر حسب ارتفاع از زیر تا بالای پیک‌های سطح تمیزکاری شده با پاشش) به استثنای سطح آماده شده برای سطح مقطع سطح، با درجه عالی به روش بیان شده در استاندارد ISO 8503-1 اندازه‌گیری می‌کند.

۷-۲ دستگاه‌ها و مواد

۷-۲-۱ دستگاه اندازه‌گیری ضخامت فیلم

دستگاه اندازه‌گیری ضخامت فیلم نوع القای مغناطیسی به روشی که در ۷پ مورد استفاده قرار گرفته است (به بند ۵-۵-۷ مراجعه شود).

یادآوری- تجهیزات تثبیت شده با امکانات برای محاسبه میانگین انحراف معیار اندازه‌گیری‌ها و سایر پارامترهای آماری بهتر است با احتیاط و ترجیحاً فقط با روش‌های آماری مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۲-۲ بررسی لایه‌ها، از نوع ورق نازک، با مقادیر قابل ردیابی به استانداردهای قابل قبول ملی، با ضخامت نزدیک به ضخامت فیلم پیش‌بینی شده.

یادآوری- استفاده از لایه‌های گواهی نشده به شرطی مجاز است که در محل، بررسی شوند.

۷-۲-۳ صفحه فولادی صاف، عاری از زنگ‌زدگی و تراشه، مشابه با ماهیت مغناطیسی برای فولاد پوشش داده شده و با حداقل ضخامت $1/2\text{ mm}$ برای استفاده در بازرسی دستگاه.

۷-۳ روش آزمون

۷-۳-۱ بررسی

قبل از استفاده دستگاه را مطابق دستورالعمل سازنده، با استفاده از صفحه فولادی صاف که با کاغذ سمباده شماره ۴۰۰ صیقلی شده است، جهت زدودن هر گونه زنگ زدگی و محصولات خوردگی بررسی و در صورت لزوم تنظیم کنید. لایه‌های بررسی باید بین میله و صفحه فولادی صاف قرارگیرند. باید از لایه‌های بررسی بیشتر و کمتر از ضخامت فیلم پیش‌بینی شده استفاده کرد.

۷-۳-۲ اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌های پوشش خشک باید مطابق دستورالعمل سازنده دستگاه برای فولاد صاف انجام گیرد. تعداد قرائت‌ها در بند ۷-۳-۳ ارایه شده است.

۷-۳-۳ تعداد قرائت‌ها

توصیه می‌شود که حداقل ۳ قرائت در هر محل آزمون انجام گیرد.

به عنوان راهنما توصیه شده است که برای سطوح مسطح در هر متر مربع دو محل آزمون، ۴ چهار محل آزمون در هر متر از طول، دو محل آزمون در هر متر از طول لبه‌ها و دو محل آزمون یا بیشتر در هر متر از طول لوله‌ها (بسته به قطر لوله) در نظر گرفته شود.

به طور کلی توصیه می‌شود که برای کارهای دریایی و فرادریایی، قرائت‌های بیشتری انجام گیرد.

۸ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

۸-۱ همه اطلاعات لازم برای شناسایی کامل محصول مورد آزمون (سازنده، طراحی محصول، شماره سری ساخت وغیره)؛

۸-۲ ارجاع به شماره این استاندارد؛

۸-۳ روش و دستگاه مورد استفاده؛

۸-۴ نتایج آزمون شامل تک تک اندازه‌گیری‌ها و میانگین آن‌ها؛

۸-۵ هر گونه تغییر در روش مشخص شده؛

۸-۶ هر گونه موارد غیرعادی مشاهده شده در مدت آزمون؛

۸-۷ تاریخ انجام آزمون و در صورت لزوم اطلاعات تکمیلی زیر:

۸-۸ جزئیات زیرآیند (جنس، ضخامت و پیش آماده سازی)؛

۸-۹ روش مورد استفاده برای پوشش‌دهی زیرآیند و این که آیا سیستم تک پوششی است یا چند پوششی؛

۸-۱۰ مدت زمان و شرایط مورد استفاده برای خشک کردن/ پخت (شامل کوره) پوشش و در صورت لزوم جزئیات پهر گونه شرایط اعمال شده قبل از اندازه‌گیری ضخامت؛

۸-۱۱ مساحت سطح مربوط، سطح آزمون و تعداد اندازه‌گیری در سطح آزمون؛

۸-۱۲ میانگین ضخامت فیلم و انحراف معیار آن، ضخامت موضعی فیلم و انحراف معیار آن، و کمینه و بیشینه ضخامت موضعی فیلم.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

مروری بر روش‌ها

مروری بر روش‌های توصیف شده در این استاندارد، در جداول الف-۱ تا الف-۳ ارائه شده است. دامنه کاربرد، استانداردهای موجود و دقت هر روش، مشخص شده است. در مواردی که برای روش‌های جداگانه، استانداردهایی موجود باشد، مرجع ارائه شده است.

جدول الف-۱ اندازه‌گیری ضخامت فیلم تر

اساس روش	روش	زیرآیند	دامنه کاربرد		استاندارد	دقت/درستی ^a
مکانیکی (بند ۴-۲)	الف ضخامت- سنج شانهای (بند ۴-۲-۴)	هرگونه زیرآیندی	مخرب/ غیرمخرب ^b	تماسی	آزمایشگاهی/ تولید/ کار میدانی	خطای سیستماتیک دقت ضخامت سنج شانهای ۱۰٪ ± یا ۵μm هرکدام که بیشتر است
	ب ضخامت سنج چرخ‌دار (بند ۴-۲-۵)	هرگونه زیرآیندی	مخرب/ غیرمخرب ^b	تماسی	آزمایشگاهی/ تولید/ کار میدانی	خطای سیستماتیک ۵٪ ± یا ۵μm هرکدام که بیشتر است
	۱پ ضخامت سنج عقریه‌ای (بند ۴-۲-۶)	هرگونه زیرآیندی	مخرب/ غیرمخرب ^b	تماسی	آزمایشگاهی/ تولید/ کار میدانی	خطای سیستماتیک ۵٪ ± یا ۳μm هرکدام که بیشتر است
وزن سنجی (بند ۴-۳)	۲ اختلاف در جرم (بند ۴-۳-۴)	هرگونه زیرآیندی	غیرمخرب	غیرتماسی	آزمایشگاهی	هیچ داده‌ای در دسترس نمی‌باشد
نور حرارت (بند ۴-۴)	۳ خواص حرارتی (بند ۴-۴-۴)	هرگونه زیرآیندی	غیرمخرب	غیرتماسی	آزمایشگاهی/ تولید	خطای سیستماتیک ۲٪ ± یا ۳μm هرکدام که بیشتر است

a: داده‌های صحت برای این روش‌ها، توسط سازندگان دستگاه ارائه شده است و با استانداردهای کالیبراسیون قابل ردیابی، بررسی می‌شود. موارد بیان شده، بر پایه مقادیر تجربی ارائه شده توسط سازندگان دستگاه و کاربران، مبتنی می‌باشد و ممکن است تغییر کند.

b: بسته به پوشش و کار پوشش

جدول الف-۲ اندازه گیری ضخامت فیلم خشک

اساس روش	روش	زیر آیند	دامنه کاربرد			استاندارد	دقت/صحت ^a
مکانیکی (بند ۵-۲)	۴ الف تفاوت در ضخامت (ریزسنج/ضخامت-سنج عقربه‌ای) (بند ۵-۲-۴)	هرگونه فلزی	مخرب/غیرمخرب ^b	تماسی	آزمایشگاهی	ASTM D 1005 DIN 50933	مکانیکی: حد پایین ۵μm الکترونیکی: حد پایین ۳μm
	۴ ب ضخامت-سنجی عمقی (ریزسنج/ضخامت-سنج عقربه‌ای) (بند ۵-۲-۵)	هرگونه فلزی	مخرب	تماسی	آزمایشگاهی		مکانیکی: حد پایین ۳μm الکترونیکی: حد پایین ۲μm
	۴ پ پویش تصویر سطح (بند ۵-۲-۶)	هرگونه فلزی	مخرب	غیر تماسی	آزمایشگاهی	ISO 4518	حد پایین ۲μm
وزن سنجی (بند ۵-۳)	۵ اختلاف در جرم (بند ۵-۳-۴)	هرگونه فلزی	مخرب	غیر تماسی	آزمایشگاهی / تولید/کار میدانی	-	هیچ داده‌ای در دسترس نمی‌باشد
نوری (بند ۵-۴)	۶ الف برش متقاطع (بند ۵-۴-۴)	هرگونه فلزی	مخرب	غیر تماسی	آزمایشگاهی	ISO 1463	خطای سیستماتیک ±۲μm تجدیدپذیری: ±۵٪
	۶ ب برش گوه (بند ۵-۴-۵)	هرگونه فلزی	مخرب	تماسی	آزمایشگاهی/تولید/کار میدانی	DIN 50986	حد بالایی ۲ μm تجدیدپذیری: ±۱۰٪
مغناطیسی (بند ۵-۵)	۷ الف ضخامت-سنجی کشش مغناطیسی (بند ۵-۵-۵)	فلز فرومغناطیس	غیر مخرب	تماسی	آزمایشگاهی/تولید/کار میدانی	ISO 2178	خطای سیستماتیک ±۵μm تجدیدپذیری: ±۶٪
	۷ ب ضخامت-سنجی شار مغناطیسی (بند ۵-۵-۶)	فلز فرومغناطیس	غیرمخرب	تماسی	آزمایشگاهی/تولید/کار میدانی		خطای سیستماتیک ±۳μm تجدیدپذیری: ±۵٪
	۷ پ ضخامت-سنجی القای مغناطیسی (بند ۵-۵-۷)	فلز فرومغناطیس	غیرمخرب	تماسی	آزمایشگاهی/تولید/کار میدانی	ISO 2178	خطای سیستماتیک ±۲μm تجدیدپذیری: ±۳٪

ادامه جدول الف-۲ اندازه گیری ضخامت فیلم خشک

خطای سیستماتیک $\pm 2\mu m$ تجدیدپذیری: $\pm 3\%$	ISO 2360	آزمایشگاهی/ تولید/کار میدانی	تماسی	غیرمخرب	فلز غیر فرو- مغناطیس	۷-ت ضخامت- سنجی جریان گردابی(بند ۵-۵-۸)	رادیلوژیکی (بند ۵-۶)
خطای سیستماتیک $\pm 2\%$ یا $\pm 0.5\mu m$ هر کدام که بیشتر است	ISO 3543	آزمایشگاهی / تولید	غیر تماسی	غیرمخرب	هرگونه فلزی	۸ پراکنش برگشتی بتا (بند ۵-۶-۴)	
داده‌ها در دسترس نمی- باشد.	EN 15042-2	آزمایشگاهی / تولید	غیر تماسی	غیرمخرب	هرگونه فلزی	۹ خواص حرارتی (بند ۵-۷-۴)	نور- حرارت (بند ۵-۷)
خطای سیستماتیک $\pm 2\mu m$ تجدیدپذیری: $\pm 5\%$	-	آزمایشگاهی / تولید/کار میدانی	تماسی	غیرمخرب	هرگونه فلزی	۱۰ ضخامت- سنجی فراصوتی (بند ۵-۸-۴)	صوتی (بند ۵-۸)

a: داده‌های صحت برای این روش‌ها، توسط سازندگان دستگاه ارائه شده است و با استانداردهای کالیبراسیون قابل ردیابی، بررسی می‌شود.

موارد بیان شده، بر پایه مقادیر تجربی ارائه شده توسط سازندگان دستگاه و کاربران مبتنی می‌باشد و ممکن است تغییر کند.

b: بسته به روش آزمون

جدول الف-۳ اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌های پودری غیر پیوند متقاطع^۱

اساس روش	روش	زیرآیند	دامنه کاربرد			استاندارد	دقت/صحت ^a
وزن سنجی (بند ۶-۲)	۱۱ تفاوت در جرم (بند ۶-۲-۴)	هرگونه فلزی	غیر مخرب	غیر تماسی	آزمایشگاهی	-	هیچ داده‌ای در دسترس نمی‌باشد.
مغناطیسی (بند ۶-۴)	۱۲ الف ضخامت- سنجی القای مغناطیسی (بند ۶-۳-۴)	فلز فرومغناطیس	مخرب/ غیرمخرب ^b	تماسی	آزمایشگاهی / تولید	ISO 2178	خطای سیستماتیک $\pm 2 \mu m$ تجدیدپذیری: $\pm 3\%$
	۱۲ ب ضخامت- سنجی جریان گردابی (بند ۶-۳-۵)	فلز غیر فرو مغناطیس	مخرب/ غیرمخرب ^b	تماسی	آزمایشگاهی / تولید	ISO 2360	خطای سیستماتیک $\pm 2 \mu m$ تجدیدپذیری: $\pm 3\%$
نور-حرارت (بند ۶-۴)	۱۳ خواص حرارتی (بند ۶-۴-۴)	هرگونه فلزی	مخرب/ غیرمخرب ^b	غیر تماسی	آزمایشگاهی / تولید	EN 15042-2	خطای سیستماتیک $\pm 2\%$ یا $\pm 3 \mu m$ هرکدام که بیشتر است
a: داده‌های صحت برای این روش‌ها، توسط سازندگان دستگاه ارائه شده است و با استانداردهای کالیبراسیون قابل ردیابی، بررسی می‌شود. موارد بیان شده، بر پایه مقادیر تجربی ارائه شده توسط سازندگان دستگاه و کاربران مبتنی می‌باشد و ممکن است تغییر کند. b: بسته به روش آزمون							

کتابنامه

- ۱- استاندارد ملی ایران شماره ۴۶۷۳ : سال ۱۳۷۸، پوشش‌های فلزی و غیرفلزی- اندازه‌گیری ضخامت پوشش به روش اشعه برگشتی بتا
 - ۲- استاندارد ملی ایران شماره ۴۹۱۴ : سال ۱۳۷۷، اندازه‌گیری وزن مخصوص رنگ‌های پودری با استفاده از پیکنومتر گازی
 - ۳- استاندارد ملی ایران شماره ۶۴۵۴-۱ : سال رنگ‌ها و جلاها- روش تعیین دانسیته- قسمت اول: با استفاده از پیکنومتر
 - ۴- استاندارد ملی ایران شماره ۶۴۵۴-۲ : سال رنگ‌ها و جلاها- روش تعیین دانسیته- قسمت دوم: روش غوطه‌وری
 - ۵- استاندارد ملی ایران شماره ۶۴۵۴-۳ : سال رنگ‌ها و جلاها- روش تعیین دانسیته- قسمت سوم: روش نوسان
 - ۶- استاندارد ملی ایران شماره ۶۴۵۴-۴ : سال رنگ‌ها و جلاها- روش تعیین دانسیته- قسمت چهارم: روش فنجان تحت فشار
 - ۷- استاندارد ملی ایران شماره ۶۸۲۷ : سال ۱۳۸۱، تعیین ضخامت پوشش‌های غیرمغناطیسی بر روی بسترهای مغناطیسی- روش آزمون مغناطیسی
 - ۸- استاندارد ملی ایران شماره ۶۸۲۸ : سال ۱۳۸۱، تعیین ضخامت پوشش‌های غیرهادی بر روی فلزات غیرمغناطیسی- روش آزمون جریان گردابی
- [9] ISO 1101, Geometrical Product Specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out
- [10] ISO 1463, Metallic and oxide coatings — Measurement of coating thickness — Microscopical method
- [11] ISO 3233, Paints and varnishes — Determination of percentage volume of non-volatile matter by measuring the density of a dried coating
- [12] ISO 4518, Metallic coatings — Measurement of coating thickness — Profilometric method
- [13] ISO 8130-3, Coating powders — Part 3: Determination of density by liquid displacement pyknometer
- [14] ISO 19840, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Measurement of, and acceptance criteria for, the thickness of dry films on rough surfaces
- [15] ASTM D 1005, Standard Test Method for Measurement of Dry Film Thickness of Organic Coatings Using Micrometers

- [16] ASTM D 1212, Standard Test Methods for Measurement of Wet Film Thickness of Organic Coatings
- [17] ASTM D 4414, Standard Practice for Measurement of Wet Film thickness by Notch Gages
- [18] EN 15042-2, Thickness measurement of coatings and characterization of surfaces with surface waves — Part 2: Guide to the thickness measurement of coatings by photothermic method
- [19] DIN 50933, Measurement of coating thickness by differential measurement using a stylus instrument
- [20] DIN 50986, Measurement of coating thickness — Wedge cut method for measuring the thickness of paints and related coatings

ICS: 87.041

صفحه : ۴۱
