



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
(شماره استاندارد)

چاپ اول

۱۴۰۱

INSO
(Std. No.)
1st Edition
2022

فناوری نانو - پوشش های نانومقیاس سخت -
مشخصه یابی و روش های آزمون

Nanotechnology- Hard nanoscale coatings-
Characterization and test methods

ICS: 07.120

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران-ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۱-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۸۱۱۴-۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفه تعیین، تدوین، به روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را برعهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود 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، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که براساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروروشن (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به‌عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاها صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«فناوری نانو - پوشش‌های نانومقیاس سخت - مشخصه‌یابی و روش‌های آزمون»

رئیس:	سمت و/یا محل اشتغال:
قربانی، محمد (دکتری مهندسی مواد)	عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی شریف
دبیر:	
دولتی، ابوالقاسم (دکتری مهندسی مواد)	عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی شریف
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
احمدی، سارا (دکتری مهندسی مواد)	عضو هیئت علمی - پژوهشگاه استاندارد
اله‌کرم، سعید رضا (دکتری خوردگی و حفاظت از مواد)	عضو هیئت علمی - دانشگاه تهران
سهرابی جهرمی، ابوذر (دکتری نانوفناوری - نانومواد)	رئیس هیئت مدیره - شرکت راصد توسعه فناوریهای پیشرفته
سیفی، مهوش (کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)	مشاور - گروه استاندارد و ارزیابی محصولات ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
شریفی، روح اله (کارشناسی ارشد مهندسی مواد)	عضو مستقل
علم‌خواه، حسن (دکتری نانوفناوری)	عضو هیئت علمی - دانشگاه بوعلی سینا
غضنفری، سید محمد حسین (کارشناسی ارشد مهندسی مواد - فناوری نانو)	کارشناس - گروه استاندارد و ارزیابی محصولات ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
گل‌زردی، سمیرا (کارشناسی ارشد مهندسی مواد - سرامیک)	کارشناس - گروه استاندارد و ارزیابی محصولات ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
محبوبی، فرزاد (دکتری مهندسی مواد)	عضو هیئت علمی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
منتظری، مانی (کارشناسی ارشد مهندسی مواد و متالورژی)	مدیر عامل - شرکت نوین فن سنجش آویسا

ویراستار:

سیفی، مهوش
(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

سمت و/یا محل اشتغال:

مشاور - گروه استاندارد و ارزیابی محصولات ستاد ویژه توسعه فناوری
نانو

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ آزمون‌های مشخصه‌یابی پوشش‌های نانومقیاس سخت
۳	۱-۴ کلیات
۳	۲-۴ آزمون‌های اختیاری
۴	۱-۲-۴ آزمون ترکیب شیمیایی
۴	۲-۲-۴ آزمون‌های ریزساختار و ریخت‌شناسی
۵	۳-۲-۴ آزمون ساختار بلوری و تعیین فاز
۵	۴-۲-۴ آزمون زبری سنجی و عیوب سطحی
۶	۵-۲-۴ آزمون چسبندگی پوشش به روش ایجاد فروروندگی خراشی راکول
۷	۳-۴ آزمون‌های الزامی
۷	۱-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری اندازه اجزاء پوشش نانومقیاس سخت
۷	۲-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری ضخامت پوشش نانومقیاس سخت
۸	۳-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری سختی پوشش نانومقیاس
۱۱	۴-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری مقاومت سایشی پوشش نانومقیاس سخت
۱۲	۵ روش آماده‌سازی نمونه‌های پوشش
۱۲	۶ گزارش آزمون
۱۴	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- پوشش‌های نانومقیاس سخت- مشخصه‌یابی و روش‌های آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده‌است، در صد و شانزدهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۴۰۱/۰۵/۱۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۷ قانون اصلاح تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی‌ماه ۱۳۹۶، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منابع و مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورداستفاده قرار گرفته به‌شرح زیر است:

۱- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۸۱۰: سال ۱۳۹۹، مواد فلزی- آزمون سختی سنجی ویکرز- قسمت ۱: روش آزمون

- 2- ISO 21874: 2019, PVD multi-layer hard coatings — Composition, structure and properties
- 3- ISO 9220, Metallic coatings — Measurement of coating thickness — Scanning electron microscope method

مقدمه

این استاندارد شامل مشخصه‌یابی و ارزیابی خواص فیزیکی، مکانیکی، سختی و مقاومت سایشی پوشش‌های نانومقیاس سخت است. چون پوشش‌های با ضخامت یا ساختار نانومتری دارای مشخصات و خواص متفاوت با پوشش‌های متداول هستند، لذا ارائه روش‌های آزمون برای تعیین مشخصات و خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی پوشش‌های نانومقیاس سخت ضروری است و دامنه جدیدی از خواص برای این خانواده از پوشش‌ها قابل ارائه خواهد بود.

