شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

فصلنامه

دانش آزمایشگاهی ایران

ISSN 2538-3450

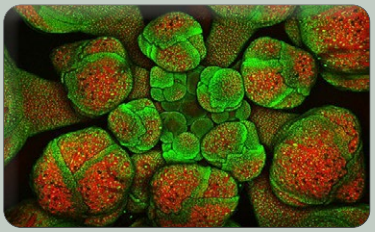
سال یازدهم ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۲ ■ شماره پیاپی ۴۱

طیف‌سنجی جرمی زمان پرواز

توسعه شبکه‌سازی آزمایشگاه‌ها

توسعه جریان دانش در شبکه آزمایشگاهی

اندازه‌گیری آرسنیک در برنج با روش جذب اتمی تولید هیدرید



انواع نشانگرها در میکروسکوپ روبشی لیزری هم‌کانون (بخش اول)

بررسی اندازه‌گیری اجزاء آروماتیک، اولفین و غیراشباع در انواع سوخت به روش کروماتوگرافی گازی با ستون کاپیلاری ۱۰۰ متری و قدرت تفکیک بالا

نقش آزمایشگاه در کنترل کیفیت مخازن تحت فشار بدون درز (بخش دوم)

مروری بر مقاومت گریس در برابر آب

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir

نقش آزمایشگاه در کنترل کیفیت مخازن تحت فشار بدون درز

بخش دوم

نویسنده
امیر ادریسی[1]
*edrisi.amir@gmail.com

واژه‌های کلیدی
آزمایشگاه، مخازن گاز بدون درز، مخازن گاز طبیعی فشرده، آزمون‌های مواد، آزمون‌های مخرب، آزمون‌های غیر مخرب.

چکیده

هدف از این مقاله، بررسی نقش آزمایشگاه و آزمون‌های استاندارد در کنترل کیفیت مخازن در معرض فشار بدون درز است. در این بخش از مقاله، آزمون‌های عمومی و عملکردی مخازن بدون درز شامل آزمون‌های چرخه فشار در دمای محیط، نشت‌یابی، قرارگیری در معرض آتش، نفوذ گلوله، فشار هیدرواستاتیک و سایر آزمون‌های عملکردی مطرح و سپس آزمون‌های غیر مخرب همچون آزمون‌های ذرات مغناطیس، ترک‌یابی و ضخامت‌سنجی به روش آلتراسونیک مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، آزمون‌های تخصصی مخازن خودرویی و صنعتی نوع II، III و IV شامل آزمون‌های محیط اسیدی، چرخه فشار در دمای کم و بسیار بالا، خزش، تعیین رواداری ترک، شکست و پارگی تسریعی و غیره بیان شد و در انتهای مقاله، به بررسی آزمون‌های چسبندگی، انعطاف‌پذیری، ضخامت‌سنجی رنگ و سایر آزمون‌های پوشش محافظ مخازن پرداخته شد.

براساس مطالب ارائه شده، با توجه به انجام تعداد بالایی از آزمون‌های سختگیرانه و تأیید آن مطابق با استانداردهای مرجع در یک آزمایشگاه دارای صلاحیت و همچنین کنترل‌های مداوم کیفی، قابلیت اطمینان و سطح بالای ایمنی این مخازن تضمین می‌شود.

مقدمه

در بخش اول مقاله، مقدمه‌ای درباره انرژی و سوخت‌های طبیعی ذکر و به این نکته پرداخته شد که کارشناسان، گاز طبیعی را به‌عنوان یکی از مهمترین و حیاتی‌ترین منابع انرژی در جهان می‌دانند و مصرف دو برابری آن را بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ پیش‌بینی کردند. این امر منجر به افزایش علاقه به استفاده از گاز طبیعی به‌عنوان سوخت در حوزه حمل و نقل خواهد شد. بنابراین، سوخت‌های جایگزین می‌توانند بهترین گزینه به‌منظور استفاده در وسایل نقلیه، برای به حداقل رساندن وابستگی به سوخت‌های فسیلی که در حال اتمام هستند، باشند. در ایران نیز به دلیل دارا بودن ذخایر عظیم گازی و تولید بومی مخازن نگهداری آن، از مزیت به نسبت بالایی در این زمینه برخوردار است که با ایجاد بسترهای مناسب می‌توان از این نعمت خدادادی بهترین استفاده را نمود. از دیگر کاربردهای مخازن نگهداری گاز، صنایع هوا و فضا، حمل و نقل و خودروسازی، پزشکی، پتروشیمی، هواپیمایی، بازی‌های ورزشی و غیره هستند که اهمیت این نوع مخازن را دو چندان کرده است.

در بخش اول مقاله، انواع مخازن در معرض فشار، روش‌های ساخت و تولید آن، استانداردهای بین‌المللی و ملی سیلندرهای بدون درز، انواع آزمایش‌ها همچون آزمون‌های مواد فلزی و کامپوزیتی، آزمون‌های خواص مکانیکی مورد بحث قرار گرفت. در ادامه، به سایر آزمون‌های کنترلی این مخازن اشاره خواهیم داشت.

▣ آزمون‌های عمومی و عملکردی مخازن بدون درز

■ آزمون خستگی یا چرخه فشار در دمای محیط [۲]

از سال ۱۸۳۰ معلوم شد که فلز در معرض تنش تکراری یا نوسانی، در تنشی به مراتب کمتر از تنش لازم برای شکست بر اثر اعمال یکباره بار، خواهد شکست. شکست‌هایی که در شرایط بارگذاری دینامیکی رخ می‌دهند، شکست‌های خستگی نامیده می‌شوند. عامل حداقل ۹۰ درصد شکست‌های ناشی از علل مکانیکی حین کار، خستگی است. دلیل اصلی خطرناک بودن شکست خستگی این است که بدون هشدار رخ می‌دهد. خستگی به شکستی با ظاهر ترد، بدون هیچ‌گونه تغییر شکل کلی در شکست، منجر می‌شود.

سه عامل مهمی که برای وقوع شکست خستگی ضروری هستند عبارتند از:

۱- تنش کششی حداکثری به مقدار بسیار زیاد؛

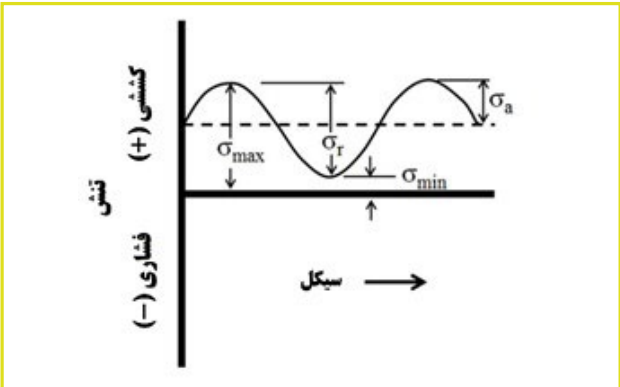
۲- تغییرات به حد کافی زیاد یا نوسانی در تنش اعمالی؛

۳- زیاد بودن چرخه‌های تنش اعمالی.

علاوه‌بر این، متغیرهای دیگری مانند تمرکز تنش، خوردگی، دما، بار اضافی، ساختار متالورژیکی، تنش‌های باقی مانده و تنش‌های مرکب هم وجود دارند که شرایط را برای ایجاد خستگی تقویت می‌کنند.

این تنش به سه دسته چرخه کاملا معکوس تنش سینوسی، چرخه تنش تکراری و چرخه تنش مرکبی طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به نوع چرخه اعمالی، چرخه تنش تکراری را مورد بحث قرار می‌دهیم.

شکل (۱) یک چرخه تنش تکراری (که در اینجا مورد بحث است) را نشان می‌دهد که در آن تنش حداکثر (σ_{max}) و تنش حداقل (σ_{min}) برابر نیستند. در این نمودار، هر دو تنش کششی‌اند. ولی یک چرخه تنش تکراری می‌تواند شامل تنش‌های حداقل و حداکثر با علامت مخالف یا هر دو در فشار نیز باشد.



شکل (۱): چرخه تنش تکراری [۱].

حد خستگی یا استحکام خستگی، بالاترین تنشی است که یک ماده می‌تواند برای یک تعداد سیکل بدون شکستن تحمل کند. در تعیین حد خستگی ماده باید دانست که هر نمونه، حد خستگی ویژه‌ای دارد که در تنش بیشتر از آن می‌شکند ولی در مقادیری کمتر از آن نمی‌شکند؛ همچنین این تنش بحرانی به دلیل مبهمی برای هر نمونه فرق می‌کند. ناخالصی‌ها در فولاد می‌توانند اثر مهمی بر حد خستگی و تغییرپذیری آن داشته باشد [۱].

به‌منظور تعیین استحکام خستگی و اطمینان از قابلیت عملکرد محصول و سرویس‌دهی در طول عمر خود در مخازن، از آزمون چرخه فشار در دمای محیط (سیکلی) استفاده می‌کنند. در شکل (۲) نمایی از دستگاه آزمون چرخه فشار مخازن نشان داده شده‌است.

شکل (۲): نمایی از دستگاه آزمون چرخه فشار مخازن [۲].

در این آزمون، سیلندرهای تکمیل شده باید با تناوب تعریف شده، مورد آزمون چرخه فشار قرار گیرند. روی یک سیلندر از هر بهر، به تعداد ۱۰۰۰ برابر عمر مفید تعیین شده برحسب سال و تعداد مشخصی چرخه، آزمون چرخه فشار انجام شود. ابتدا سیلندر مورد آزمون باید با یک مایع غیر خورنده به‌عنوان مثال، روغن یا آب پر شود. سپس باید فشاری بین ۲ تا ۲۶ مگاپاسکال با نرخی کمتر از ۱۰ چرخه بر دقیقه به سیلندر اعمال شود [۳].

سیلندر باید حداقل و حداکثر فشارهای چرخه‌ای را بدون شکست در حین آزمون تحمل نماید. در صورتی که سیلندری در این آزمون، چرخه‌ها را بدون بروز واماندگی و نشتی پشت سرگذارد، این آزمون رضایت‌بخش تلقی می‌شود. تعداد چرخه‌ها بسته به استاندارد محصول، می‌تواند از ۱۲۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ سیکل متغیر باشند [۴].

■ آزمون نشتی مخزن [۳]

سازنده مخزن باید از آزمون‌های مناسبی مبنی بر عدم وجود نشتی در سیلندر استفاده نماید. برای سیلندرهایی با انتهای شکل داده به روش شکل‌دهی چرخشی، سه روش آزمون وجود دارد [۴].

برای انجام آزمون نشتی پنوماتیک، باید انتهای سیلندر تمیز و عاری از رطوبت باشد. سطح داخلی انتهای سیلندر باید به مدت حداقل یک دقیقه در معرض فشاری معادل با حداقل

دو سوم فشار آزمون سیلندر قرار گیرد. قطر این سطح نباید کمتر از ۲۰ میلیمتر و مساحت آن نباید کمتر از شش درصد کل مساحت انتهای سیلندر باشد. سمت دیگر را باید در داخل آب و یا سایر مایعات مناسب قرار داده و با دقت از نظر نشتی کنترل شود. سیلندرهایی که نشتی دارند باید مردود اعلام شوند [۳ و ۴]. آزمون پنوماتیک با فشار کم و آزمون نشتی هلیوم از دیگر روش‌های آزمون نشتی هستند [۴].

در سیلندرهای نوع چهار، ابتدا باید داخل سیلندر به‌طور کامل خشک شود. سپس با استفاده از هوای خشک یا نیتروژن که حاوی یک گاز قابل ردیابی نظیر هلیوم است؛ باید سیلندر را تا حد فشار کاری در معرض فشار قرار داد. وجود هرگونه نشتی در هر نقطه از سیلندر که از مقدار استاندارد ۰/۰۰۴ سانتیمتر مکعب بر ساعت بیشتر باشد، موجب مردود شدن سیلندر می‌شود [۳].

■ آزمون قرارگیری در معرض آتش[۴]

در این آزمون به بررسی ایمنی مخازن در برابر آتش می‌پردازیم به طوری که سیلندرهای تکمیل شده مجهز به سامانه حفاظت در برابر آتش (شیر سیلندر، وسایل اطمینان تخلیه فشار و یا عایق گرمایی یکپارچه) در شرایط آتش‌سوزی مشخص شده، مورد آزمون قرار می‌گیرند؛ چیدمان وسایل اطمینان تخلیه فشار باید به‌گونه‌ای باشد که هرگاه سیلندر در معرض آتش‌سوزی با شرایط مشخص شده قرار گیرد، از شکست ناگهانی آن جلوگیری شود. داده‌های آزمون باید اثربخشی سامانه حفاظت در برابر آتش را به اثبات برسانند. سیلندر و جنس آن، وسایل اطمینان تخلیه فشار و هرگونه عایق اضافه شده یا مواد محافظ باید همگی به‌گونه‌ای طراحی شوند که در شرایط آتش‌سوزی سیلندر از ایمنی کافی برخوردار باشد. در شکل (۳) نمایی از مخزن در حال آزمون در معرض آتش نمایش داده می‌شود.

شکل (۳): نمایی از آزمون قرار گرفتن مخزن در آتش [۵].

برای انجام این آزمون، یک منبع آتش با هر نوع سوختی با شعله و گرمای یکنواخت و طول ۱/۶۵ متر باید به‌طور مستقیم به سطح سیلندر و در سراسر قطر آن برخورد کند. هر سوختی را می‌توان در منبع آتش استفاده نمود. سیلندر را باید به‌صورت افقی مورد آزمون قرار داد، به‌طوری که کف آن به‌طور تقریبی ۱۰۰ میلیمتر بالاتر از منبع آتش قرار داشته باشد و به وسیله حداقل سه رشته ترموکوپل با بیشینه فاصله میانی ۷۵ متر در امتداد کف سیلندر نصب شود؛ دمای سطح سیلندر باید اندازه‌گیری و کنترل شود. در مدت آزمون، دماهای سطح و فشار داخلی سیلندر باید در فواصل زمانی ۳۰ ثانیه یا کمتر ثبت شوند. سیلندرها باید با استفاده از گاز طبیعی فشرده پر شده و به‌طور افقی در فشارهای کاری و ۲۵ درصد فشار کاری، مورد آزمون قرار گیرند.

در مدت پنج دقیقه پس از جرقه زدن و آغاز اشتعال سوخت، دست کم باید یکی از ترموکوپل‌ها دمای ۵۹۰ درجه سلسیوس یا بیشتر را نشان دهد. این کمینه دما، باید در مدت آزمون حفظ شود. اگر در مدت این پنج دقیقه، دما به ۵۹۰ درجه سلسیوس نرسد؛ اما در این مدت گاز داخل سیلندر تهویه شود؛ الزامات این آزمون برآورده شده تلقی می‌شود. در حین انجام آزمون وقوع هرگونه خرابی یا غیر یکنواختی در منبع آتش، باعث بی‌اعتبار شدن نتیجه آزمون می‌شود. نتایج آزمون زمانی قابل قبول است که گاز داخل سیلندر در حالت ۲۵ درصد فشار کاری، با استفاده از سوپاپ دمایی و حالت فشار کاری، با یکی از وسایل اطمینان تخلیه فشار، تخلیه شود [۳].

■ آزمون ترکیدن در فشار هیدرواستاتیک[۵]

در این آزمون، به بررسی شکل گسیختگی سیلندر و فشار ترکیدن آن می‌پردازیم. برای انجام این آزمون، باید یک مخزن را به‌طور هیدرواستاتیک تا حد ترکیدن در معرض فشار قرار داد. فشار ترکیدن مخازن نباید از حداقل فشار ترکیدن که با استفاده از تجزیه و تحلیل تنش به‌دست آمده است، کمتر باشد. همچنین این فشار باید حداقل ۴۵ مگاپاسکال یا ۴۵۰ بار باشد و پس از ترکیدن تکه تکه نشود [۳].

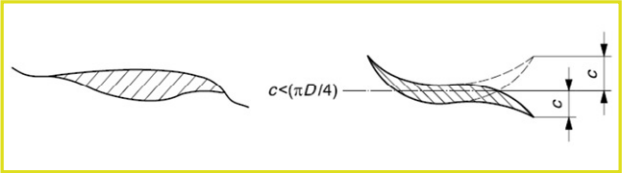
در تفسیر نتایج آزمون ترکیدن، باید منحنی «فشار-زمان» یا منحنی «فشار–حجم آب مورد استفاده» برای تعیین فشار آغاز تغییر شکل پلاستیکی سیلندر به همراه فشار ترکیدن آن و گسیختگی ناشی از ترکیدن و شکل لبه‌های آن را بررسی نماییم. نتایج در صورتی رضایت‌بخش محسوب می‌شود که سیلندر در وضعیت یکپارچه باقی مانده و تکه‌تکه نشده باشد. گسیختگی اصلی باید در قسمت استوانه‌ای سیلندر ایجاد شود و نباید به‌صورت شکست ترد باشد، یعنی لبه‌های گسیخته شده دیواره باید شیبدار باشد؛ همچنین نباید گسیختگی، ناشی از وجود عیب در فلز باشد و در هیچ حالتی نباید به گلویی برسد. برای انتهای مقعر شکست، نباید جلوتر از قسمت استوانه‌ای انتهای ته پیش برود و برای انتهای محدب نباید به مرکز ته سیلندر برسد. در شکل (۴) حالت پارگی و مقاطع گسیخته شده قابل قبول در این آزمون نشان داده شده‌است.

همچنین فشار تسلیم مشاهده شده (P_y) باید بزرگتر یا مساوی با حاصل ضرب فشار آزمون در(F/1) باشد (رابطه (۱)):

رابطه (۱) $P_y \geq 1/F \times P_h$

و فشار ترکیدن واقعی (P_b) باید بزرگتر یا مساوی با ۱/۶ برابر فشار آزمون باشد (رابطه (۲)) [۴].

رابطه (۲) $(P_b \geq 1.6P_h)$



شکل (۴): مقاطع گسیختگی قابل قبول ناشی از آزمون ترکیدن [۴].

■ آزمون فشار هیدرواستاتیک مخازن[۶]

آزمون فشار هیدرواستاتیکی به دو روش قابل انجام است:

• روش اول: آزمون انبساط حجمی[۷]

فشار آب داخل سیلندر باید تا رسیدن به فشار آزمون (P_h) و با یک آهنگ کنترل شده افزایش یابد. سیلندر باید در معرض فشار (P_h) برای مدت حداقل ۳۰ ثانیه باقی‌مانده و انبساط حجمی اندازه‌گیری شود. سپس فشار، آزاد شده و انبساط حجمی دوباره اندازه‌گیری شود. در صورتی که انبساط حجمی دائمی سیلندر (انبساط حجمی بعد از آزاد شدن فشار) بیش از ۱۰ درصد انبساط حجمی کلی اندازه‌گیری شده در فشار آزمون (P_h) باشد، آن سیلندر باید مردود شود. انبساط دائمی و کلی، براساس فرمول مربوطه یعنی انبساط کلی کمتر از انبساط دائمی برای هر سیلندر در معرض فشار آزمون تعیین می‌شود [۴]. در شکل (۵) نمایی از دستگاه آزمون قابل مشاهده است.

شکل (۵): دستگاه آزمون فشار هیدرواستاتیک مخازن [۲].

• روش دوم: آزمون فشار تائید[۸]

فشار آب داخل سیلندر باید تا رسیدن به فشار آزمون (P_h) و با یک آهنگ کنترل شده افزایش یابد. سیلندر باید در معرض فشار (P_h) برای مدت حداقل ۳۰ ثانیه باقی بماند تا عدم افت فشار و عدم نشتی محرز شود. در طول مدتی که سیلندر در معرض فشار قرار دارد، باید قابل رویت بوده و خشک باقی بماند. بعد از آزمون، سیلندر باید هیچ گونه تغییر شکلی نشان ندهد و اثری از رطوبت ناشی از نشتی، نداشته باشد [۴].

■ آزمون نفوذ گلوله[۹]

این آزمون به‌منظور سنجش استحکام فلز یا کامپوزیت با بررسی شکل شکست مخزن و کاهش وزن آن در اثر اصابت گلوله است. برای انجام این آزمون، باید سیلندری که با گاز طبیعی فشرده تا فشار ۲۰ مگاپاسکال پر شده‌است را مورد اصابت یک گلوله جنگی به قطر کمینه ۷/۶۲ میلیمتر قرار داد. این گلوله باید به‌طور کامل دست‌کم از یک سمت دیواره سیلندر نفوذ کند. نتیجه آزمون هنگامی قابل قبول است که سیلندر دچار شکست ترد نشود و برداشت یا همان کاهش جرم سیلندر توسط گلوله نیز بیشتر از ۴۵ گرم نباشد. در مورد سیلندرهای CNG-2، CNG-3، CNG-4، زاویه اصابت گلوله باید به‌صورت تقریبی ۴۵ درجه باشد [۳]. شکل (۶) محل ورود گلوله به داخل مخزن را نمایش می‌دهد.

شکل (۶): نمایی از محل نفوذ گلوله در مخزن [۶].

■ آزمون عملکرد نشت پیش از شکست[۱۰]

سیلندرهای نوع یک، دو و سه باید دارای عملکرد نشت پیش از شکست باشند. در مورد سیلندرهایی که عمر خستگی آنها بیشتر از ۴۵۰۰۰ چرخه فشار است، نیازی به انجام این آزمون نیست. برای انجام این آزمون، باید سه سیلندر تکمیل شده را مورد آزمون چرخه فشار بین دو تا ۳۰ مگاپاسکال قرار داد. تمام سیلندرهای مورد آزمون باید در اثر نشت وامانده شوند نه در اثر شکست.

در این آزمون ابتدا باید مناطق حساس به خستگی را در بدنه سیلندر تعیین نمود. مکان و جهت ایجاد خستگی در سیلندر باید با استفاده از تجزیه و تحلیل تنش یا با

انجام آزمون‌های خستگی روی سیلندرهای تکمیل شده، تعیین شوند. سپس ارزیابی عملکرد نشت پیش از شکست را مطابق با دو روش مهندسی ارزیابی نقاط بحرانی (مناطق حساس به خستگی) و با استفاده از آزمون ترکیدن سیلندر شیاردار (فاق‌دار) شده، مطابق با استاندارد مربوط انجام داد [۳].

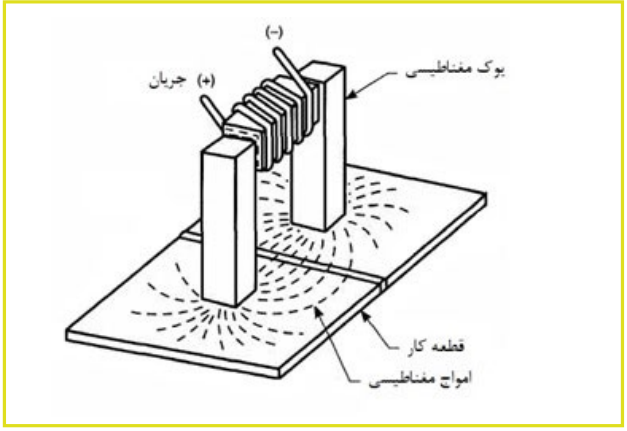
آزمون‌های غیرمخرب[11]

آزمون‌های غیرمخرب به مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی و تعیین خواص قطعات گفته می‌شود که هیچگونه آسیب یا تغییری در قطعه ایجاد نکند. به عبارتی دیگر، به استفاده از روش‌های فیزیکی برای شناسایی ویژگی‌های مواد یا آسیب‌های آنها بدون ایجاد ضایعات مکانیکی اشاره دارد.

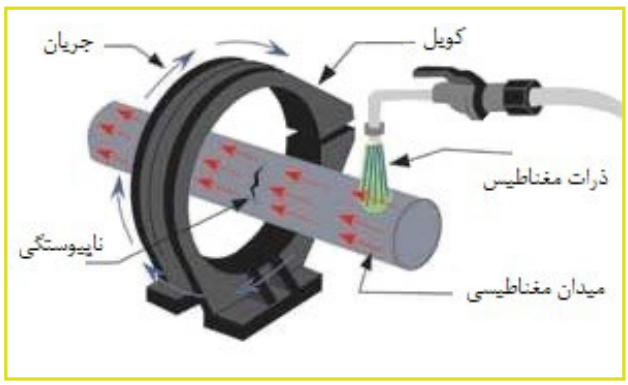
آزمون ذرات مغناطیسی و ترک‌یابی رزوه و نافی[12]

این آزمون غیرمخرب، برای شناسایی ناپیوستگی‌های سطحی یا زیرسطحی در مواد فرومغناطیس به‌کار برده می‌شود. این آزمون شامل بررسی قطعه‌ای پوشیده شده از یک پودر خشک مغناطیسی یا مایع حاوی سوسپانسیون پودری مغناطیسی است که در معرض یک میدان مغناطیسی (شکل (۷)) قرار داده می‌شود. ناپیوستگی‌های سطحی یا زیرسطحی سبب ایجاد انحراف در میدان مغناطیسی می‌شوند. این انحراف، مواد مغناطیسی را جذب کرده و بدین صورت، ناپیوستگی قابل مشاهده می‌شود. تجهیزات این آزمایش شامل یوک‌های مغناطیسی (شکل (۷))، کویل‌های ثابت (شکل (۸)) آهنرباهای دائمی، پراد، آزمون بلوک‌های کالیبراسیون و مواد مغناطیسی با کیفیت بالا مطابق با استانداردهای بین‌المللی و ملی قابل انجام است [۷].

این آزمون در سیلندرها به‌منظور ترک‌یابی رزوه و نافی کاربرد دارد که در استاندارد به‌صورت اجباری مطرح نشده‌است اما با روش مناسب دیگری نیز می‌توان رزوه را مورد بررسی قرار داد.



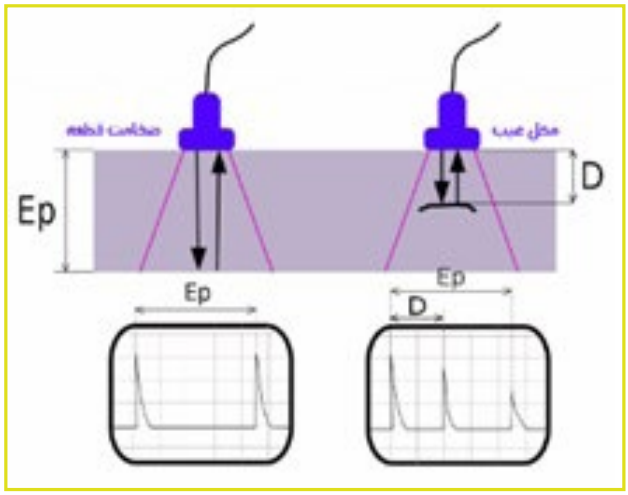
شکل (۷): چگونگی مغناطیس کردن قطعه با یوک [۸].



شکل (۸): انجام آزمون ذرات مغناطیس با کویل [۹].

آزمون فراصوت و ترک‌یابی مخازن[13]

این آزمون روشی غیرمخرب است که در آن، امواج صوت با فرکانس بالا (امواج آلتراسونیک) به داخل ماده وارد می‌شوند و عیوب داخلی را ردیابی می‌کنند. همان‌طور که در شکل (۹) نشان داده شده‌است، امواج صوتی همراه با مقداری کاهش انرژی در اثر پدیده تضعیف صوت، در داخل مواد حرکت می‌کنند و از مرزها منعکس می‌شوند. موج منعکس شده برای تشخیص وجود، محل عیب و ارزیابی‌های کمّی ردیابی و آنالیز می‌شود [۱۰]. تجهیزات این آزمایش شامل دستگاه آلتراسونیک قابل حمل و ایستگاهی به همراه آزمون بلوک‌های کالیبراسیون با انواع پراب‌های نرمال و زاویه‌ای مطابق با استانداردهای بین‌المللی و ملی قابل انجام است.



شکل (۹): چگونگی انجام آزمون فراصوت [۱۱].

در سیلندرها بعد از اتمام عملیات حرارتی نهایی و بعد از رسیدن آن به ضخامت نهایی، هر سیلندر باید مورد بررسی آلتراسونیک برای عیوب داخلی، خارجی و زیر سطح قرار گیرد [۴]. آزمون آلتراسونیک در سیلندرها مطابق با استاندارد BS 5045-7 انجام می‌شود. هدف از انجام این آزمون، حصول اطمینان از اندازه نقص (ترک) است که از حد مجاز مشخص شده در طراحی بیشتر نباشد. برای مخازن نوع CNG-1، CNG-2 و CNG-3 باید

بیشینه مقدار نقص موجود در هر نقطه‌ای از بدنه مخزن یا پوسته داخلی فولادی که در طول عمر مفید مشخص شده‌است، به اندازه بحرانی نمی‌رسد، مشخص شود. معیار رد مخزن با این الزام مشخص می‌شود که اندازه نقص مشخص شده با روش آزمون آلتراسونیک یا روش‌های مشابه، باید کوچکتر از بیشینه مقدار اندازه‌های مجاز باشد [۳].

برای پیدا کردن ترک، باید از سیستم پژواک پالس[۱۴] استفاده شود. همچنین باید از یکی از روش‌های بازبینی تماسی یا غوطه‌وری و یک روش اتصال مناسب که انتقال کافی انرژی آلتراسونیک بین پروب و سیلندر را تضمین می‌کند، استفاده کرد. بدین صورت که سیلندرهای مورد بازرسی و واحد جست‌وجوگر باید نسبت به یکدیگر دارای یک چرخش و یک حرکت انتقالی باشند و یک پیمایش مارپیچ استوانه را ایجاد کنند. گام مارپیچ باید کمتر از عرض تحت پوشش پروب باشد و باید طوری با عرض امواج موثر مرتبط باشد که در سرعت چرخشی و انتقالی به‌کار رفته در هنگام روش اجرایی کالیبراسیون پوشش را ۱۰۰ درصد تضمین کند. شکل (۱۰) مخزن مورد آزمون ترک‌یابی مخازن به روش فراصوت را نمایش می‌دهد.

شکل (۱۰): نمایی از دستگاه آزمون ترک‌یابی مخازن به روش فراصوت [۲].

برای ردیابی عرضی عیب، از یک روش پیمایشی دیگر هم می‌توان استفاده کرد که در آن پیمایش با حرکت نسبی پروب‌ها و قطعه کار، طولی است و حرکت جارویی چنان است که به‌صورت تقریبی حدود ۱۰ درصد همپوشانی جاروها بتوان از پوشش ۱۰۰ درصد اطمینان حاصل کرد. به‌منظور بازرسی عیوب طولی در دیواره سیلندر، باید انرژی آلتراسونیک در دو جهت محیطی و برای عیوب عرضی، در دو جهت طولی گسیل شود.

با استفاده از قطعه استاندارد مرجع، دستگاه باید طوری تنظیم شود که ردیابی واضح و قابل تشخیص از شکاف‌های سطح داخلی و خارجی ایجاد کند. دامنه شناسایی باید تا جای ممکن نزدیک به مقدار معادل آن باشد. سیلندرهایی که شاخص‌های نتایج آنها برابر یا بیشتر از شکاف‌های استاندارد است، باید برگشت زده شوند. این مقایسه باید بین شاخص‌های سیلندر و شاخص‌های حاصل از شکاف مرجع در سمت و سوی یکسان انجام شود؛ به‌عنوان مثال، عیب داخلی عرضی باید با شکاف مرجع داخلی عرضی مقایسه شود. دلیل عیب باید شناسایی و درصورت امکان، برطرف شود. پس از آن سیلندرها باید دوباره مورد بازرسی عیب‌یابی آلتراسونیک و اندازه‌گیری قرار گیرند [۴].

■ آزمون ضخامت‌سنجی با روش فراصوت[۱۵]

این آزمون، به‌منظور اندازه‌گیری ضخامت قطعات فلزی استفاده می‌شود. پراب دستگاه، امواج را به‌صورت یک پالس در سراسر قطعه ارسال می‌کند. پالس فرستاده شده از پایه به‌طرف ترنس دیوسر منعکس و به یک سیگنال الکتریکی با فرکانس بالا تبدیل می‌شود. موج پژواک داده شده برای تعیین ضخامت، اندازه‌گیری و آنالیز می‌شود. شکل (۱۱) چگونگی انجام ضخامت‌سنجی با دستگاه ضخامت‌سنج قابل حمل آلتراسونیک را نشان می‌دهد.

هر سیلندری که ضخامت دیواره‌اش از ضخامت تضمین شده دیواره کمتر باشد، باید مردود شود [۴].

شکل (۱۱): نمایی از دستگاه و چگونگی آزمون ضخامت‌سنجی به‌روش فراصوت [۱۲].

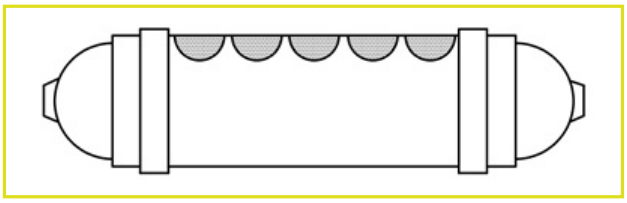
▣ آزمون‌های تخصصی مخازن خودرویی و صنعتی نوع ۳، ۴ و ۵.

آزمون‌هایی که در بخش‌های قبلی به آن اشاره کردیم در مورد این مخازن نیز کاربرد دارد و در این بخش به آزمون‌های تکمیلی مرتبط با مخازن خودرویی و صنعتی نوع دو، سه و چهار می‌پردازیم.

■ آزمون محیط اسیدی[۱۶]

این آزمون به‌منظور بررسی مقاومت لایه کامپوزیت در برابر شرایط حاد محیط اسیدی انجام می‌شود. همه پوشش‌های مورد استفاده در سیلندر باید به‌گونه‌ای باشند که فرآیند به‌کار گرفته شده در آنها اثر نامطلوبی روی خواص مکانیکی سیلندر نداشته و به‌گونه‌ای طراحی شده باشد که مانع بازرسی نشود. بدین منظور، برای بررسی کیفیت پوشش، از آزمون شرایط محیطی استفاده

می‌کنیم. برای انجام این آزمون، روی یک سیلندر تکمیل شده، ابتدا در حالی که فشار داخل سیلندر در ۲۶ مگاپاسکال نگه داشته شده‌است، باید مساحتی به قطر ۱۵۰ میلیمتر از سطح سیلندر را مطابق با شکل (۱۲)، به مدت ۱۰۰ ساعت در معرض محلول ۳۰ درصد اسید سولفوریک قرار داد. سپس باید سیلندر را مورد آزمون ترکیدن قرار داد که در این آزمون، فشار ترکیدن سیلندر باید بیش از ۸۵ درصد کمینه فشار طراحی ترکیدن باشد [۳].



شکل (۱۲): محل قرارگیری اسید روی مخازن [۳].

■ آزمون چرخه فشار (سیکلی) در دمای کم و بسیار بالا[۱۷]

سیلندرهای تکمیل شده با پوشش کامپوزیت خارجی باید مورد آزمون چرخه فشار قرار داده شوند. در مدت انجام این آزمون، سیلندرها نباید دچار گسیختگی، نشتی یا نخ نخ شدن الیاف شوند. ابتدا باید سیلندر را به مدت ۴۸ ساعت در شرایط فشار داخلی صفر، دمای ۶۵ درجه سلسیوس یا بیشتر و رطوبت نسبی ۹۵ درصد یا بیشتر قرار داد. سپس سیلندر را در دمای کمینه ۶۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی کمینه ۹۵ درصد، به اندازه ۵۰۰ برابر عمر مفید مشخص شده برحسب سال، مورد آزمون چرخه فشار بین ۲ تا ۲۶ مگاپاسکال قرار دهیم. در ادامه سیلندر را باید در شرایط فشار داخلی صفر و دمای محیط نگه داشت. پس از آن، سیلندر را باید در دمای منهای ۴۰ درجه سلسیوس یا کمتر، به اندازه ۵۰۰ برابر عمر مفید مشخص شده برحسب سال، مورد آزمون چرخه فشار بین ۲ تا ۲۶ مگاپاسکال قرار داد. در ادامه آزمون چرخه فشار در دمای زیاد، باید سیلندرها را به‌طور هیدرواستاتیک تا حد واماندگی و تا رسیدن فشار ترکیدن به دست‌کم ۸۵ درصد مقدار طراحی در معرض فشار قرار داد. در مورد سیلندرهای نوع ۴، پیش از انجام آزمون ترکیدن هیدرواستاتیک باید آزمون نشتی به عمل آید [۳].

■ آزمون خزش در دمای بالا[۱۸]

این آزمون باید روی کلیه مخازن نوع چهارم و مخازن نوع دوم و سومی که دمای گذار شیشه‌ای شدن رزین آنها کمتر از ۱۰۲ درجه سلسیوس است، انجام شود. یک مخزن تکمیل شده باید در مدت زمان حداقل ۲۰۰ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس در معرض فشار ۲۶۰ بار قرار گیرد. پس از این آزمون، مخزن باید الزامات آزمون فشار هیدرواستاتیک، آزمون نشتی و آزمون ترکیدن در معرض فشار هیدرواستاتیک را برآورده کند [۱۳].

■ آزمون تعیین رواداری ترک[۱۹]

این آزمون، به‌منظور بررسی و سنجش آن و در شرایط خاص [۳] و تنها برای مخازن نوع دوم و سوم و چهارم که دارای پوشش محافظ هستند، انجام می‌شود. بدین منظور شکاف‌هایی در جهت طولی روی دیواره مخزن ایجاد می‌شود که باید بزرگتر از حدود بازرسی چشمی تعیین شده توسط سازنده باشند. حداقل باید یک شکاف به طول ۲۵ میلیمتر و عمق ۱/۲۵ میلیمتر و یک شکاف دیگر به طول ۲۰۰ میلیمتر و عمق ۰/۷۵ میلیمتر در دیوار مخزن ایجاد شود. سپس آن را در دمای محیط در معرض چرخه فشار ۲۰ تا ۲۶۰ بار به تعداد ابتدا ۳۰۰۰ چرخه قرار می‌دهیم. مخزن در طی ۳۰۰۰ چرخه فشار اولیه نباید نشت کند یا گسیخته شود ولی در طی چرخه بعدی که به تعداد هزار برابر عمر طراحی شده آن است، می‌تواند براثر نشتی مردود شود. تمام مخازنی که با این روش مورد آزمایش قرار می‌گیرند، پس از اتمام آزمون باید به روش مناسبی اسقاط شوند [۱۳].

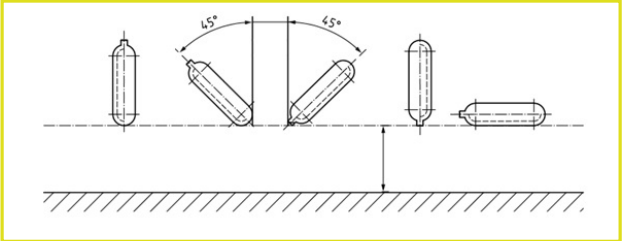
■ آزمون شکست و پارگی تسریعی[۲۰]

برای انجام این آزمون که فقط در مورد سیلندرهای نوع دو، سه و چهار انجام می‌گیرد، باید یک سیلندر بدون پوشش محافظ را در حالی که در آب ۶۵ درجه سلسیوس فرو برده شده‌است؛ به‌طور هیدرواستاتیک تا فشار ۲۶ مگاپاسکال در معرض فشار قرار داد. سیلندر باید در این دما و فشار به مدت ۱۰۰۰ ساعت باقی مانده و تا حد ترکیدن در معرض فشار قرار گیرد؛ با این تفاوت که فشار ترکیدن باید از ۸۵ درصد کمینه فشار طراحی ترکیدن بیشتر شود [۳].

■ آزمون آسیب ناشی از ضربه (سقوط)[۲۱]

برای انجام این آزمون، یک یا چند مخزن تولید شده بدون نصب شیر و فشار داخلی در دمای محیط مورد آزمون سقوط قرار می‌گیرند. سطحی که مخزن‌ها روی آن رها می‌شوند، باید یک سطح بتنی هموار و افقی باشد. همان‌طور که در شکل (۱۳) نشان داده شده‌است، یک مخزن باید به‌صورت افقی در وضعیتی رها شود که فاصله پایین‌ترین سطح مخزن تا سطح آزمون ۱/۸ متر باشد. مخزن دیگر باید به‌طور عمودی روی هر انتها و در ارتفاع کافی از سطح آزمون رها شود، به‌طوری که انرژی پتانسیل آن ۴۸۸ ژول باشد ولی در هیچ شرایطی فاصله انتهای پایین مخزن تا سطح آزمون نباید از ۱/۸ متر بیشتر باشد. یک مخزن دیگر باید با زاویه ۴۵ درجه روی قسمت عدسی به‌طوری رها شود که مرکز گرانش آن در ارتفاع ۱/۸ متر باشد. اما اگر فاصله پایین‌ترین نقطه مخزن از زمین از ۰/۶ متر کمتر شود، زاویه رها شدن مخزن باید به‌گونه‌ای تغییر کند تا حداقل فاصله ۰/۶ متر حفظ شود و فاصله مرکز گرانش مخزن از زمین ۱/۸ متر باشد. پس از انجام آزمون سقوط، مخزن باید بین ۲۰ بار و ۱/۳ فشار کاری مخزن در دمای محیط به تعداد هزار برابر عمر طراحی شده در معرض چرخه فشار قرار گیرد. این مخازن نباید در طول ۳۰۰۰ چرخه فشار اولیه دچار نشتی یا پارگی شوند اما در طول چرخه بعدی که به تعداد هزار برابر عمر طراحی شده

آن است، می‌تواند براثر نشتی مردود شوند [۱۳].



شکل (۱۳): تصویری از موقعیت مخازن در آزمون سقوط [۱۴].

■ آزمون رخنه‌پذیری گاز[۲۲]

برای انجام این آزمون که فقط روی سیلندرهای نوع ۴ انجام می‌شود، یک سیلندر تکمیل شده را باید با گاز طبیعی فشرده یا مخلوط نیتروژن و هلیوم (۹۰ درصد نیتروژن و ده درصد هلیوم) تا حد فشار کاری پر نموده و داخل محفظه‌ای با دمای محیط قرار داد. سپس سیلندر را باید از نظر نشتی برای مدت زمان کافی (به‌منظور پایدار شدن نرخ رخنه) مورد بررسی قرار داد. نرخ رخنه‌پذیری گاز طبیعی یا هلیوم به ازای یک لیتر گنجایش آبی سیلندر باید کمتر از ۰/۲۵ میلی‌لیتر بر ساعت باشد [۳].

■ آزمون گشتاور نافی[۲۳]

در آزمون گشتاور نافی، بدنه مخزن باید به‌طور کامل در برابر چرخش مهار شود تا بتواند گشتاوری معادل دو برابر گشتاور تعیین شده توسط سازنده که به نافی مخزن وارد می‌شود، تحمل نماید. گشتاور ابتدا باید به‌وسیله ترکمتر که در شکل (۱۴) نمایش داده شده‌است، در جهت بستن اتصال رزوه‌ای و سپس در جهت باز کردن آن و دوباره در جهت بستن اتصال اعمال می‌شود. پس از آن مخزن باید مورد آزمون نشتی قرار گیرد [۱۳].

در مخازن کامپوزیتی با قابلیت پر کردن مجدد گاز که مطابق با استاندارد ISO 1119 ساخته می‌شنوند، شیر باید ۱۵۰ درصد سفت‌تر از حداکثر گشتاور توصیه شده برای ماده لایه داخلی در استاندارد ISO 13341، بسته شود و عواملی نظیر نوع، جنس شیر، روش اجرای شیربندی و گشتاور اعمال شده، ثبت و پایش شوند. معیار پذیرش این است که گلویی و رزوه‌های سیلندر باید در محدوده رواداری‌های نقشه و ابزار اندازه‌گیری باقی بماند [۱۴]. شکل (۱۴) نمونه‌ای از یک ابزار اندازه‌گیری گشتاور را به نمایش در آورده است.

شکل (۱۴): ابزار اندازه گیری گشتاور (ترکمتر) [۱۵].

■ آزمون چرخه گاز طبیعی[۲۴]

برای انجام این آزمون، یک سیلندر نوع چهار تکمیل شده را باید با استفاده از گاز طبیعی فشرده به تعداد ۳۰۰ چرخه مورد آزمون چرخه فشاری که بین ۲ مگاپاسکال و فشار کاری است، قرار داد. مدت زمان هر چرخه که شامل یک بار پر و خالی کردن سیلندر است، نباید از یک ساعت بیشتر شود. سیلندر باید مورد آزمون نشتی قرار بگیرد. پس از اتمام چرخه گاز طبیعی، سیلندر را باید برش داده و محل تماس پوسته داخلی و نافی انتهایی سیلندر را از نظر وجود هرگونه نقص نظیر ترک، خستگی یا تخلیه بار الکترواستاتیکی مورد بازرسی قرار داد. پیش از انجام این آزمون، سیلندرها باید با الزامات آزمون‌های ترکیدن، چرخه فشار در دمای محیط، آزمون رخنه‌پذیری گاز و آزمون نشتی انطباق داشته باشند [۳].

▣ آزمون‌های عملکردی رنگ و پوشش[۲۵]

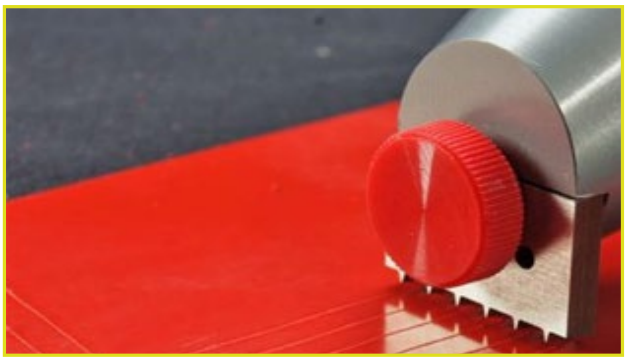
این آزمون‌ها به‌منظور تعیین کیفیت رنگ و پوشش برای شناسایی خواص آن انجام می‌شود تا از نظر کیفی رنگ و پوشش اعمالی مورد تایید قرار گیرد. بدین صورت که متناسب با شرایط کاربری هر قطعه، رنگ مناسب انتخاب شده و برای کنترل کیفیت آن، آزمایش‌هایی روی نمونه‌های رنگ انتخاب شده انجام می‌شود. همچنین درصورت مثبت بودن جواب آزمایش‌ها، می‌توان از رنگ انتخاب شده برای کاربرد مورد نظر بهره برد [۱۶]. پوشش سیلندر با استفاده از روش‌های زیر یا استانداردهای معادل، مورد آزمون قرار می‌گیرد:

■ آزمون تعیین مقاومت چسبندگی رنگ[۲۶]

این آزمون مخرب، برای تعیین میزان چسبندگی یک فیلم پوششی روی محصولات فلزی به‌کار می‌رود. برای اندازه‌گیری چسبندگی، از روش‌های مختلفی همچون روش متقاطع کراس کات استفاده می‌شود. تجهیزات انجام این آزمون دستگاه کراس کات شامل چاقوی برش، تیغه، ذره‌بین، چسب مخصوص و برس تمیزکننده است. در این روش بسته به ضخامت فیلم رنگ، دو مدل دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- **ضخامت تا ۵۰ میکرون:** دستگاه دارای ۱۱ تیغه با فاصله بین هر تیغه است؛
- **ضخامت تا ۱۲۵ میکرون:** دستگاه دارای ۶ تیغه با فاصله بین هر تیغه است.

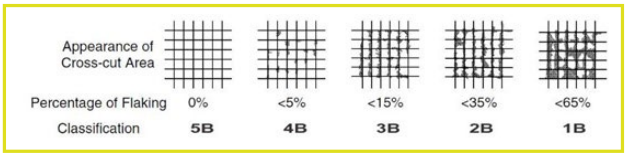
روش کار دستگاه به این صورت است که ابتدا، همانند شکل (۱۵) با استفاده از چاقوی برش‌ساز، یک برش متقاطع در سطح مخزن رنگ‌آمیزی شده ایجاد و سطح برش خورده را با استفاده از برس مخصوص تمیز می‌نماییم و محل تقاطع خط را با چسب مخصوص می‌پوشانیم. سپس چسب را با سرعت و زاویه ۱۸۰ درجه از سطح قطعه، جدا کرده و محل تقاطع خطوط را با ذره‌بین مشاهده می‌کنیم تا هیچ‌گونه کَندگی و جدا شدگی رنگ از سطح قطعه اتفاق نیفتاده باشد.



شکل (۱۵): چگونگی انجام آزمون چسبندگی با روش کراس کات [۱۷].

مطابق با شکل (۱۶) درجه چسبندگی با حرف (B) برای این روش در نظر گرفته شده‌است که به‌صورت زیر مقایسه می‌شود:

- **5B**: کمتر از ۵ درصد رنگ کنده شده‌است؛
- **4B**: کمتر از ۵ تا ۱۵ درصد رنگ کنده شده‌است؛
- **3B**: کمتر از ۳۵ تا ۶۵ درصد رنگ کنده شده‌است؛
- **1B**: کمتر از ۶۵ درصد رنگ کنده شده‌است [۱۶].



شکل (۱۶): چگونگی تعیین درجه چسبندگی [۱۸].

این آزمون مطابق با استانداردهای بین‌المللی BS EN ISO 2409 و ASTM D3359 قابل انجام است که در هر بهر از مخازن تولیدی، میزان چسبندگی پوشش، براساس استاندارد ASTM D3359 باید برابر 4B باشد [۳].

■ آزمون انعطاف‌پذیری[۲۸]

انعطاف‌پذیری، بیانگر ارتجاع‌پذیری و قدرت یک قطعه یا ماده است تا بتواند در مقابل ترک خوردگی در زمانی که در معرض فشارهای مکانیکی نظیر چروک خوردن پوشش و یا استفاده مکانیکی ناصحیح قطعه و هوازدگی قرار می‌گیرد، مقاومت نماید. انعطاف‌پذیری یک پوشش اعمال شده روی یک سازه، نه تنها بستگی به قابلیت گسترش یافتن آن دارد، بلکه به میزان چسبندگی بین پوشش و ضخامت پوشش آن نیز بستگی دارد. یک پوشش برای اینکه کارایی بهتری داشته باشد، باید از چقرمگی و انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار باشد.

این آزمون مطابق با استانداردهای ASTM D522 و ISO 6860 و ISO 1519 قابل انجام است [۱۲]، که در مخازن باید براساس استاندارد ASTM D522 به روش B و با استفاده از یک میله به قطر ۱۲/۷ میلیمتر(۰/۵ اینچ) انجام شود. این آزمون در دمای منهای ۲۰ درجه سلسیوس روی نمونه‌هایی با ضخامت پوشش مشخص شده مورد بررسی، انجام می‌شود. در این آزمون نباید هیچگونه ترک قابل مشاهده با چشم وجود داشته باشد [۳].

■ آزمون تعیین مقاومت در برابر ضربه[۲۹]

به‌طور کلی، این آزمون برای تعیین میزان چقرمگی پوشش‌ها به‌کار می‌رود و بسیار سخت‌تر از شرایط عملیاتی واقعی هستند. به‌دلیل این که آزمون‌ها به‌طور معمول، روی پوشش‌های تازه اعمال می‌شوند و از آنجایی که پوشش در طول زمان و بر اثر تبخیر نرم کننده‌های آزاد و همچنین تغییرات شبکه‌ای شدن مقاومت خود را از دست می‌دهد، شرایط آزمون باید دشوارتر از حالت واقعی باشد تا بتوان سرویس‌دهی پوشش در مدت زمان‌های طولانی را پیش‌بینی نماید [۱۶].

این آزمون برای مخازن، باید براساس استاندارد ASTM D2794 انجام شود. در این آزمون، پوشش باید ضربه رو به جلو برابر با ۱۸ ژول را در دمای اتاق با موفقیت پشت سر بگذارد [۳]. در شکل (۱۷) دستگاه آزمون ضربه رنگ و پوشش قابل مشاهده است.

شکل (۱۷): دستگاه آزمون ضربه رنگ و پوشش [۱۹].

■ آزمون مقاومت در برابر مواد شیمیایی[۳۰]

مقاومت در برابر مواد شیمیایی متناسب با شرایط استفاده محصول نهایی است و باید پیش از استفاده در نظر گرفته شود. تخریب شیمیایی می‌تواند شامل نرم شدن، باد کردن، از دست دادن چسبندگی و کاهش براقیت و غیره باشد. عامل اساسی در بررسی کیفیت یک پوشش، توانایی یک پوشش در مقابله با تخریب شیمیایی است [۱۶].

این آزمون برای مخازن در معرض فشار بدون درز، باید براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۱۹۱۸۵ انجام شود. آزمون باید با استفاده از روش لکه روباز[۳۱] انجام شود. این آزمون بدین صورت است که پوشش باید به مدت ۱۰۰ ساعت در معرض محلول ۳۰ درصد اسید سولفوریک و به مدت ۲۴ ساعت در معرض پلی آلکالن گلیکول (مانند روغن ترمز) قرار گیرد. در پوشش نباید هیچگونه نشانه‌ای از بلند شدن، تاول زدگی یا نرم شدن مشاهده شود. همچنین میزان چسبندگی پوشش براساس استاندارد ASTM D3359 باید برابر با 3B و همچنین بیشینه افت مجاز شفافیت پوشش باید ۲۰ درصد باشد [۳].

■ آزمون مه نمکی[۳۲]

اساس کار در اینجا، خوردگی تسریع شده با نمک اسپری شده مصنوعی از ترکیبات معین در دما و فشار دقیق است. میزان خوردگی با مقایسه مقیاس‌های استاندارد، ارزیابی می‌شود. در این آزمایش طبق استاندارد EN ISO 7235، سه ورق رنگ‌آمیزی شده با رنگ پودری که پیش از این، روی آنها یک خراش با عرض یک میلیمتر و به طول ۱۰ سانتیمتر ایجاد شده‌است را درون محفظه هوای گرم و مرطوب قرار می‌دهند و سپس محلول غلیظ آب نمک روی آنها پاشیده می‌شود. آب مقطر به‌صورت محلول نمکی ۵ درصد با رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ درصد و دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و هوای خالص با فشار ۰/۱ مگاپاسکال و با دقت ۲۰ درصد به داخل اسپری می‌شود [۱۶]. شکل (۱۸) چگونگی قرارگیری مخزن در داخل دستگاه را نشان می‌دهد.

شکل (۱۸): نمایی از دستگاه آزمون مه نمکی [۶].

در این آزمون، مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۳۱۵، نگهداری و در نتیجه گود افتادگی در محل نشانه حک شده روی سیلندر نباید از سه میلیمتر بیشتر شود و همچنین نباید هیچگونه اثری از تاول‌زدگی در پوشش مشاهده شود. همچنین میزان چسبندگی پوشش بر اساس استاندارد ASTM D3359 باید برابر با 3B باشد [۳].

■ آزمون ضخامت‌سنجی پوشش[۳۳]

در این آزمایش طبق استاندارد ISO 2808، ضخامت لایه رنگ با دستگاه ضخامت‌سنج اندازه‌گیری می‌شود (شکل (۱۹)). در این روش، ضخامت در پنج نقطه از پیش تعریف شده روی سطح حداقل یک سانتی‌متر مربع، سه مرتبه سنجیده می‌شود. میانگین ارقام به‌دست آمده در هر نقطه، به‌عنوان نتیجه آزمایش در گزارش آزمایشگاه ثبت می‌شود. هیچ یک از این ارقام نباید کمتر از ۸۰ درصد رقم مورد تایید باشد، در غیر این صورت، آزمایش مردود اعلام می‌شود [۱۶]. در مخازن نوع یک، در هر بهر تولیدی، باید به‌صورت صد درصدی این آزمون غیر مخرب انجام شود [۳].

شکل (۱۹): چگونگی انجام آزمون ضخامت‌سنجی رنگ به روش فراصوت [۲۰].

■ آزمون مقاومت در برابر کنده شدن (ورقه ورقه شدن)[۳۴]

پوشش در دمای اتاق باید براساس استاندارد ASTM D3170 انجام شود. در این آزمون، میزان مقاومت پوشش در برابر کنده شدن باید برابر با 7A یا بهتر باشد. همچنین هیچ قسمتی از زیر لایه پوشش نباید نمایان شود [۳].

▣ عدم انطباق با الزامات آزمون

درصورت عدم انطباق با الزامات آزمون، باید آزمون یا عملیات حرارتی دوباره و یا باید در شرایط زیر، دوباره انجام شود:

- درصورت بدیهی بودن وقوع اشتباه یا خطای اندازه‌گیری در انجام یک آزمون، آزمون دیگری باید انجام شود. اگر نتایج این آزمون مجدد، رضایت‌بخش باشد باید از نتایج آزمون اولیه چشم‌پوشی شود.
- چنانچه آزمون، با روش مناسبی انجام شده باشد، علت عدم انطباق آزمون باید مشخص و دوباره آزمون انجام شود. اگر تصور شود که این عدم انطباق ناشی از عملیات حرارتی به‌کار گرفته شده‌است، آنگاه سازنده باید روی تمام سیلندرهای بهر عملیات حرارتی دیگری را انجام دهد. اگر عدم انطباق، ناشی از عملیات حرارتی به‌کار گرفته شده نباشد، تمام سیلندرهای معیوب باید از رده خارج و یا با استفاده از یک روش مورد تایید، ترمیم شوند. سپس سیلندرهای از رده خارج نشده به‌عنوان یک بهر جدید در نظر گرفته می‌شوند. در هر دو حالت ذکر شده، بهر جدید باید مورد آزمون مجدد قرار گیرد. تمام آزمون‌های نمونه اولیه یا بهر که برای سنجش پذیرش بهر جدید الزامی هستند باید دوباره انجام و اگر نتایج یک یا چند آزمون حتی در حد جزئی رضایت‌بخش نباشد، باید تمام سیلندرهای بهر مردود تلقی شوند [۳ و ۴].

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت موضوع کیفیت، ایمنی و سلامت کاربران و استفاده کنندگان از مخازن در معرض فشار بدون درز، ارزیابی‌های گوناگونی برای صحه‌گذاری کیفی محصولات در کارخانه تولیدی این نوع مخازن صورت می‌گیرد. این بررسی‌ها به‌صورت اجباری و با نظارت سازمان ملی استاندارد و در مراحل تأیید طراحی، تأیید نوع، حین تولید، پس از تولید و پس از استفاده انجام می‌شوند. تمام مواد ورودی مورد نیاز نیز کنترل می‌شوند تا با استانداردهای مربوط مطابقت داشته باشند.

پس از دریافت تأییدیه‌های اولیه و تولید مخازن، محصولاتی که به‌صورت متوالی با فرآیند ساخت مشابه و در شرایط یکسانی تولید می‌شوند، به‌عنوان یک بهر تولیدی در نظر گرفته می‌شوند. برخی آزمون‌ها به‌صورت کامل روی همه مخازن و برخی آزمون‌ها نیز به‌صورت نمونه‌برداری از هر بهر انجام می‌شود. این آزمون‌ها شامل آزمون‌های خواص مواد همچون تعیین استحکام، خواص مکانیکی و شیمیایی فلزات و مواد غیر فلزی، آزمون‌های عمومی و عملکردی روی مخازن فلزی و کامپوزیتی بدون درز مانند آزمون‌های چرخه فشار در دمای محیط، نشت‌یابی، قرارگیری در معرض آتش، نفوذ گلوله، فشار هیدرواستاتیک و سایر آزمون‌های عملکردی، آزمون‌های تخصصی مخازن خودرویی و صنعتی نوع ۲، ۳ و ۴ همچون آزمون‌های محیط اسیدی، چرخه فشار در دمای کم و بسیار بالا، خزش، تعیین رواداری ترک، شکست و پارگی تسریعی و غیره انجام می‌شود. آزمون‌های غیر مخربی همچون آزمون‌های ذرات مغناطیس، ترک‌یابی و ضخامت‌سنجی به روش آلتراسونیک و نیز آزمون‌های چسبندگی، انعطاف‌پذیری، ضخامت‌سنجی و سایر آزمون‌های پوشش و رنگ نیز از دیگر آزمون‌هایی است که روی این دسته از مخازن انجام می‌شود.

پس از ارزیابی صورت گرفته به‌وسیله تجهیزات اندازه‌گیری استاندارد، درصورت عدم انطباق نتایج آزمون با الزامات تعیین شده، درصورت وقوع اشتباه یا وجود خطای اندازه‌گیری در انجام آن، آزمون دیگری باید انجام شود. اگر تصور شود که این عدم انطباق ناشی از عملیات حرارتی به‌کار گرفته شده‌است؛ آنگاه سازنده باید روی تمام سیلندرهای بهر عملیات حرارتی دیگری را انجام دهد. اگر عدم انطباق، ناشی از عملیات حرارتی به‌کار گرفته شده نباشد، تمام سیلندرهای معیوب باید از رده خارج و یا با استفاده از یک روش مورد تایید، ترمیم شوند.

بنابراین، براساس مطالب ارائه شده و با توجه به انجام تعداد بالای آزمون‌های سختگیرانه و تأیید آن مطابق با استانداردهای مرجع در یک آزمایشگاه دارای صلاحیت و همچنین کنترل مداوم کیفی، قابلیت اطمینان و سطح بالای ایمنی این مخازن تضمین می‌شود.

پی‌نوشت

۱. کارشناسی ارشد مدیریت بازرگانی و مهندسی متالورژی، مدیر آزمایشگاه توسعه اندیشان اطلس (توانا)

2. Ambient temperature pressure cycling
3. Leak Test
4. Bonfire Test
5. Hydrostatic pressure burst Test
6. Hydrostatic Pressure Test
7. Volumetric expansion Test
8. Proof pressure Test
9. Penetration Test
10. Leak before break (LBB) Test
11. Non Destractive Test (NDT)
12. Magnetic Particle Testing (MT)
13. Ultrasonic Testing (UT)
14. Pulls echo
15. UT Thickness measurement
16. Environmental Test
17. Extreme temperature pressure cycling Test
18. High temperature creep Test
19. Composite flaw tolerance Test
20. Accelerated stress rupture Test
21. Impact damage Test (Drop Test)
22. Permeation Test
23. Boss torque Test
24. Natural gas cycling Test
25. Coating & Painting Performance Tests
26. Adhesion Test
27. Cross Cutter
28. Flexibility Test
29. Impact Resistance Test
30. Chemical Resistance Test
31. Lifting
32. Salt Spray Test
33. Coating Thickness measurement
34. Resistance to Chipping

مراجع

[۱] دیتر، جورج ای. (۱۹۸۸). متالورژی مکانیکی، ترجمه شهره شهیدی، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

[2] tavana-grp.com

[3] ECE R110, (2014), High pressure cylinders for the onboard storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles.

[4] ISO 9809, (2019), Gas cylinders - Design, construction and Testing of refillable seamless steel gas cylinders and tubes.

[5] bam.de

[6] faber-italy.com

[۷] نایار، آلوک. (۱۳۹۹). راهنمای تست مواد - مکانیکی و متالورژیکی، مترجم امیر خاکزاد، چاپ چهارم، انتشارات طراح، تهران.

[8] cruxweld.com

[9] infobrother.com

[10] سایت ایران مواد: www.iran-mavad.com

[11] rdworldonline.com

[12] leebtest.com

[13] BS EN ISO 11439, (2013), Gas cylinders - High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles.

[14] ISO 11119, (2020), Gas cylinders - Design, construction and testing of refillable composite gas cylinders and tubes.

[15] boxousa.com

[۱۶] رجب‌زاده، حجت و چنگیزیان، سینا. (۱۳۹۷). مبانی علمی و عملی رنگ‌های پودری الکترواستاتیک، چاپ اول، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران.

[17] industrialphysics.com

[18] saidaglass.com

[19] industrialphysics.com

[20] metertestlab.co.uk

No.41 ■ Spring 2023 ■ Issue 1 ■ Volume 11
Iranian Journal of Laboratory Knowledge

The Role of the Laboratory in the Quality Control of Seamless Gas Cylinders.

Author
Amir Edrisi
Edrisi.amir@gmail.com
Msc Marketing and Metallurgical Engineering, TAVANA Laboratory Manager.

Part 2

Abstract

The purpose of this article is to explain the role of the laboratory and standard tests in the quality control of seamless cylinders. First, in this part of the article, general and functional tests of seamless cylinders including Ambient temperature pressure cycling, Leak Test, Bonfire Test, Penetration Test, Hydrostatic Pressure Test and other functional tests were discussed and then non-destructive tests such as magnetic particle tests, crack detection and thickness measurement by ultrasonic Test method were investigated.

In the following, the specialized tests of type II, III and IV automotive and industrial cylinders, including acid environment tests, Extreme temperature pressure cycling Test, High temperature creep Test, Composite flaw tolerance Test, Accelerated stress rupture Test and others Tests were stated and at the end, the tests of adhesion, flexibility, Coating Thickness measurement and other tests of the protective coating of the cylinders were investigated.

Based on the presented materials, regard to the great number of selective Tests and approval procedure that should meet the standards in a Accredited laboratory, as well as continuously quality controls, the reliability and high level of safety of these cylinders are guaranteed.

Keywords

Laboratory, Seamless Gas Cylinders, Compressed Catural Gas (CNG), Material tests, Mechanical properties tests, Destructive test, Non-destructive tests.

Iran Nanotechnology Laboratory Network

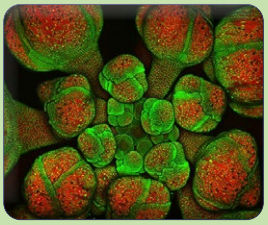
Iranian Journal of laboratory Knowledge

ISSN 2538-3450

Volume 11 ▪ Issue 1 ▪ Spring 2023 ▪ No.41

Time-of-Flight Mass Spectrometry

Arsenic determination in rice by hydride generation atomic absorption method



Laser Scanning Confocal Microscopy (Part 1)

Investigating determination of aromatic, olefinic and unsaturated components in different kinds of fuel by gas chromatography with capillary 100m column and high resolution

The Role of the Laboratory in the Quality Control of Seamless Gas Cylinders. (Part 2)

An Overview of Grease Water Resistance

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir