

Volatile Corrosion Inhibitors Polymer Films

Yaser Amani*, Abbas Mohammadi, and Hosein Raofi Rad

Besat Company, Yas Street, Shokohieh Town, Qom, Iran

Received: 26 October 2017, Accepted: 10 March 2018

Abstract

Volatile corrosion inhibitor (VCI) is a compound or a mixture that has the ability to vaporize at normal temperature and to condense on a metallic surface in order to prevent its corrosion. In this work, polymer films containing volatile corrosion inhibitors have been investigated. Polymer films containing corrosion inhibitors have proved to be economical and reliable means of anticorrosion protection of metals. In order to be used effectively, the volatile corrosion inhibitors must be compatible with the metals to be protected and the environment, economically cheap operation, easily applied and must have greatest desirable effect in protecting the metallic surfaces from corrosion. Accordingly, corrosion inhibitors and their anticorrosion mechanism are introduced and corrosion inhibitor films are classified by different criteria. Mixing of corrosion inhibitor with the polymer base is considered to be the most important operation that governs anticorrosion properties of the film material. The choice of method for introduction of corrosion inhibitor is predetermined by the corrosion inhibitor properties, volatility, thermal resistance and compatibility with the polymer base. Therefore, methods of combining corrosion inhibitors with polymer films by film blowing extrusion were introduced. Also, methods of packaging of protective films, quality parameters and requirements are evaluated. The advantage of these vapor phase corrosion inhibitors is that the vaporized molecules can reach hard-to-reach sites.

Key Words

volatile corrosion inhibitor,
corrosion,
polymer film,
packaging,
film blowing

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: yaser.amani@gmail.com

بسیار

فصلنامه علمی-ترویجی

سال هشتم، شماره ۲

صفحه ۳۹-۲۹، ۱۳۹۷

ISSN: 2252-0449

فیلم‌های پلیمری دارای بازدارنده خوردگی فرار

یاسر امانی*، عباس محمدی، حسین رئوفی‌راد

قم، شهرک شکوهیه، خیابان یاس، شرکت بعثت

دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۴، پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹

بازدارنده‌های فاز بخار ترکیباتی هستند که در دمای معمولی به حالت گاز درمی‌آیند، لایه‌ای روی سطح فلز تشکیل می‌دهند و فلز را از خوردگی محافظت می‌کنند. در این مقاله، استفاده از فیلم‌های پلیمری دارای بازدارنده‌های خوردگی فاز بخار در محافظت تجهیزات از خوردگی بررسی شده است. این فیلم‌ها از نظر اقتصادی و کیفیت، عملکرد قابل قبولی را در محافظت فلزات از خوردگی دارند. برای بازدهی بیشتر، بازدارنده مصرفی باید با فلز و محیط خورنده تطابق داشته و از نظر اقتصادی، آسانی فراوری و محافظت خوردگی نیز عملکرد مطلوبی داشته باشد. بنابراین، ابتدا مواد بازدارنده و سازوکار بازدارندگی آن‌ها معرفی و این فیلم‌ها از جهات مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. نحوه ترکیب بازدارنده با فیلم پلیمری از مهم‌ترین مسائل اثرگذار بر خواص نهایی فیلم بازدارنده است. همچنین، روش اختلاط با توجه به خواص بازدارنده، مقدار فراریت، پایداری گرمایی و مقدار سازگاری آن با ماتریس پلیمری تعیین می‌شود. بدین سبب، روش‌های اختلاط مواد بازدارنده با فیلم پلیمری با فرایند اکستروژن دمش فیلم بیان شده است. در ادامه، فنون بسته‌بندی تجهیزات با این فیلم‌ها، استانداردها و روش‌های کنترل کیفی نیز ارائه شده‌اند. بزرگ‌ترین مزیت بازدارنده‌های فاز بخار قابلیت محافظت از خوردگی کوچک‌ترین منفذها و حفره‌های موجود در ساختار تجهیزات است.

چکیده



یاسر امانی



عباس محمدی



حسین رئوفی‌راد

واژگان کلیدی

بازدارنده خوردگی فاز بخار،

خوردگی،

فیلم پلیمری،

بسته‌بندی،

دمش فیلم

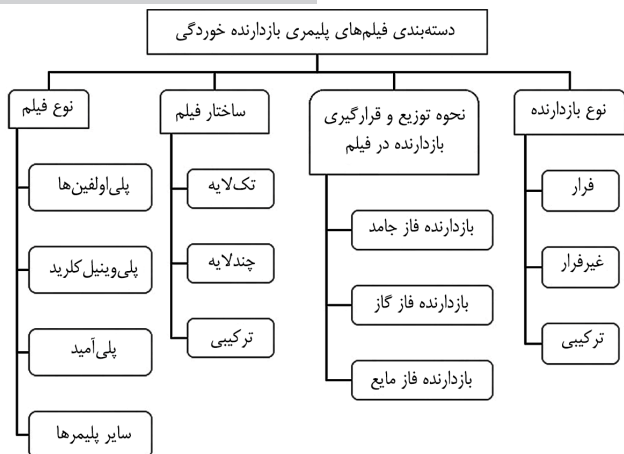
مقدمه

خوردگی و هزینه‌های سنگین ناشی از آن در صنایع همیشه مورد توجه بوده است. بنابراین، از دیرباز روش‌های مقابله با خوردگی از چالش‌های اساسی متخصصان به‌شمار آمده و از روش‌های گوناگون به‌منظور بازدارندگی خوردگی تجهیزات استفاده شده است. از طرفی، تمایل به تولید تجهیزات سبک‌تر و کوچک‌تر باعث شده است تا برخی از تجهیزات جدید دارای هندسه‌های پیچیده‌تر و در نتیجه محفظه‌ها، شکاف‌ها و شیارهای بسیار ریز باشند. خوردگی در این مکان‌ها می‌تواند باعث اختلال در کارکرد تجهیزات شود. بدین لحاظ، استفاده از بازدارنده‌های خوردگی فاز بخار (volatile corrosion inhibitors, VCI) به‌دلیل داربودن ویژگی‌های خاص و نفوذپذیری زیاد به این منافذ برای کنترل خوردگی تجهیزات، هنگام نقل‌وانتقال، انبارداری و ذخیره‌سازی تجهیزات در حال گسترش است [۱،۲].

بازدارنده‌های فاز بخار به موادی گفته می‌شود که در دمای محیط تبخیر می‌شود، پس از افزایش غلظت آن در محیط بسته، روی سطح تجهیزات قرار می‌گیرد و با تشکیل لایه نازکی آن را از خوردگی محافظت می‌کند [۵-۱]. این بازدارنده‌ها کاربردهای زیادی دارند و به‌صورت پودر، مایع، اسفنج، کاغذهای آغشته، فیلم پلیمری، قرص، گسیلنده (emitter) و غیره موجود هستند [۴،۵]. از این میان، فیلم‌های پلیمری دارای مواد بازدارنده خوردگی با توجه به ویژگی‌های منحصر به‌فرد، توجه شایانی را جلب کرده‌اند. این فیلم‌ها ضمن سدگری در برابر رطوبت، دارای مزیت‌هایی چون مواد مصرفی کم، قابلیت‌های تولید و ماشین‌کردن بسیار هستند که برخلاف پوشش‌های موقت محافظ خوردگی (مانند گریس)، نیازی به زدودن مجدد برای استفاده از تجهیزات ندارند، چرا که لایه بسیار نازکی، عمل بازدارندگی خوردگی را انجام می‌دهد. همچنین، آماده‌سازی زیادی پیش از فرایند نصب و استفاده لازم نبوده و اجزاء، قطعات و وسایل تحت حفاظت همواره آماده استفاده هستند. خارج کردن تجهیزات و قطعات از حالت ذخیره‌شده نیز زمان‌بر نیست [۶]. در ضمن، از این مواد محافظ می‌توان برای وسایل ریز الکترونیکی تا تجهیزات بزرگ استفاده کرد و قابلیت محافظت در بازه‌های زمانی مختلف بنا به نیاز از چند ماه تا چند سال را دارا هستند [۴]. با توجه به گسترش روزافزون فیلم‌های پلیمری دارای بازدارنده‌های فاز بخار در صنایع بسته‌بندی، در این مقاله به بررسی بیشتر این فیلم‌ها پرداخته شده است.

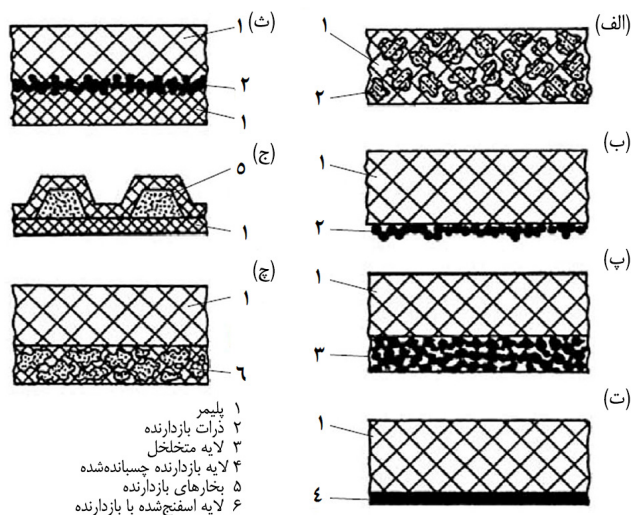
طبقه‌بندی فیلم‌های پلیمری دارای بازدارنده خوردگی

این فیلم‌ها را می‌توان با چهار روش طبقه‌بندی کرد (شکل ۱). اولین

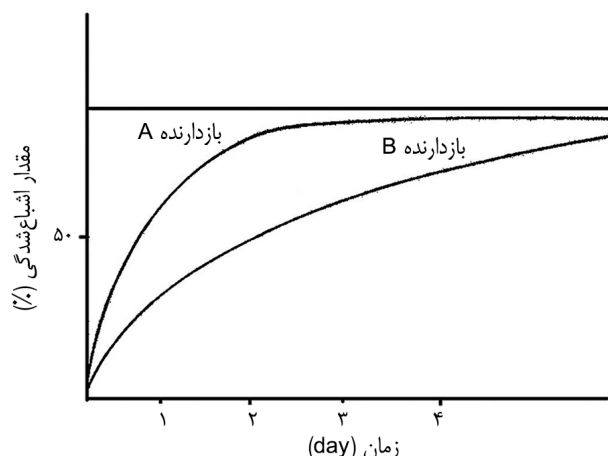


شکل ۱- طبقه‌بندی فیلم‌های پلیمری بازدارنده خوردگی [۶].

طبقه‌بندی، بر مبنای نوع بستر پلیمر است. پلی‌اتیلن‌ها رایج‌ترین پلیمرهای استفاده‌شده برای این منظور هستند [۶]. روش دوم، طبقه‌بندی بر اساس ساختار فیلم است که می‌تواند به‌شکل تک‌لایه، چندلایه یا ترکیبی باشد. روش سوم، طبقه‌بندی بر اساس نوع بازدارنده است که می‌تواند غیرفرار، فرار یا ترکیبی از هر دو باشد. نوع غیرفرار معمولاً فیلم تک‌لایه‌ای است که از روغن بازدارنده مایع، غنی شده است. این نوع فیلم نیاز به درزگیری گرمایی ندارد. بازدارنده با گذشت زمان از فیلم به سطح دستگاه نفوذ کرده و آن



شکل ۲- نحوه قرارگیری بازدارنده در فیلم پلیمری: (الف) تک‌لایه که ذرات جامد بازدارنده درون آن توزیع شده‌اند، (ب) با لایه‌ای از ذرات جامد بازدارنده چسبیده‌شده به سطح، (پ) با لایه متخلخل تلقیح‌شده با مایع بازدارنده، (ت) با لایه‌ای از مایع بازدارنده چسبیده به آن، (ث) لایه‌ای از مایع بازدارنده بین دو لایه فیلم، (ج) بازدارنده گازی حبس‌شده بین دو لایه فیلم و (چ) با لایه اسفنج‌شده به‌وسیله گاز بازدارنده [۶].



شکل ۴- مقایسه زمان رسیدن به تعادل دو ماده بازدارنده در دمای معمولی با فشار بخار متفاوت 0.1 mm Hg برای بازدارنده A و $10^{-5} \times 0.4 \text{ mm Hg}$ برای بازدارنده B [۲].

لایه محافظ ایجادشده از خوردگی محافظت می‌کند. این سازوکار در شکل ۳ نشان داده شده است [۱-۳]. گروه عاملی R_1 که به هسته R_0 متصل شده است، وظیفه جذب بازدارنده روی سطح را برعهده دارد. R_2 به لایه ایجادشده ضخامت داده و نفوذپذیری را سخت‌تر می‌کند. این سازوکار ایجاب می‌کند که ماده بازدارنده دارای فشار بخار بهینه باشد. بدین صورت که نباید در دمای معمولی، فشار بخار خیلی کمی داشته باشد، چرا که لایه محافظ به کندی تشکیل می‌شود و ممکن است قطعه مورد حفاظت پیش از اشباع محیط از ماده بخار بازدارنده، دچار خوردگی شود. در ضمن، نباید فشار بازدارنده بخار خیلی زیاد باشد، چرا که در صورت عدم درزبندی بسته‌بندی، با وجود اینکه محیط محافظت، سریع اشباع می‌شود، اما مقدار مصرف آن زیاد شده و مدت زمان محافظت کوتاه می‌شود [۱، ۸] (شکل ۴).

تولید فیلم‌های پلیمری دارای بازدارنده

گرچه می‌توان از بیشتر روش‌های تولید فیلم پلیمری بدین منظور بهره گرفت، اما اکستروژن دمش فیلم به‌علت ویژگی‌های منحصر به‌فرد، معمول‌ترین روش تولید فیلم‌های حاوی بازدارنده است [۶].

برخی از این ویژگی‌ها عبارت است از:

- قابلیت تولید شیلنگ در یک مرحله،
- قابلیت تنظیم پهنا و ضخامت فیلم از راه کنترل حجم هوا در حباب، خروجی دستگاه اکسترودر و سرعت کشش فیلم،
- قابلیت جهت‌گیری دوگانه،
- قابلیت تولید فیلم‌های چندلایه هم‌زمان و

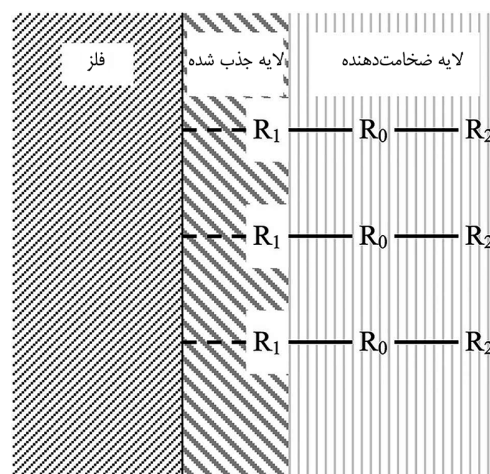
را از خوردگی محافظت می‌کند. این در حالی است که نوع فرار بیشترین استفاده را در صنعت دارد [۶]. روش دیگر طبقه‌بندی، نحوه قرارگیری و توزیع بازدارنده در بستر پلیمری است (شکل ۲).

مواد بازدارنده فاز بخار در فیلم‌های پلیمری

از مهم‌ترین عوامل در مقدار کارایی این فیلم‌ها در محافظت از خوردگی، انتخاب صحیح نوع بازدارنده است. این مواد باید با توجه به نوع فلز نهایی مورد محافظت و همچنین محیط خورنده انتخاب شوند. بنابراین، در انتخاب نوع بازدارنده باید دقت شود. چرا که با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، استفاده نادرست از بازدارنده حتی می‌تواند فرایند خوردگی را تسریع کند. در برخی موارد که محصول مدنظر از چند فلز تشکیل شده است، برای محافظت از خوردگی از ترکیباتی استفاده می‌شود که قابلیت محافظت از چند فلز (multi metal protection) را به‌طور هم‌زمان دارند. بازهای نیتروژن‌دار (نظیر آمین‌های مختلف و بازهای آمونیم چهارظرفیتی)، نمک بازهای نیتروژن‌دار و برخی اسیدهای آلی (مانند مونو و دی‌کربوکسیلیک اسیدها و فنول‌ها) و اسیدهای غیرآلی (مثل نیتریک، کربونیک، کرومیک، مولیبدنیک اسید)، ترکیبات نیترو ترکیبات نیترو فنول و نیتروآلیفاتیک)، استر اسیدهای آلی و معدنی (مثل کربوکسیلیک اسیدها، کرومیک اسید و فسفریک اسید)، ترکیبات نیتروژن‌دار ناجور حلقه (مانند تری‌آزول‌ها، ایمیدازول‌ها و تیوازول‌ها) از جمله ترکیبات بازدارنده فاز بخار هستند [۳-۷].

سازوکار بازدارندگی

با توجه به تعریف، بازدارنده فاز بخار باید ماده فراری باشد که قابلیت تشکیل اتصال به‌نسبت پایدار را روی سطح فلز داشته باشد. در نتیجه،

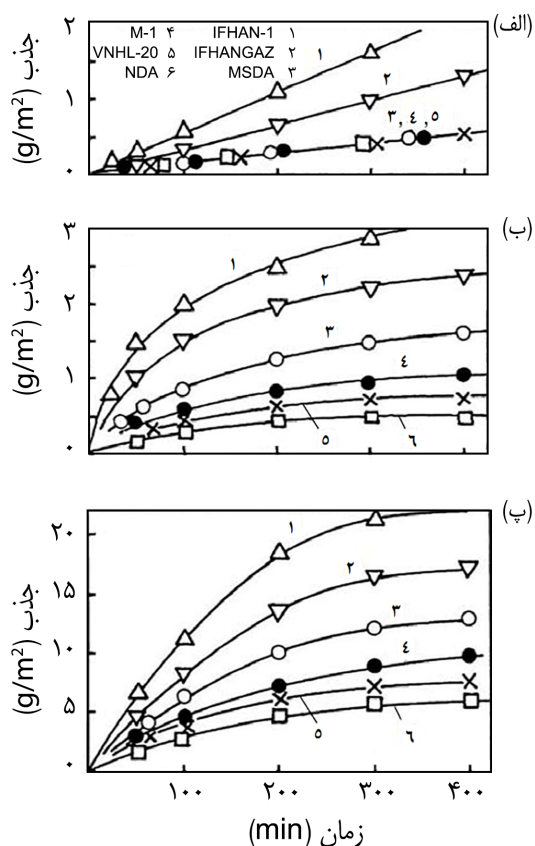


شکل ۳- سازوکار حفاظت از خوردگی بازدارنده‌های فاز بخار [۱].

جدول ۱- جذب بخارهای بازدارنده به وسیله فیلم‌های دارای نرم‌کننده [۶].

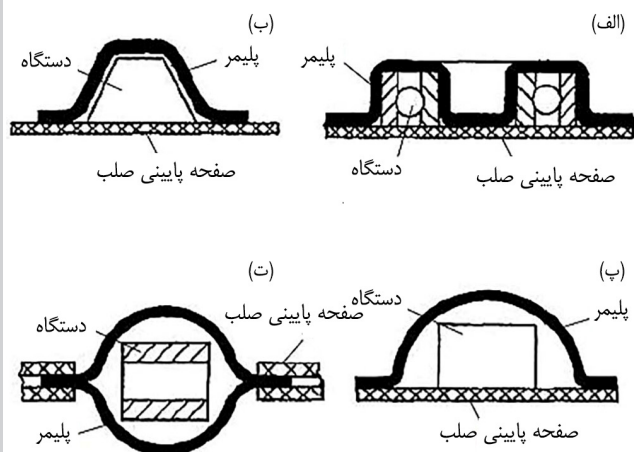
نام‌های تجاری بازدارنده‌های فاز بخار					درصد وزنی اجزای فیلم	
NDA	VNHL-20	MSDA	IFHANGAZ	IFHAN-1	روغن معدنی	پلی اتیلن
—	—	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۴۲	—	۱۰۰
۱/۱۴	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۵۷	۰/۷۱	۵	۹۵
۰/۳۸	۰/۵۷	۰/۷۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱۰	۹۰
۰/۸۵	۰/۸۵	۱/۱۳	۱/۴۲	۱/۸۴	۱۵	۸۵
۰/۹۹	۱/۲۷	۱/۲۷	۱/۷۰	۲/۵۵	۲۰	۸۰
۱/۲۷	۱/۶۹	۱/۹۸	۲/۵۵	۲/۸۳	۲۵	۷۵
۱/۲۸	۲/۲۷	۲/۸۳	۳/۱۲	۳/۴۰	۴۵	۶۰

شود. در این روش، تیوب پس از تولید در تماس با بازدارنده مایع قرار می‌گیرد (شکل ۵-ب). این فیلم‌ها ساختاری شبیه به فیلم‌های نشان‌داده شده در شکل ۶-ب دارند. لایه بدون حفره، به‌عنوان لایه کم‌نفوذ عمل می‌کند. لایه متخلخل حدود ۵۰-۲۵٪ از ضخامت کل فیلم را تشکیل می‌دهد که این درصد به زمان برداشت بازدارنده بستگی دارد [۶،۹].



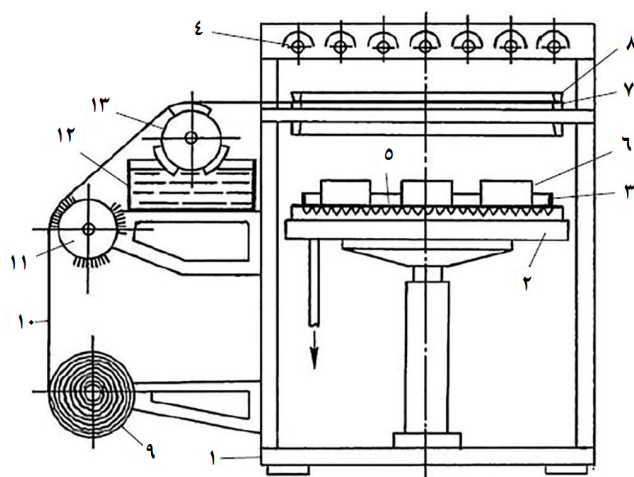
شکل ۷- سرعت جذب بخارهای بازدارنده به وسیله فیلم دارای ۸۵٪ پلیمر و ۱۵٪ نرم‌کننده با دمای: (الف) ۱۸°C، (ب) ۵۵°C و (پ) ۱۰۰°C [۶].

بازدارنده و پلیمر سازگاری کمی با یکدیگر داشته باشند. در این روش تیوب از مخلوط نرم‌کننده و پلیمر ساخته می‌شود (شکل ۵-پ). مایع بازدارنده به مندرل تغذیه شده و با دستگاهی، تیوب حاصل به‌عنوان محفظه‌ای برای مایع بازدارنده عمل می‌کند. به محض سرد شدن تیوب، فیلم حالت ژله‌مانند می‌یابد. در این حالت، بازدارنده و نرم‌کننده در حفره‌های نزدیک به سطح داخلی فیلم حبس می‌شوند. بنابراین، با افزایش درصد نرم‌کننده، می‌توان مقدار جذب بازدارنده را افزایش داد. اما با افزایش این درصد به بیش از ۱۰٪، فیلم پلیمری دارای حفره‌های بازی می‌شود که با نرم‌کننده پر شده‌اند. این حفره‌ها باعث نفوذپذیری زیاد فیلم‌های پلیمری شده که در مواجهه با محیط‌های خورنده یک عیب محسوب می‌شود. روش چهارم، حل کردن بخارهای بازدارنده در لایه نرم‌کننده است و هنگامی استفاده می‌شود که فشار بخار اشباع ۱-۰/۱ Pa باشد و بازدارنده با پلیمر سازگار نباشد، ولی به راحتی در نرم‌کننده حل می‌شود. نرم‌کننده به مندرل اکسترودر تغذیه شده و در همان ابتدای خروج تیوب با سطح آن تماس داده می‌شود. این کار باعث دوجزئی شدن فیلم در سطح مقطع می‌شود که قسمت داخلی، مربوط به نرم‌کننده تماس داده شده با فیلم است (شکل ۵-ت). در نهایت، ساختار فیلم دارای نایکنواختی در راستای ضخامت می‌شود. بدین ترتیب که سطح بیرونی تشکیل شده از پلیمر خالص دارای حفره‌های بسیار کمی است، در حالی که سطح داخلی دارای حفره‌های زیادی است که با نرم‌کننده پر شده‌اند (شکل ۶-الف). با دمیده شدن گاز بازدارنده به تیوب، نرم‌کننده‌های درون این حفره‌ها، بازدارنده‌ها را به خوبی جذب می‌کنند. روش پنجم، اصلاح پلیمر بدون نرم‌کننده با بازدارنده است و هنگامی به کار می‌رود که بازدارنده به‌عنوان نرم‌کننده پلیمر در نظر گرفته شود یا محلول دارای نرم‌کننده و بازدارنده به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده پلیمر، به آن اضافه



شکل ۸- بسته‌های ترکیبی فیلم‌های پلیمری بازدارنده خوردگی: (الف) بسته پوست‌پیزی، (ب) حباب‌دار به شکل دستگاه، (پ) حباب‌دار کروی و (ت) بسته کشسان [۶].

می‌شود و در نهایت به صفحه پایینی اتصال داده می‌شود. این روش برای کالاهای با ابعاد کوچک استفاده می‌شود (شکل ۸-الف). ماشین بسته‌بندی بدین روش در شکل ۹ نشان داده شده است. لایه فیلم ۵ بین گیره‌های ۷ و ۸ گرفته شده و با گرم‌کن گرما داده می‌شود. صفحه خلأکننده به سمت بالا حرکت می‌کند. فیلم به وسیله واحد ۹ در معرض غلتک ۱۱ قرار می‌گیرد. در ادامه فیلم به وسیله واحد ۱۳ با مواد بازدارنده موجود در حمام ۱۲ آغشته می‌شود. فیلم بازدارنده روی کالای ۶ قرار می‌گیرد و هوا از فضای بین فیلم و سطح صفحه به بیرون خلأ هدایت شده و در نهایت درزگیری

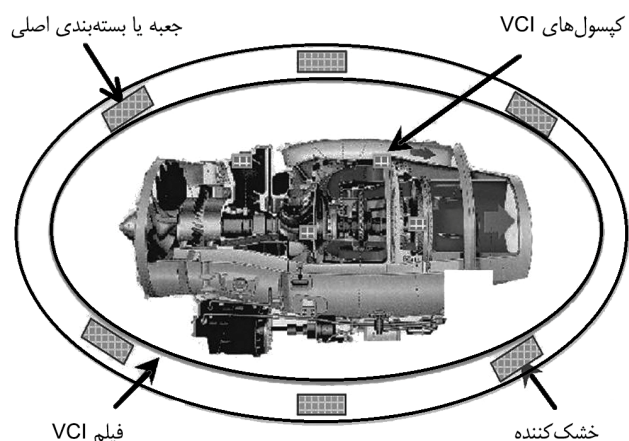


شکل ۹- بسته‌بندی پوست‌پیزی با استفاده از فیلم بازدارنده خوردگی: (۱) پایه، (۲) صفحه خلأکننده، (۳) پالت، (۴) گرم‌کن، (۵) لایه فیلم، (۶) دستگاه، (۷) و (۸) گیره‌های نگه‌دارنده فیلم، (۹) واحد تغذیه فیلم، (۱۰) فیلم، (۱۱) هدایت‌کننده غلتک، (۱۲) حمام بازدارنده و (۱۳) اعمال‌کننده بازدارنده [۶].

بسته‌بندی با فیلم‌های بازدارنده خوردگی

ساده‌ترین روش بسته‌بندی تجهیزات با این فیلم‌ها، قراردادن آن‌ها درون فیلم‌ها و پیچیدن یا غلاف کردن (sleeving) آن‌هاست. یک یا چند قطعه می‌تواند با دستگاه در این فیلم‌ها پیچیده شود. این دستگاه‌ها به طور کلی دارای سه قسمت اصلی تغذیه، شکل‌دهی و درزگیری (sealing) فیلم هستند. بسته‌بندی بدین صورت انجام می‌شود که ابتدا تکه‌ای از فیلم بریده شده (با دستگاه) روی کالاهای پیچیده شده کنار هم روی یک صفحه قرار می‌گیرد. اضافه‌های فیلم از زیر تاخورده و در نهایت گرمادرزگیری (heat sealing) می‌شود. ساده‌ترین روش غلاف کردن تجهیزات استفاده از کیسه‌های پلیمری است. همان‌طور که گفته شد، ساده‌ترین روش تولید این کیسه‌ها، اکستروژن دمش فیلم است. این کیسه‌ها پس از قرارگیری دستگاه درون آن با روش‌های معمول مانند گرمادرزگیری، بسته می‌شوند. بازدارنده معمولاً موجب کاهش استحکام گرمادرزگیری می‌شود. البته با افزایش دما می‌توان تا حدودی این کاهش را جبران کرد. براساس استاندارد، نیروی گرمادرزگیری کیسه‌های پلی‌اتیلنی و پلی‌وینیل کلرید، باید از نیروی گسیختگی آن بیشتر باشد. برای قطعات کم‌وزن، معمولاً از کیسه‌های مسطح زیپ کیپ‌دار استفاده می‌شود. مزیت استفاده از این کیسه‌ها آن است که می‌توان برای بازه زمانی کوتاه آن را باز کرد، بدون اینکه قابلیت ضدخوردگی کیسه از بین برود. چرا که لایه ضدخوردگی روی سطح فلز می‌تواند دوباره از بازدارنده‌های موجود در فیلم تشکیل شود. کیسه‌های بازدارنده باید از نور مستقیم خورشید، دمای زیاد، بادهای شدید و نیروی اعمالی مستقیم دور نگه‌داشته شوند تا کارایی مناسب‌تر داشته باشند. بنابراین، معمولاً این کیسه‌ها پس از بسته‌بندی درون کارتن گذاشته می‌شوند. شکل دیگر بسته‌بندی تجهیزات، استفاده از فیلم‌های گرماجمع‌شونده (heat shrinkable) است که دارای بازدهی بیشتری نسبت به سایر شکل‌هاست. با گرمادهی، بازدارنده به آسانی و با سرعت بیشتری از فیلم خارج شده و روی سطح فلز می‌نشیند. البته خروج بازدارنده نیز به جمع‌شدگی فیلم کمک می‌کند. توجه روزافزون به فیلم‌های بازدارنده خوردگی باعث ایجاد شکل دیگری از این نوع بسته‌بندی با نام بسته‌بندی ترکیبی شده است. شکل ۸ برخی از این نوع بسته‌بندی‌ها را نشان می‌دهد. روش اول، بسته‌بندی پوست‌پیزی (skin packaging) است که از قراردادن لایه‌ای از فیلم نازک روی صفحه تشکیل می‌شود. بدین ترتیب، کالا روی این صفحه قرار داده می‌شود و لایه‌ای از فیلم بازدارنده روی آن کشیده می‌شود.

این فیلم با گرما، خلأ، و پالس گرمایی دور کالا پیچیده و جمع



شکل ۱۱- روش ترکیبی بسته‌بندی با فیلم‌های VCI برای حفاظت از خوردگی قطعات با ابعاد بزرگ [۱۰].

بیشتر بخار بازدارنده استفاده کرد. نمونه‌ای از این روش در شکل ۱۱ نشان داده شده است [۱۰-۱۲].

روش‌های آزمون و بررسی خواص فیلم‌های بازدارنده خوردگی

روش‌ها و سندهای متعددی برای بررسی کیفیت فیلم‌های بازدارنده فاز بخار وجود دارند که در ادامه به‌طور مختصر به آن‌ها اشاره می‌شود [۱۶-۱۲].

Mil-PRF-22019

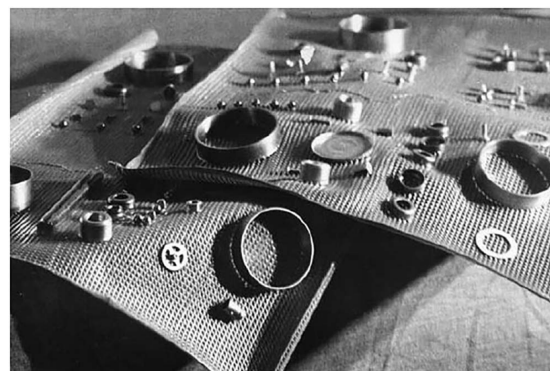
این سند مشابه سندهای Mil-PRF-22020 و Mil-DTL-22020 بوده و تحت عنوان مشخصات مواد نفوذناپذیر، شفاف، انعطاف‌پذیر و اصلاح‌شده با مواد بازدارندگی خوردگی فاز بخار است. این سند الزامات مواد سدگر شفاف و انعطاف‌پذیر دارای قابلیت درزگیری با فشار (pressure (cold) sealable) یا گرما و دارای مواد بازدارنده را برای استفاده در صنایع نظامی بیان می‌کند.

استاندارد NACE TM0208-2008

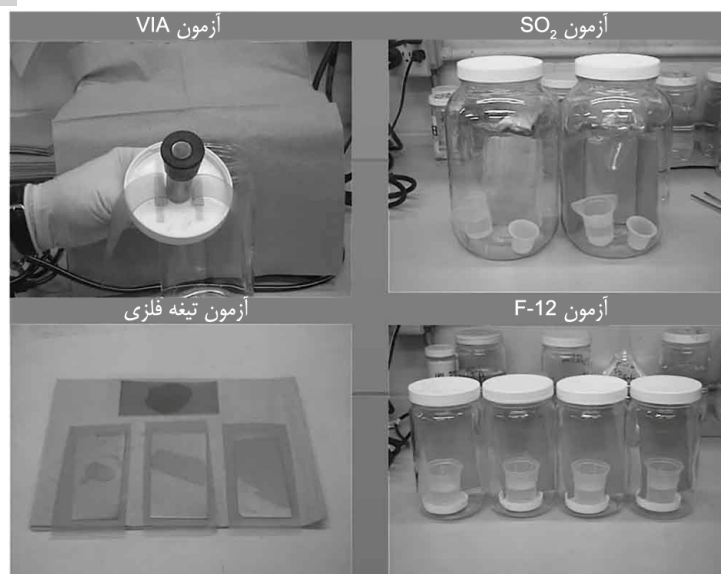
استاندارد NACE TM0208-2008 روشی آزمایشگاهی برای سنجش مقدار بازدارندگی فیلم‌های بازدارنده در برابر سطوح آهنی است. این روش مشابه روش ۴۰۳۱ استاندارد نظامی FED-STD-101 است. این آزمون مشهور به آزمون VIA بوده و نمای کلی آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. این روش ساده، سریع و کم‌هزینه بوده و برای بررسی فیلم‌های پلیمری دارای بازدارنده و همچنین بسترهای با ضخامت کم مانند کاغذ قابل استفاده است. در این روش نمونه آهنی پس از آماده‌سازی از درب ظرف شیشه‌ای به‌کار

انجام می‌شود. شکل ۱۰ تعدادی از محصولات دسته‌بندی شده با این روش را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان به‌طور هم‌زمان قطعات با هندسه و اندازه مختلف را ضمن سرعت، بازده و کیفیت زیاد بسته‌بندی کرد. روش دوم، بسته‌بندی حباب‌دار (blister pack) است که شامل یک پایه سخت و یک فیلم شفاف پلیمری است. این حباب می‌تواند شکل کالا را به خود بگیرد یا دارای ساختار کروی منظم باشد (شکل ۸-ب و پ). در این روش، فیلم با گرمادهی گرمایی، شکل‌دهی شده و به‌وسیله گرمادرزگیری به صفحه پایینی اتصال داده می‌شود. همچنین، از فیلم‌های با ضخامت ۰/۱۵-۱ mm استفاده می‌شود. این روش، ظاهری جذاب و براق به بسته‌بندی می‌دهد و می‌توان از آن برای بسته‌بندی قطعات کوچک طوری استفاده کرد که مشتری بدون بازکردن بسته‌بندی بتواند کالا را مشاهده کند. روش سوم، بسته‌بندی کشی (stretch) است که در شکل ۸-ت نشان داده شده است. در این روش کالا از دو طرف به‌وسیله فیلم پلیمری احاطه شده و کناره‌های آن با گرمادرزگیری بسته می‌شود [۶].

از نکاتی که در بسته‌بندی با فیلم‌های بازدارنده باید به آن توجه کرد، مقدار فضای پوشش‌یافته با فیلم دارای بازدارنده است. بدین صورت که استفاده از فیلم دارای بازدارنده در بسته‌بندی دستگاهی با ابعاد بزرگ، تنها تا شعاع خاصی فلز را از خوردگی محافظت می‌کند. بنابراین اگر اندازه محصول بزرگ باشد، برای حفاظت بهتر طولانی‌تر می‌توان از فیلم‌های با ضخامت بیشتر و خاصیت عبورناپذیری بهتر یا از روش‌های ترکیبی استفاده کرد. در این روش‌ها می‌توان برای جلوگیری از ورود رطوبت به محیط بسته‌بندی از لایه دوم استفاده کرد که نفوذپذیری کمی در برابر رطوبت دارد. همچنین می‌توان از خشک‌کننده‌ها (desiccants) برای جذب رطوبت موجود بین لایه‌ها و از کپسول‌های بازدارنده خوردگی در محیط محافظت، برای در دسترس قراردادن هر چه



شکل ۱۰- نمونه‌ای از بسته‌بندی پوست‌پیزی تجهیزات با فیلم‌های بازدارنده [۶].



شکل ۱۲- برخی از روش‌های آزمون فیلم‌های VCI [۱۶].

SO₂ بررسی می‌شود که معمولاً در ظرف ۱ گالنی انجام می‌شود. آزمون‌ها که با فیلم بازدارنده پیچیده شده‌اند با بشر دارای ۰/۰۴ g سدیم تیوسولفات و بشر ۵۰ mL دارای ۳۰ mL محلول ۱٪ سولفوریک اسید و محلول ۱٪ سدیم سولفات داخل ظرفی قرار داده می‌شوند و بلافاصله ظرف بسته می‌شود. معمولاً زمان آزمون ۲۴ h است که ۱۶ h در دمای ۵۰°C و ۸ h در دمای محیط انجام می‌گیرد.

آزمون خوردگی H₂S

در آزمون خوردگی H₂S خواص محافظتی فیلم بازدارنده در مجاورت هیدروژن سولفات بررسی می‌شود. این آزمون مشابه آزمون قبلی است. تنها تفاوت این است که اتمسفر ظرف با ایجاد واکنش بین آهن سولفید (FeS) و HCl دارای مقدار مشخصی از گاز H₂S می‌شود.

آزمون خوردگی لبه تیغ

آزمون خوردگی لبه تیغ (razor blade corrosion test) قابلیت‌های فیلم بازدارنده در تماس با فلز را بررسی می‌کند. طبق این روش، قطره‌ای از آب یون زدوده یا محلول نمکی (که به نوع فلز وابسته است) روی سطح صاف و تمیز شده قطعه فلزی قرار داده می‌شود و بلافاصله با فیلم بازدارنده پوشانده می‌شود. در همین زمان، قطعه مشابهی نیز با همین روش به وسیله فیلم معمولی، که خالی از مواد بازدارنده است، پوشانده می‌شود. قطعه پوشش یافته با فیلم بازدارنده نباید دچار خوردگی شود. این در حالی است که قطعه پوشش یافته با فیلم معمولی دچار خوردگی می‌شود. مدت زمان و نوع محلول

رفته به عنوان محفظه آزمون، آویزان می‌شود. سپس ابعاد مشخصی از فیلم پلیمری دارای بازدارنده بریده و از درب ظرف طوری آویزان می‌شود که تماسی با نمونه نداشته باشد. رطوبت لازم برای تسریع فرایند خوردگی نیز از آب حاوی درصدی گلیسرین قرار گرفته در دمای مشخص تامین می‌شود. در ادامه درب شیشه بسته شده و پس از گذشت زمان مشخص، مقدار خوردگی در نمونه به شکل چشمی بررسی می‌شود.

مه نمک

جزئیات این روش در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۰۳۱۵ و استاندارد ASTM B117 گفته شده است. این روش، روشی سریع و مرسوم برای سنجش مقدار مقاومت به خوردگی است.

آزمون خوردگی چرخه‌ای F-12

در آزمون خوردگی چرخه‌ای F-12 نیز قابلیت محافظت از خوردگی در شرایط جوی و دمایی خاص سنجیده می‌شود. بدین ترتیب که بشر آزمایشگاهی دارای محلول آب نمک درون محفظه‌ای قرار می‌گیرد و دمای محفظه به طور چرخه‌ای تغییر می‌کند. در هر دوره، ۱۶ h دمای محفظه ۵۰°C و ۸ h دمای آن برابر با دمای محیط است. این موضوع باعث تشکیل بخارهای نمکی آب می‌شود. برای فیلم‌های پلیمری تعداد ۸ چرخه در نظر گرفته شده است.

آزمون خوردگی SO₂

در آزمون خوردگی SO₂، خواص فیلم بازدارنده در مجاورت

به فلز آزمایش شده بستگی دارد.

سایر آزمون‌ها

ضریب اصطکاک فیلم، استحکام کششی، مقاومت ضربه‌پذیری فیلم‌ها، مقاومت در برابر پارگی، شفافیت، خشک‌چسبی از آزمون‌های دیگر بررسی کیفیت فیلم‌های بازدارنده هستند.

نتیجه‌گیری

بازدارنده‌های خوردگی فاز بخار پیشینه‌ای بیش از ۵۰ سال در جهان دارند. اما در سال‌های اخیر، توجه بیشتری به آن‌ها شده است. استفاده از این مواد جزء روش‌های جلوگیری موقت خوردگی طبقه‌بندی شده است و شرکت‌های مختلفی در سراسر جهان از بسته‌بندی تجهیزات با فناوری بازدارنده‌های فاز بخار استفاده می‌کنند. این روش دارای کاربردهای بسته‌بندی گسترده در صنایع نفت و گاز، خودرو، الکترونیک، کشتی‌رانی و حمل‌ونقل، تجهیزات دریایی، هوافضا و نظامی است. مواد بازدارنده فاز بخار در حالت‌های مختلف پودر، مایع، افشانه، قرص، اسفنج، آستری، ساطع‌کننده، کاغذ و مقوای آغشته‌شده با این مواد و در نهایت

فیلم‌های پلیمری اصلاح‌شده با آن‌ها موجودند. اما از پرکاربردترین اشکال موجود، فیلم‌های پلیمری اصلاح‌شده با بازدارنده فاز بخار هستند. این فیلم‌ها در اشکال مختلف از جمله، ساده، حباب‌دار، جمع‌شونده، کشی، چندلایه و غیره بوده و معمولاً با استفاده از روش اکستروژن دمش فیلم تولید می‌شوند. با استفاده از این فیلم‌ها، بسته به شرایط معمولاً تا ۲ سال می‌توان از خوردگی محافظت کرد. برای طولانی‌تر کردن این زمان باید از روش‌های ترکیبی استفاده کرد که امکان محافظت را تا چند سال افزایش می‌دهند. نحوه اختلاط و تولید فیلم‌های بازدارنده از مهم‌ترین مراحل اثرگذار بر خواص بازدارندگی خوردگی نهایی است. همچنین، نوع بازدارنده باید با در نظر گرفتن نوع فلز، محیط خورنده، پلیمر پایه و زمان محافظت انتخاب شود. مواد مصرفی کم، قابلیت‌های تولید و ماشین‌کردن زیاد، بازرسی بدون بازکردن بسته‌بندی به‌واسطه شفاف‌بودن فیلم بازدارنده فاز بخار و بازیافت، عدم نیاز به عملیات تمیزکاری برای استفاده پس از بازکردن بسته‌بندی از مزایای این فیلم‌هاست. بنابراین، فیلم‌های پلیمری اصلاح‌شده با بازدارنده فاز بخار برای بسته‌بندی تجهیزات با هندسه پیچیده، از کوچک‌ترین و حساس‌ترین قطعات مانند قطعات الکترونیکی تا قطعات با ابعاد بزرگ مثل موتور خودرو، به‌ویژه برای بازه‌های زمانی کوتاه، مناسب‌اند.

مراجع

1. Bastidas D.M., Cano E., and Mora E.M., Volatile Corrosion Inhibitors: A Review, *Anti-Corros. Methods. Mater.*, **52**, 71-77, 2005.
2. Vuorinen E., Kálmán E., and Focke W., Introduction to Vapour Phase Corrosion Inhibitors in Metal Packaging, *Surf. Eng.*, **20**, 281-284, 2004.
3. Miksic B., Boyle R., and Wuertz B., Efficacy of Vapor Phase Corrosion Inhibitor Technology in Manufacturing, *Corros. Sci.*, **60**, 515-522, 2004.
4. Viswanathan S.S., A Review on Recent Patents in Corrosion Inhibitors, *Recent Pat. Corros. Sci.*, **2**, 6-12, 2010.
5. Subramanian A., Natesan M., Muralidharan V.S., Balakrishnan K., and Vasudevan T., An Overview: Vapor Phase Corrosion Inhibitors, *Corros. Sci.*, **56**, 144-155, 2000.
6. Goldade V.A., Pinchuk L.S., Makarevich A.V., Kestelman V.N., *Plastic for Corrosion Inhibition*, Springer, Germany, 81-175, 2005.
7. Ebadi-Dehaghani H., Diffusion of 1,2,3-Benzotriazole as a Volatile Corrosion Inhibitor through Common Polymer Films Using the Molecular Dynamics Simulation Method, *J. Macromol. Sci. Phys.*, **55**, 310-318, 2016.
8. Andreev N.N. and Kuznetsov Y.I., Volatile Inhibitors of Metal Corrosion. I. Vaporization, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, **1**, 16-25, 2012.
9. Andreev N.N., Goncharova O.A., and Vesely S.S., Volatile Inhibitors of Atmospheric Corrosion. IV. Evolution of Vapor-phase Protection in the Light of Patent Literature, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, **2**, 162-193, 2013.
10. Lyublinski E., Lynch P., Roytman I., and Yakubovskaya T., Application Experience and New Approaches for Volatile Corrosion Inhibitors, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, **4**, 176-192, 2015.

11. Koehler S. and Reinhardand G., VCI Containing Package Material–Mode of Functioning, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, **3**, 286-306, 2014.
12. Andreev N.N., Kuznetsov Y.I., Volatile Inhibitors of Atmospheric Corrosion. III. Principles and Methods of Efficiency Estimation, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, **2**, 13-59, 2013.
13. Kolyada L.G., Tarasyuk E.V., Krylova S.A., Modern Packaging Materials for Steel Products, *Solid State Phenom.*, **265**, 1040-1047, 2017.
14. Valdez S.B., Zlatev R.K., Schorr W.M., Rosas G.N., Dobrev T., Monev M., and Krastev I., Rapid Method for Corrosion Protection Determination of VCI Films, *Anti-Corros. Methods Mater.*, **53**, 362-366, 2006.
15. Quraishi M.A. and Jamal D., Development and Testing of All Organic Volatile Corrosion Inhibitors, *Corrosion*, **58**, 387-391, 2002.
16. Furman A.Y., Kharshan M., and Chandler C.J., Performance and Testing of Vapor Phase Corrosion Inhibitors, NACE-04418, Louisiana, 1-12, 28 March, 2004.