پوشش‌های نانومقیاس سخت، دارای پیوستگی و استحکام داخلی لازم بین ذرات و اجزاء پوشش و همچنین چسبندگی لازم به زیرلایه به میزان مطرح شده در این استاندارد هستند و لذا این پوشش‌ها سختی و مقاومت سایشی موردنیاز برای کاربردهای مختلف را دارند. از این رو، پوشش‌های سخت در سطح قطعات صنعتی به کار رفته و سختی و مقاومت سایشی لازم را تامین می‌کنند و به همین دلیل، عمر کارکردی قطعات صنعتی را افزایش می‌دهند. پوشش‌های نانومقیاس سخت دارای ضخامت و یا اجزاء نانومتری سخت بوده و زیرلایه آن‌ها نیز استحکام مناسبی دارند. اجزاء نانو می‌توانند از جنس اجزاء فلزی، سرامیکی و یا بین‌فلزی با سختی لازم باشند. تاکنون استاندارد برای بررسی ترکیب شیمیایی، ریخت‌شناسی^۱، ساختار، خواص سختی و مقاومت سایشی پوشش‌های نانومقیاس سخت تدوین نشده است و استاندارد حاضر به توسعه صنعتی پوشش‌های نانومقیاس سخت کمک خواهد کرد.

فناوری نانو - پوشش‌های نانو مقیاس سخت - مشخصه‌یابی و روش‌های آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه روش‌های آزمون برای مشخصه‌یابی پوشش‌های نانومقیاس سخت شامل پوشش‌های نانولایه، نانوساختار و پوشش‌های نانوجندسازه‌ای^۱ و یا ترکیبی از آنها است. در این استاندارد روش‌های آزمون برای تعیین ترکیب شیمیایی، ریخت‌شناسی، ساختار، خواص سختی و مقاومت سایشی ارائه شده‌است. پوشش‌های نانومقیاس سخت به روش‌های مختلف از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی، الکتروشیمیایی، حرارتی و مکانیکی تولید می‌شوند. استاندارد حاضر برای انواع پوشش‌های نانومقیاس سخت فلزی، بسپاری، سرامیکی و چندسازه‌ای کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آنها ارجاع می‌شود. بدین ترتیب، آن ضوابط نیز جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵، مواد فلزی- آزمون سختی و خواص مواد به روش فرورفتگی ابزاری- قسمت ۱: روش آزمون

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۶، مواد فلزی- آزمون سختی و خواص مواد به روش فرورفتگی ابزاری- قسمت ۴: روش آزمون پوشش‌های فلزی و غیرفلزی

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۶۵۶: سال ۱۳۹۶، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های صنعتی پیشرفته)- تعیین مشخصات اصطکاک و سایش سرامیک‌های یکپارچه با روش توپی در دیسک- روش آزمون

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۳۵۲: سال ۱۳۹۷، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته، سرامیک‌های صنعتی پیشرفته) تعیین ضخامت پوششی با روش سنگ‌زنی

۳ اصطلاحات و تعاریف

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

۱-۳

نانومقیاس

nanoscale

گستره اندازه بین تقریباً ۱ nm تا ۱۰۰ nm است.

[منبع: زیربند ۱-۲، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵]

۲-۳

نانوپوشش

nanocoating

پوششی با ضخامت نانومقیاس (۱-۳) است.

[منبع: زیربند ۲-۲-۲-۳، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷]

۳-۳

پوشش نانومقیاس

nanoscale coating

پوشش با ضخامت، ساختار و یا حداقل یک جزء نانومتری است.

۴-۳

پوشش نانو ساختاری

nanostructured coating

پوششی که ساختار داخلی یا سطحی نانومقیاس (۱-۳) دارد.

[منبع: زیربند ۳-۳-۲، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷]

۵-۳

پوشش‌های نانوچندسازه‌ای

nanocomposite coatings

پوشش جامد حاوی مخلوط دو یا چند ماده جدایش یافته فازی با یک یا چند فاز نانومقیاس (۱-۳) است.

[منبع: زیربند ۳-۳-۵، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۷]

۳-۶

نانوپوشش‌های سخت

hard nanocoatings

پوشش‌های با ضخامت در مقیاس نانو و سخت هستند.

۳-۷

پوشش‌های نانوساختار سخت

hard nanostructured coatings

پوشش‌های با اجزاء داخلی یا سطحی در مقیاس نانو و سخت هستند.

۳-۸

پوشش‌های نانوساختار فوق‌سخت

super hard nanostructured coatings

پوشش‌های نانوساختار فوق‌سخت پوشش‌های مشابه پوشش‌های نانوساختار سخت و دارای محدوده سختی مشابه الماس برای مواد مهندسی سخت هستند.

۳-۹

پوشش‌های نانوساختار سخت چندسازه‌ای و هیبریدی

composite and hybrid hard nanostructured coatings

پوشش‌های نانوساختار چندسازه‌ای دارای زیرلایه فلزی، آلیاژی، بسپاری و یا سرامیکی هستند که در داخل زمینه پوشش، نانوذرات، نانوبلور و یا نانوالیاف سخت، پخش شده‌اند. نانوپوشش‌های هیبریدی از چند ترکیب فلزی، سرامیکی و بسپاری با حداقل یک جزء نانومتری، در کنار هم تشکیل شده‌اند و دارای سختی لازم هستند.

۴ آزمون‌های مشخصه‌یابی پوشش‌های نانومقیاس سخت

۴-۱ کلیات

به‌منظور مشخصه‌یابی پوشش‌های نانومقیاس سخت، از آزمون‌های ترکیب شیمیایی، ریخت‌شناسی، ساختار بلوری، زبری‌سنجی و عیوب سطحی استفاده می‌شود. مشخصه‌های پوشش از طریق آزمون‌های ارائه‌شده در زیر به‌دست آمده و در گزارش به‌صورت نتایج اختیاری و الزامی ارائه خواهند شد. مشخصه‌ها شامل اندازه اجزاء نانومتری، ضخامت پوشش و خواص پوشش از جمله سختی و مقاومت سایشی هستند که با استفاده از آزمون‌های ارائه‌شده در زیر اندازه‌گیری و گزارش آنها الزامی است.

۴-۲ آزمون‌های اختیاری

۱-۲-۴ آزمون ترکیب شیمیایی

بررسی ترکیب شیمیایی پوشش‌های نانومقیاس سخت با یک یا چند روش از روش‌های آنالیز عنصری و یا ترکیبی انجام می‌شود. آنالیز این پوشش‌ها طبق استانداردهای ASTM E3144 [1] ASTM E3206 [2] و ISO/TR 23173 [3] قابل انجام است. روش‌های آنالیز ترکیب شیمیایی برای سطح پوشش و یا سطح مقطع پوشش استفاده می‌شوند. از جمله روش‌های آنالیز عبارتند از: طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS)^۱، میکروآنالیزر پروب الکترونی (EPMA)^۲، طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس (XPS)^۳، طیف‌سنجی الکترون اوزه (AES)^۴، طیف‌سنجی جرم یون ثانویه (SIMS)^۵، طیف‌سنجی نشر نوری تخلیه جرقه‌ای (GDOES)^۶ هستند. آنالیز ترکیب شیمیایی به منظور مشخص کردن عناصر و ترکیبات شیمیایی پوشش استفاده می‌شود. باید توجه شود که نانوپوشش‌ها به‌طور عمده دارای ضخامت پایین بوده و برخی از آزمون‌های طیف‌سنجی برای آنالیز ترکیب شیمیایی به عمق پوشش و زیرلایه به‌طور همزمان نفوذ کرده و لذا ترکیب شیمیایی حاصل مربوط به هر دو پوشش و زیرلایه است. در نانوپوشش‌ها و یا پوشش‌های چندلایه باید از روش‌ها و دستگاه‌هایی استفاده شود که بتوانند ترکیب لایه با ضخامت نانومتری را آنالیز کنند و یا در صورت امکان از سطح مقطع پوشش، آنالیز ترکیب شیمیایی به‌صورت نقطه‌ای و یا روبش خطی انجام شود. روش آماده‌سازی و استانداردهای مرتبط در بند ۵ ارائه شده است.

۲-۲-۴ آزمون‌های ریزساختار و ریخت‌شناسی

به‌منظور تعیین پیوستگی ریزساختار پوشش، هم‌پوشانی کامل سطح زیرلایه، تراکم مناسب ذرات و عدم وجود تخلخل‌ها، حفره‌ها، ریزترک‌ها و سایر ناپیوستگی‌ها و عیوب ریزساختاری، آزمون‌های ریخت‌شناسی انجام می‌شود. شناسایی ریزساختار و ریخت‌شناسی در پوشش‌های نانومقیاس سخت به‌وسیله میکروسکوپ‌های الکترونی^۷ امکان‌پذیر است. برخی از شکل‌های هندسی دانه و ذرات مانند ریخت‌شناسی‌های ستونی، هم‌محور، مکعبی و بی‌شکل، منجر به ایجاد انواع مختلف دانه یا بلور با انرژی فصل مشترک و بافت مختلف می‌شوند. این شکل‌های دانه و ذرات بر روی خواص مکانیکی مانند مدول کشسان، سختی، تنش داخلی، چقرمگی و استحکام چسبندگی پوشش اثر می‌گذارند. از این‌رو، بررسی ریخت‌شناسی به‌منظور نشان دادن ریخت‌شناسی‌های فشرده و عاری از عیوب، ضروری است. ریخت‌شناسی و شکل‌هندسی اجزاء، اندازه اجزاء، فشردگی اجزاء، عدم تخلخل، ریزترک و تراکم بالای پوشش به‌وسیله روش‌های میکروسکوپی شناسایی می‌شوند. برای این منظور می‌توان از روش‌های میکروسکوپی مانند میکروسکوپی‌های

-
- 1- Energy Dispersive Spectroscopy
 - 2- Electron Probe Micro-Analyzer
 - 3- X-ray Photoelectron Spectroscopy
 - 4- Auger Electron Spectroscopy
 - 5- Secondary Electron Spectroscopy
 - 6- Glow-Discharge Optical Emission Spectroscopy
 - 7- Electron Microscopes

الکترون‌های روبشی (SEM/FESEM)^۱، میکروسکوپی الکترون عبوری (TEM)^۲ و میکروسکوپی پروب روبشی (SPM)^۳ استفاده کرد.

۴-۲-۳ آزمون ساختار بلوری و تعیین فاز

بررسی ساختار به‌منظور شناسایی شبکه بلوری و فازهای پوشش و مطابقت آن با ساختارهای فشرده و در نتیجه ایجاد ساختارهای سخت و با مقاومت سایشی بالا است. در این آزمون ساختارهای بلوری سخت و ترکیب فازی آنها مشخص می‌شود. به‌دلیل اندازه کوچک نانوبلورها در ساختار پوشش نانو، از روش‌هایی باید استفاده شود که بتوانند ساختار نانوبلورها را شناسایی کنند. همچنین ساختار بلوری زیرلایه پوشش که به استحکام بین نانوآشیا سخت و در نتیجه افزایش سختی پوشش نانو کمک می‌کند نیز قابل‌شناسایی است. نتایج حاصل از این آزمون به‌صورت مشخص کردن ساختار بلوری، ترکیب فازها و یا ساختار بی‌شکل^۴ پوشش، در گزارش ارائه می‌شود.

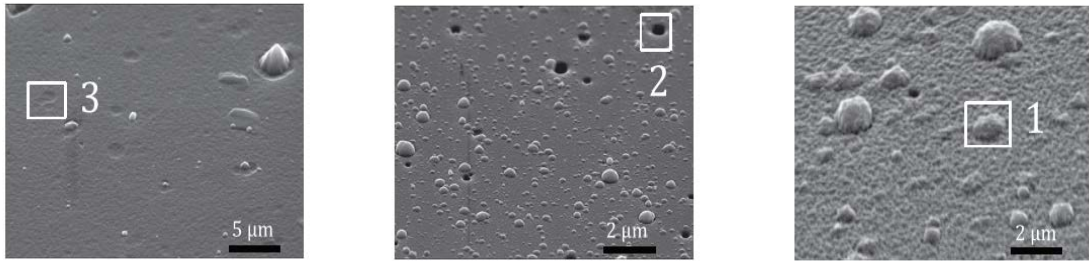
بررسی ساختار بلوری و تعیین ترکیب فازی پوشش نانو با آزمون‌های مختلف از جمله طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)^۵، طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس تماسی (GIXRD)^۶، آزمون پراش الکترونی با انرژی کم (LEED)^۷ و یا به روش پراش الکترونی با میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) انجام می‌شود. آنالیز ساختاری این پوشش‌ها طبق استانداردهای [1] ASTM E3144، [2] ASTM E3206 و ISO/TR 23173 [3] قابل‌انجام است.

۴-۲-۴ آزمون زبری سنجی و عیوب سطحی

عوامل سطحی از جمله دانه‌بندی، توزیع نانوآجزاء و عیوب سطحی پوشش بر روی خواص مکانیکی مانند سختی، مقاومت سایشی و اصطکاک موثر هستند. بنابراین، محاسبه میزان ناهمگنی‌ها و عیوب سطحی پوشش برای ارزیابی کیفیت پوشش‌های نانومقیاس ضروری است. از تجزیه‌وتحلیل مقدار ناهمگنی‌ها در سطح پوشش می‌توان برای ارائه میزان کیفیت سطح پوشش استفاده کرد. نسبت یا درصد ناهمگنی‌ها شامل درصد مساحت متشکل از اجزاء مجزای پراکنده، حفرات و گودی‌های کم عمق (مناطق برآمده و فرورفته) تقسیم بر کل سطح منطقه مورد بررسی پوشش است. میزان کم درصد ناهمگنی به معنی کیفیت سطح مناسب‌تر است. برای درصد ناهمگنی، بیشینه مقدار ۱۰٪، کیفیت قابل‌قبولی از پوشش نانو را ارائه می‌دهد.

-
- 1- Field Emission Secondary Electron Microscope
 - 2- Transmission Electron Microscope
 - 3- Scanning Probe Microscope
 - 4- Amorphous structure
 - 5- X Ray Diffraction
 - 6- Grazing Incidence X-ray Diffraction
 - 7- Low-Energy Electron Diffraction

در فرآیندهای ایجاد پوشش سخت، دانه‌های مجزا، حفره‌ها و گودی‌ها به‌وجود می‌آیند. در شکل ۱ دانه‌های مجزا، حفره‌ها و گودی مشاهده می‌شوند. دانه‌های مجزا از عدم هم‌پوشانی ذرات پوشش در فرآیند پوشش‌دهی و رشد ذرات به‌وجود می‌آیند، درحالی‌که حفره‌ها همواره حاصل از انقباض دانه‌ها یا بلورها در طی فرآیند رشد ذرات پوشش هستند. گودی‌ها نیز ناشی از متلاشی‌شدن و یا جدایش اجزای سطح پوشش هستند.



شکل ۱- تصاویر دانه‌های مجزا (۱) در شکل الف و عیوب (۲ و ۳) در شکل های ب و پ

مراحل محاسبه میزان ناهمگنی‌های سطح به‌شرح زیر است:

- الف- سطح پوشش باید صیقل داده‌شود تا جایی که مقدار زبری پوشش تغییر نکند. پرداخت سطح، زمانی که تغییر یا خطای نسبی زبری پوشش پرداخت‌شده کمتر از ۱۰٪ باشد، به پایان می‌رسد؛
 - ب- حداقل دو نمونه پوشش داده‌شده یا محصول کوچک با ابعاد در محدوده سانتی‌متر تهیه کنید و با استفاده از استون یا الکل، سطح را با روش تمیزکاری فراصوت به مدت ۵ دقیقه تمیز کنید؛
 - پ- سطح را به‌وسیله تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده کنید. برای هر نمونه پنج تصویر با بزرگنمایی بالای ۱۰.۰۰۰ برابر بگیرید. همه تصاویر باید تحت پارامترهای یکسان (پیکسل، رنگ، روشنایی، تباین و غیره) گرفته شوند و در حالت الکترون ثانویه باشند؛
 - ت- اطلاعات غیرضروری در تصاویر حذف شوند و تصاویر در حالت خاکستری ارزیابی شوند؛
 - ث- تصاویر انتخاب‌شده با استفاده از یک نرم‌افزار پردازش تصویر بررسی شوند که بتوان به‌طور خودکار درصد ناهمگنی را به‌دست آورد. نرم‌افزارهای آنالیز تصاویر میکروسکوپی دارای این امکان هستند؛
 - ج- مقدار متوسط ناهمگنی را از ۱۰ تصویر محاسبه کنید.
- هنگام تنظیم حالت خاکستری تصویر، تباین، رنگ و روشنایی بین ناهمگنی و زمینه در هر تصویر باید در تصاویر به‌طور مشابه انتخاب شود تا از خطاهای انسانی جلوگیری شود.

۴-۲-۵ آزمون چسبندگی پوشش به روش ایجاد فروروندگی خراشی راکول

چسبندگی پوشش‌های نانومقیاس به زیرلایه، روی سختی و مقاومت سایشی پوشش تاثیرگذار هستند. در این آزمون، یک خراش بر روی پوشش سخت ایجاد شده و نواحی اطراف خراش ممکن است آسیب ببینند و در نتیجه، دندانها و نواحی تخریب‌شده اطراف خراش به وسیله روش میکروسکوپی ارزیابی می‌شود. خراش مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۸۷: سال ۱۳۸۸ [۴]، با روش سختی‌سنج راکول ایجاد می‌شود. شکل و سطح خراش‌دهنده الماسی به‌طور منظم با میکروسکوپ نوری بررسی می‌شود و در صورت تغییر سطح خراش‌دهنده، باید آنرا تعویض کرد. بار، عمود بر سطح اعمال شده و سطح پوشش، موازی صفحه خراش دهنده قرار دارد. بار اعمالی در محدوده ۱۰۰ kgf تا ۱۵۰ kgf بر حسب سختی پوشش و زیرلایه انتخاب می‌شود. در صورت عدم جدا شدن پوشش و لایه‌لایه‌نشدن زیرلایه، چسبندگی پوشش قابل قبول است.

۳-۴ آزمون‌های الزامی

۱-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری اندازه اجزاء پوشش نانومقیاس سخت

در آزمون اندازه‌گیری اندازه هندسی اجزاء نانو، یک یا چند جزء در سطح یا داخل پوشش باید در ابعاد نانومتری و در محدوده زیر ۱۰۰ نانومتر بوده و پیوستگی بین اجزاء نانو در بررسی ریزساختار و ریخت‌شناسی کاملاً مشاهده شده و گزارش شود. برای اندازه‌گیری اندازه نانو اجزاء می‌توان از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/FESEM) مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۲۵۹: سال ۱۳۹۵ [۵] یا از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۱۹۵۰: سال ۱۳۹۶ [۶] و یا همچنین از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۶۰۳: سال ۱۳۹۷ [۷] استفاده کرد.

۲-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری ضخامت پوشش نانومقیاس سخت

برای اندازه‌گیری دقیق ضخامت پوشش‌های نانومقیاس سخت، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) یا FESEM و یا میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده می‌شود. مراحل آماده‌سازی نمونه مطابق با استاندارد ISO 9220 است. اندازه‌گیری ضخامت پوشش از روی سطح مقطع پوشش مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۲۷: سال ۱۳۹۹ [۸] انجام می‌شود. همچنین برای پوشش‌های سخت، نمونه پوشش‌دار شکسته شده و ضخامت از سطح مقطع پوشش به وسیله میکروسکوپ الکترونی اندازه‌گیری می‌شود. پوشش‌های سخت تُرد بوده و شکست پوشش با تُردی و بدون تغییر شکل پلاستیکی است و در نتیجه ضخامت پوشش تغییر نکرده و از سطح مقطع نمونه قابل‌اندازه‌گیری است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری اجزاء و ضخامت پوشش گزارش شده و باید برای نانو پوشش‌های با ضخامت پوشش زیر ۱۰۰ نانومتر باشد و یا برای پوشش‌های نانو ساختار باید اندازه یک یا چند جزء پوشش زیر ۱۰۰ نانومتر باشد.

۳-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری سختی پوشش نانومقیاس

مقدار سختی پوشش‌ها به شکل هندسی فرورونده و روش محاسبه بستگی دارد. سختی پوشش‌ها را می‌توان با آزمون فروروندگی و فروروندگی ایستا اندازه‌گیری کرد. برای جلوگیری از تأثیر لایه زیرین بر سختی

پوشش‌های نازک، از روش آزمون نانوفروروندگی^۱ استفاده می‌شود. این روش آزمون به نمونه‌های پوشش داده‌شده با کیفیت سطح بالاتری نیاز دارد، به عبارت دیگر، بیشینه میزان فروروندگی مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۶ باید کمتر از ۱۰٪ ضخامت پوشش بوده و مقدار زبری سطح (R_a) بهتر است در صورت امکان کمتر از ۵٪ بیشینه عمق نفوذ باشد. نمونه‌ها در صورت لزوم باید قبل از آزمون با محلول حاوی ذرات ساینده با اندازه تا ۵۰ نانومتر پرداخت کاری شوند. مراحل آزمون در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵ ارائه شده است.

۴-۳-۳-۱ آزمون نانو فروروندگی

آزمون براساس محاسبه سختی با توجه به منحنی نیرو بر حسب عمق با ثبت مداوم نیروی وارد شده و عمق فروروندگی با فشار به سطح یک نمونه آزمایشی یا قطعه محصول است. مراحل آزمون باید مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵ باشد. اندازه‌گیری سختی پوشش‌های سخت باید به وسیله یک فرورونده از جنس الماس یا آلیاژ بسیار سخت باشد. برای پوشش‌های سخت، باید موارد زیر را در نظر گرفت:

الف - عمق فرورونده در پوشش از سطح نمونه باید حداقل سه برابر قطر فرورونده باشد. حداقل فاصله بین دو فروروندگی باید حداقل پنج برابر بیشتر از قطر فرورونده باشد؛

ب - برای جلوگیری از تاثیر عیوب سطحی هنگام ایجاد فروروندگی، مقادیر سختی بهتر است در یک محدوده عمق فروروندگی از سطح، در محدود ۵۰ نانومتر تا ۲۰۰ نانومتر به دست آید. تعداد اندازه‌گیری‌ها باید در حداقل ۵ نقطه از نمونه باشد. برحسب محدودیت‌های روش اندازه‌گیری و محدودبودن ضخامت پوشش، تکرار آزمون تا حصول داده‌های تکرارپذیر، ضروری است.

۴-۳-۳-۲ آزمون ریزسختی^۲

اثر فروروندگی برای آزمون ریزسختی دو نوع است: در نوع اول، اثر فروروندگی مربعی به صورت فروروندگی الماسی و به شکل هرم برای آزمون ویکرز^۳ است و در نوع دوم، یک فروروندگی الماسی به صورت باریکه لوزی لوزی شکل برای آزمون نوپ^۴ به وجود می‌آید. مقدار ریزسختی پوشش‌های سخت تحت تأثیر ضخامت پوشش، پوشش، سختی زیرلایه، زبری سطح و عیوب و نقایص سطحی قرار دارد.

روش‌های آزمون اندازه‌گیری ریزسختی، از جمله آزمون‌های میکرو ویکرز و نوپ، مطابق استانداردهای ملی ایران شماره ۱-۱۰۵۶۶: سال ۱۳۹۹ [۹] و ۱-۷۸۱۰: سال ۱۳۹۹ به طور گسترده‌ای برای پوشش‌های با ضخامت ذکر شده در زیر (زیربند ۴-۳-۳-۱، مورد الف) استفاده می‌شوند و به راحتی در محصولات صنعتی قابل انجام است. در صورت استفاده از پوشش سخت نانو ساختار با ضخامت میکرونی و حاوی نانو اشیاء از این روش می‌توان استفاده کرد. مقدار سختی پوشش اندازه‌گیری شده فقط در صورتی قابل قبول است که عمق

1- Nano indentation

2- Micro hardness

3- Vickers

4- Knoop

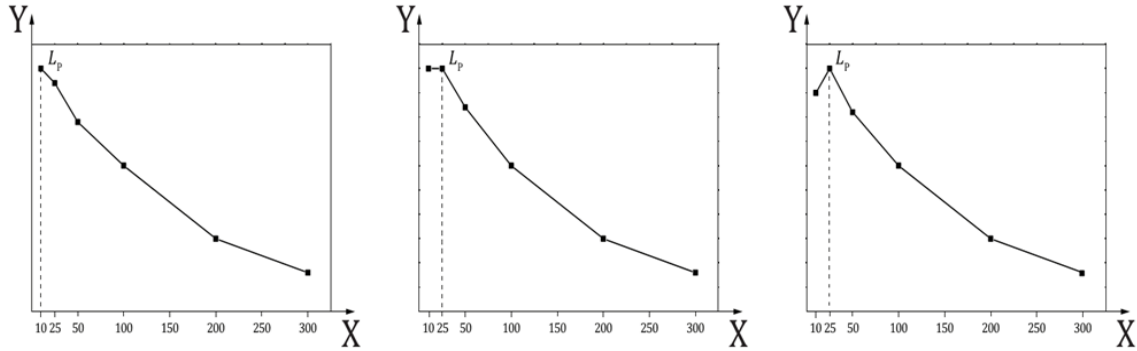
فرورونده کمتر از ۰/۱ ضخامت پوشش باشد. در این حالت برای پوشش‌های سخت و با ضخامت کم (زیربند ۳-۳-۱، موارد الف و ب) باید از روش‌هایی استفاده شود که عمق اثر فروروندگی پایین بوده و تحت‌تأثیر زیرلایه قرار نگیرد.

برای پوشش‌های سخت، باید موارد زیر در نظر گرفته شوند:

الف - از آنجا که فروروندگی نوپ در بار یکسان کمتر از ویکرز است، آزمون سختی نوپ برای پوشش‌های با ضخامت بیش از ۲ میکرومتر مناسب است، درحالی‌که آزمون سختی ویکرز می‌تواند برای ضخامت‌های بالاتر از ۴ میکرومتر انجام شود.

ب - برای به‌دست آوردن سختی پوشش (پوشش و زیرلایه)، فرو رونده در بارهای ۱۰ gf، ۲۵ gf، ۵۰ gf، ۱۰۰ gf، ۲۰۰ gf و ۳۰۰ gf مطابق استانداردهای ملی ایران شماره‌های ۱-۱۰۵۶۶ : سال ۱۳۹۹ [۹] و ۱-۷۸۱۰ : سال ۱۳۹۹ استفاده شود.

مقادیر سختی در برابر بار اعمالی در محدوده تقریبی ۱۰ gf تا ۳۰۰ gf رسم می‌شوند. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سه نوع توزیع سختی می‌تواند به‌وجود آید. مقدار بارگذاری، L_p ، به‌عنوان بار صحیح برای اندازه‌گیری ریزسختی و جلوگیری از تأثیر اندازه فروروندگی در زیرلایه تعریف شده‌است. بنابراین برای اندازه‌گیری سختی پوشش‌های سخت باید به‌طور متوسط پنج آزمون فروروندگی در نقاط متمایز در شرایط مقدار بارگذاری ثابت انجام شود.



پ- رابطه خطی بین بار و سختی

ب- مقدار سختی ثابت در ۱۰ gf و ۲۵ gf

الف- مقدار سختی بیشینه در ۲۵ gf

راهنما:

X بار اعمالی بر حسب gf;

Y سختی HK/HV;

L_p مقدار بار.

شکل ۲- انواع توزیع ریزسختی، تغییرات میزان سختی بر حسب بار اعمالی

تأثیر عوامل مختلف در اندازه‌گیری سختی در شکل ۲ با منحنی‌های مقدار سختی بر حسب بار اعمالی مشاهده می‌شود. در حالت اول که در شکل ۲، قسمت الف مشاهده می‌شود، به‌منظور جلوگیری از اثرات کیفیت سطح و زیرلایه، حداکثر مقدار سختی به‌دست آمده در بار ۲۵ gf باید پذیرفته شود. در حالت دوم که در شکل ۲، قسمت ب مشاهده می‌شود، سطح پوشش از ناهمواری و عیوب برخوردار است، سختی اندازه‌گیری شده در بار ۱۰ gf تحت‌تأثیر کیفیت سطح قرار دارد و در وزن‌های ۱۰ gf و ۲۵ gf مقدار سختی ثابت است که مقدار آن ملاک سختی است. در حالت سوم، به‌طوری‌که که در شکل ۲، قسمت پ نشان داده‌شده، در پوشش با سختی کم و ضخیم، اثر زیرلایه در بار کم (زیر ۲۵ gf) به‌وجود نمی‌آید و سختی اندازه‌گیری شده در بار ۲۵ gf باید به‌عنوان سختی پوشش تعریف شود. اثر زیرلایه در پوشش‌های نازک با سختی کم مشاهده می‌شود و لذا اندازه‌گیری سختی پوشش باید با بار کم ۱۰ gf انجام شود.

در جدول ۱، طبقه‌بندی سختی پوشش‌ها در انواع پوشش‌های غیر سخت، سخت و فوق‌سخت و محدوده سختی آن‌ها مشاهده می‌شود. نتایج کمی سختی‌سنجی پوشش و نوع پوشش باید براساس داده‌های سختی جدول زیر گزارش شوند. پوشش‌های نانومقیاس سخت به پوشش‌هایی گفته می‌شود که سختی آنها بالای ۱۲۰۰ میکروویکرز (بالای ۱۲ GPa) باشد. پوشش‌های نانومقیاس فوق‌سخت به پوشش‌هایی گفته می‌شود که سختی آنها بالای ۴۰۰۰ میکروویکرز (بالای ۴۰ GPa) باشد.

جدول ۱- طبقه بندی انواع پوشش‌ها بر حسب میزان سختی

سختی (GPa)	سختی (ویکرز)	انواع پوشش
< ۱۲	< ۱۲۰۰	غیرسخت ^۱
۱۲ < سختی < ۴۰	۱۲۰۰ < سختی < ۴۰۰۰	سخت ^۲
۴۰ ≤ سختی < ۸۰	۴۰۰۰ ≤ سختی < ۸۰۰۰	فوق سخت ^۳
سختی ≥ ۸۰	سختی ≥ ۸۰۰۰	آبرسخت ^۴
1- Non-hard 2- Hard 3- Super-hard 4- Ultra-hard		

۴-۳-۴ آزمون اندازه‌گیری مقاومت سایشی پوشش نانومقیاس سخت

مقاومت سایشی پوشش با روش‌های چرخش «پین روی دیسک»^۱ انجام می‌شود. خواص سختی و مقاومت سایشی پوشش‌های نانومقیاس سخت، عملکرد آن‌ها را در کاربردهای صنعتی معین می‌سازد. با در نظر گرفتن ضخامت کم نانوپوشش‌های سخت، باید آزمون چرخش پین روی دیسک برای توصیف خصوصیات تریبولوژی آنها مطابق با استاندارد ASTM G99-17 [10] انجام شود. آزمون باید در دمای اتاق انجام شود و در صورت نیاز به آزمون در دمای بالاتر، شرایط کاری باید تنظیم شود. مقاومت سایشی، بیان‌کننده سختی توام با چسبندگی پوشش به زیرلایه و همچنین استحکام اتصال بین اجزاء پوشش است.

برای پوشش‌های نانومقیاس سخت، باید موارد زیر را مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۶۵۶: سال ۱۳۹۶ در نظر گرفت.

الف- ابزار سایش: انتخاب ابزار سایش باید بسته به شرایط کاری انجام شود. ابزار سایش باید سختی کافی را داشته باشد تا مسیرهای سائیدگی در سطح ایجاد شود. قطر کره توصیه‌شده برای ابزار سایش ۶ میلی‌متر است.

ب- بار اعمال شده: ۱ N، ۵ N و ۱۰ N بسته به ضخامت پوشش و سختی آن است. موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

۱- هنگامی که ضخامت پوشش کمتر از ۲ میکرومتر و یا سختی پوشش کمتر از ۱۸۰۰ ویکرز است، بار ۱ N اعمال شود.

۲- هنگامی که ضخامت پوشش بین ۲ میکرومتر تا ۵ میکرومتر و یا سختی متوسط پوشش از ۱۸۰۰ ویکرز تا ۲۸۰۰ ویکرز است، بار ۵ N اعمال شود.

۳- هنگامی که ضخامت پوشش بیش از ۵ میکرومتر یا سختی پوشش بالاتر از ۲۸۰۰ ویکرز است، بار ۱۰ N اعمال شود.

پ- طول کل لغزش: بطور تقریبی در محدوده ۱۲۰ متر تا ۲۲۰ متر برای نانو پوشش‌ها و برای پوشش‌های نانو ساختار ۲۸۰ متر تا ۷۲۰ متر انجام شود.
گزارش نتایج آزمون مقاومت سایشی پوشش الزامی است و نتایج آزمون مینی بر کنندگی و یا سائیدگی پوشش و یا عدم سایش باید گزارش شود. همچنین میزان نرخ سایش (کاهش وزن نمونه بعد از آزمون) بر حسب میلی‌گرم بر نیوتن نیروی اعمالی بر متر طول کل لغزش (mgr/N.m) گزارش شود.

۵ روش آماده‌سازی نمونه‌های پوشش

نمونه‌ها برای ارزیابی ترکیب شیمیایی، ساختار، سختی و سایش باید با شرایط یکسان با محصولات صنعتی، پوشش‌دهی شوند. سطح نمونه‌ها قبل از پوشش‌دهی از ۰/۳ میکرون تا ۰/۵ میکرون پرداخت شود و با محلول چربی‌گیری به روش شیمیایی و یا فراصوت، چربی‌زدایی شده و آلودگی‌های سطحی حذف شوند. مراحل آماده‌سازی باید مطابق با استانداردهای ملی ایران شماره‌های ۱-۱۲۶۹۶: سال ۱۳۹۵ و ۱۲۶۵۶: سال ۱۳۹۶ باشد.

۶ گزارش آزمون

گزارش ترکیب شیمیایی، ریخت‌شناسی و ساختار اختیاری بوده و گزارش اندازه نانوآشپاء در پوشش‌های نانو ساختار و یا ضخامت نانو پوشش‌ها و همچنین نتایج آزمون‌های سختی و مقاومت سایشی الزامی است.

گزارش آزمون شامل موارد زیر است:

- ۱- نام آزمون‌کننده و نام و نشانی آزمایشگاه؛
- ۲- تاریخ آزمون و امضاء کارشناس مسئول و مهر تمام صفحات توسط آزمایشگاه؛
- ۳- نام و نشانی مشتری یا متقاضی و امضاء؛
- ۴- ارجاع به این استاندارد ملی؛
- ۵- مشخصات پوشش مورد آزمون یا محصول و ذکر نوع زیرلایه و نوع پوشش؛
- ۶- روش آماده‌سازی آزمون یا محصول؛
- ۷- شرایط موازی بودن سطوح نمونه؛
- ۸- شرایط پرداخت کاری نمونه؛
- ۹- شرایط محیطی و کاری؛
- ۱۰- روش‌های آزمون استفاده شده؛
- ۱۱- دستگاه‌ها و تجهیزات استفاده شده؛
- ۱۲- تعداد متوسط اندازه‌گیری‌ها در هر آزمون؛
- ۱۳- گزارش ضخامت پوشش؛
- ۱۴- ضخامت پوشش نانو بر حسب نانومتر یا میکرومتر؛

- ۱۵- نوع، اندازه و شکل فرورونده و نیروی اعمالی در آزمون سختی؛
 - ۱۶- نیروی اعمالی و سرعت حرکت و شعاع پین در آزمون سایش؛
 - ۱۷- چسبندگی پوشش و جدایش یا عدم تخریب پوشش در آزمون سایش؛
 - ۱۸- هرگونه ویژگی غیرمعمول مشاهده شده در حین آزمون؛
 - ۱۹ - نتایج حاصل از آزمون‌های اجباری ضخامت پوشش، ابعاد ذرات نانومتری، سختی و مقاومت سایشی پوشش و تایید و یا رد پوشش سخت؛
- گزارش آنالیز ترکیب شیمیایی، ریخت‌شناسی، ریز ساختار، ساختار بلوری پوشش و زبری سطح اختیاری است.

کتابنامه

- [1] ASTM E3144, Standard Guide for Reporting the Physical and Chemical Characteristics of Nano-Objects.
- [2] ASTM E3206, Standard Guide for Reporting the Physical and Chemical Characteristics of a Collection of Nano-Objects.
- [3] ISO/TR 23173, Surface chemical analysis — Electron spectroscopies — Measurement of the thickness and composition of nanoparticle coating.
- [۴] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۳۸۷: سال ۱۳۸۸، سرامیک‌های ظریف (سرامیک‌های پیشرفته - سرامیک‌های صنعتی پیشرفته) ارزیابی چسبندگی پوشش‌های سرامیکی به روش ایجاد فرو رفتگی (خراش) راکول
- [۵] استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۲۵۹: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- مشخصه‌یابی نانومواد با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) - روش آزمون
- [۶] استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۱۲۵۹: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- مشخصه‌یابی نانومواد با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) قسمت ۲: روش آزمون
- [۷] استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۶۰۳: ۱۳۹۷ فناوری نانو- تعیین اندازه نانوذرات با استفاده از روش میکروسکوپی نیروی اتمی
- [۸] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۲۷: سال ۱۳۹۹، پوشش‌های فلزی و اکسیدی - اندازه‌گیری ضخامت پوشش - روش میکروسکوپی
- [۹] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۵۶۶: سال ۱۳۹۹، مواد فلزی- آزمون سختی سنجی نوپ- قسمت ۱: روش آزمون
- [10] ASTM G 99-17, Standard Test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus.