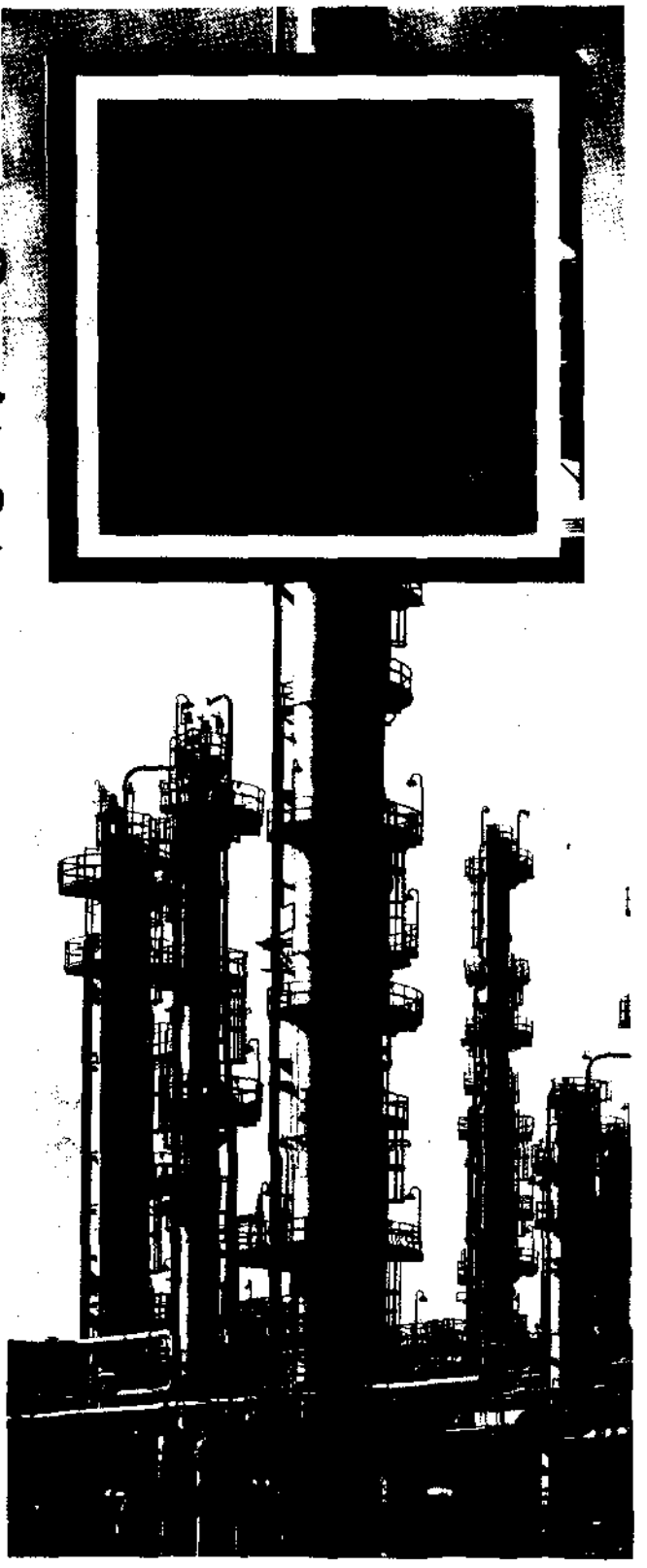
کاربرد پوششهای پلیمری و پلاستیکهای مقاوم در برابر خوردگی در صنایع شیمیایی (قسمت اول)



«THE USE OF POLYMER LINING AND REINFORCED PLASTICS (FRP) AGAINST CORROSION IN CHEMICAL INDUSTRY.»

تألیف: دکتر ایرج رضائیان

واژه‌های کلیدی:

پوشش پلیمری، ضخامت لایه پوششی، پوشش اولیه یا آستری، سازه‌های پلاستیکی نوع گرمانرم، پلاستیکهای تقویت شده توسط الیاف.

چکیده

در این مقاله مشکلات ناشی از خوردگی و روشهای کنترل آن در صنایع شیمیایی، مکانیسم تشکیل پوششهای پلیمری، آماده‌سازی سطوح فلزی برای پوشش دهی و مواد پلیمری که برای پوشش فلزات به‌کار می‌روند، بررسی شده است. همچنین کاربرد لوله‌های از جنس پلیمرهای گرما نرم، استفاده از لوله‌ها، مخازن و سازه‌های تقویت شده پلاستیکی در محیطهای خورنده، ویژگیهای گرمایی و فیزیکی پوششهای پلیمری و نحوهٔ انتخاب بهترین ماده پوشش پلیمری در محیطهای خورنده شیمیایی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند.

Key Words:

Polymer Lining, Lining Thickness, Primer, Thermoplastic Structures, Fibre Reinforced Plastics (FRP)

مشکلات ناشی از خورندگی و روشهای کنترل آن در صنایع شیمیایی

از آنجا که صنایع شیمیایی شامل فرایندها و واحدهای مختلفی می‌شود، روشهای کاهش یا جلوگیری از خورندگی تنوع زیادی پیدا می‌کند. مثلاً برای تولید سدیم کلرید، که از نظر حجم تولید مادهٔ شیمیایی مهّم است، از روشهای استخراج نمک، از معادن، تبخیر آب دریا یا پمپ کردن آب نمک چاههای زیرزمینی استفاده می‌شود. هریک از این سه روش مسائل خورندگی خاص خود را دارد ولی در هر سه روش یک مادهٔ شیمیایی یعنی محلول غلیظ سدیم کلرید عامل خورندگی است. بنابراین در کلیه فرایندهای شیمیایی که سدیم کلرید جزئی از آنها را تشکیل می‌دهد کاربرد پوششهای مقاوم برای مخازن، لوله‌ها و سایر تجهیزات، ضروری است. بهترین سیستم پوششی به‌کار رفته در این مورد خاص، پوشش اولیه فلز روی و پوشش نهایی پلی وینیل کلرید ــ اپوکسی است *[1]*.

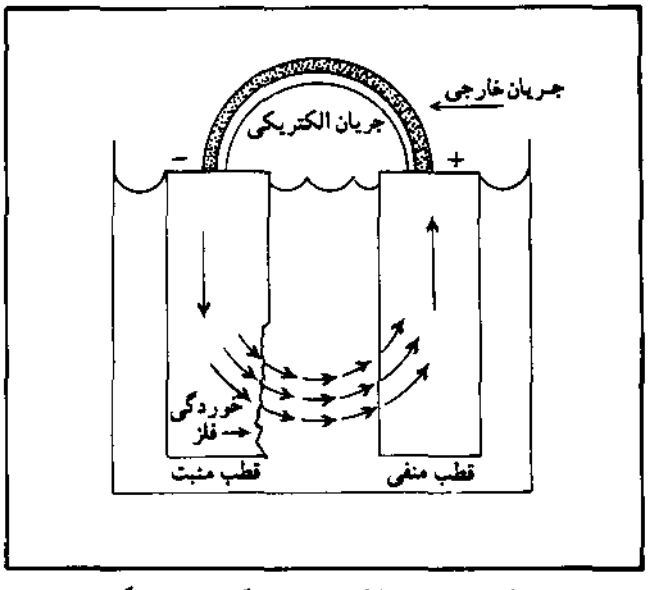
در اکثر کاربردهای مهندسی مسئله خورندگی ایجاب می‌کند که از فلزات یا آلیاژهای مقاوم در برابر خورندگی استفاده شود ولی مشکلات مربوط به‌هزینه، دسترسی به‌مواد مناسب و تولید باعث می‌گردد که از مواد قابل دسترس و نسبتاً ارزان مانند فولاد استفاده شود. فولاد مقاومت خوبی در برابر خورندگی ندارد و یکی از مهمترین روشهای کاهش یا جلوگیری از خورندگی فولاد، کاربرد پوششهای مقاوم پلیمری است. این پوششها یک لایه مقاوم فیزیکی بین سطح پوشش داده شده و محیط خورنده به‌وجود می‌آورند. این پوشش باید تحت شرایط خاص شیمیایی، دما و فشار در مقابل محیط خورنده مقاومت داشته باشد و از نفوذ مواد خورنده به‌فلزات تحت پوشش جلوگیری کند.

نیاز روزافزون به‌محافظت فلزات در محیطهای خورنده و پژوهشهای وسیع در این زمینه باعث پیشرفتهای زیادی در روشهای تهیه آلیاژها و پوششهای پلیمری مقاوم در برابر خورندگی شده است. شکلهای (۱) و (۲) چگونگی خورندگی فولاد در محیطهای خورنده و کاربرد پوششهای پلیمری را نشان می‌دهد.

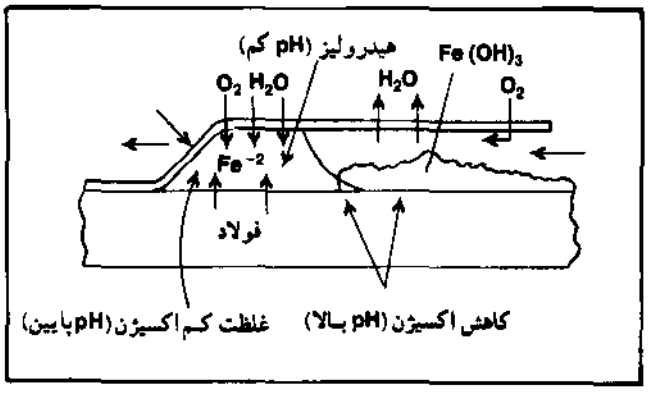
ضررهای ناشی از خورندگی و هزینه‌های جایگزینی قسمتهای فرسوده در یک واحد پیچیده مانند پالایشگاه، معمولاً بسیار سنگین است. در یک واحد تولید مواد شیمیایی، خورندگی تجهیزات و به‌دنبال آن کاهش و یا توقف تولید می‌تواند مشکلات زیادی به‌بار آورد. بر اساس گزارش مؤسسهٔ استاندارد آمریکا در سال ۱۹۸۲ میلادی میزان کل ضررهای ناشی از خورندگی بیش از ۷۰ میلیارد دلار در آمریکا بوده است. البته چنانچه از پلاستیکها و لایه‌های پوشش پلیمری استفاده نمی‌شد میزان ضرر خیلی بیشتر از این مبلغ می‌بود *[2]*.

معمولاً هزینه مواد پوششی ۱۰ تا ۲۵ درصد کل هزینه‌های عملیات پوشش دهی را تشکیل می‌دهد، بنابراین با صرفه‌تر است که بهترین نوع مادهٔ پوششی انتخاب شود. به‌عنوان مثال هزینه مربوط به‌هر یک از موارد زیر سهم ویژه‌ای از هزینه کل پوشش دهی مخازن دارد:

ــ مقدار مادهٔ پلیمری موردنیاز برای پوشش دهی
ــ وسعت سطحی که باید پوشش داده شود.
ــ فرایند انتخاب شده برای پوشش دهی.
ــ ضخامت لایهٔ پوششی.
ــ نیروی انسانی (کارگر،...)

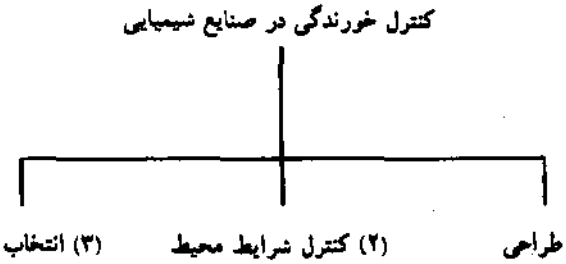


شکل (۱) جریان الکتریسیته در یک سیل خوردگی



شکل (۲) سطح مقطع یک لایه نازک خورده شده بر روی سطح فولاد

کنترل خورندگی در صنایع شیمیایی را می‌توان به‌وسیلهٔ نمودار زیر نشان داد:



(۱) میزان خورندگی در صنایع شیمیایی را می‌توان با طراحی مناسب کنترل کرد. مثلاً رسوب مواد جامد در لوله‌ها و مخازن اغلب ناشی از طراحی نامناسب است که در نتیجه مسائل خورندگی، تخلیه و تمیز کردن را به‌دنبال خواهد داشت. برای کاهش خورندگی مخازن و لوله‌ها مسائل عمده‌ای که باید در طراحی مورد توجه قرار گیرند عبارت‌اند از:

جلوگیری از درز و شکافها، استفاده از فلزات خالص، در نظر گرفتن میزان خورندگی مجاز، محافظت کاتدی و آندی... و دقت در عملیات جوشکاری.

(۲) کنترل شرایط محیط شامل پارامترهایی مانند دما، غلظت مادهٔ خورنده، pH محیط، مواد کند کنندهٔ خورندگی مانند کروماتها و الکلها می‌شود. مثلاً علت خورندگی مخازن فولادی حلالهای کلردار، ناخالصیهای آب و تشکیل کلریدریک اسید است.

(۳) در انتخاب مواد مناسب، تعیین خصوصیات محیط خورنده، آماده‌سازی سطحی که باید پوشش داده شود، تعیین ضخامت و نصب پوشش با توجه به‌هزینه و قابلیت دسترسی به‌آنها اهمیت دارد.

مکانیسم تشکیل پوششهای پلیمری

با توجه به‌پلیمر انتخاب شده برای پوشش، عملیات پوشش دهی شامل روشها و سیستمهای مختلفی می‌شود و در نتیجه مکانیسم تشکیل پوشش پلیمری متفاوت خواهد بود. نمودار زیر روشهای متداول برای ایجاد پوششهای پلیمری را نشان می‌دهد:

مواد پلیمری مورد استفاده برای پوشش فلزات در صنایع شیمیایی

در شرایطی که سرعت خورندگی بیش از ۱۰ میلی‌متر در سال باشد استفاده از پوششهای محافظ ضروری است[3]. این شرایط معمولاً در بُرجها، هم زنها، پمپها، خطوط لوله و مخازنی پیش می‌آید که در تماس با مایعات خورندهٔ شیمیایی هستند. کاربرد پوششهای فلزی، شیشه‌ای، سرامیکی و پلیمری مانع نفوذ رطوبت، اکسیژن و مواد شیمیایی به‌فلز پایه می‌گردد. غالباً ضخامت این پوششها متغیر است و پوششهای پلیمری را می‌توان بر اساس ضخامت به‌ترتیب زیر تقسیم‌بندی کرد:

- پوششهای حاصل از رنگها به‌ضخامت ۲ تا ۳ میلی‌متر
- لایه‌های پوشش پلیمری به‌ضخامت ۴ تا ۱۲ میلی‌متر

در طول سی سال گذشته کاربرد پلیمرها برای پوشش فلزات با تحولات عظیمی روبرو بوده است. پلیمرها خواص فیزیکی و شیمیایی متنوعی دارند و برای هر کاربردی باید مادهٔ پلیمری مناسب آن را انتخاب کرد. امروزه با توجه به‌طیف وسیع مواد پلیمری به‌راحتی می‌توان ماده‌ای با خصوصیات موردنیاز یک پوشش خوب را به‌دست آورد. استفاده از لوله‌ها و مخازن فولادی با پوششهای پلیمری نتایج خوبی داشته و در این کاربردها به‌خوبی از ترکیب خصوصیات مقاومت در برابر خورندگی پلیمرها و استحکام سازه‌های فولادی استفاده نشده است. در انتخاب پوششهای پلیمری پارامترهای زیر را باید در نظر گرفت.

- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مادهٔ پلیمری که برای پوشش‌دهی به‌کار می‌رود.
- شکل و اندازه سطحی که باید پوشش داده شود.
- ویژگیهایی که سطح پوشش یافته از نظر مقاومت شیمیایی، سایشی .... باید پیدا کند.
- ماشین‌آلات و تجهیزات موردنیاز برای پوشش دهی.

در اینجا مهمترین مواد پلیمری مقاوم در برابر خورندگی (لاستیکهای طبیعی و سنتزی) که برای پوشش فلزات به‌کار می‌روند به‌ترتیب زیر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

لاستیک طبیعی

$$\left[CH_2 - \underset{CH_3}{\overset{|}{C}} = CH - CH_2\right]_n$$

قدیمی‌ترین و معروفترین مادهٔ پوششی داخل مخازن فلزی و سیستمهای نقاله، لاستیک طبیعی است. مخلوط لاستیک طبیعی، مواد پُرکننده (دودهٔ کربن) و مواد تسریع کننده و ولکانش به‌صورت ورقه‌هایی از لاستیک خام به‌ضخامت ۰/۱۵ تا ۰/۶۰ سانتی‌متر به‌سطوح داخلی مخازن چسبانده می‌شوند و سپس توسط بخارآب ولکانیده می‌شوند. پوششهای لاستیک طبیعی در مقابل سایش، اسیدها و مواد قلیایی که خاصیت اکسندگی ندارند مقاوم هستند. این پوششها تحت تأثیر مواد روغنی، هیدروکربنهای آروماتیکی و کلردار قرار می‌گیرند[4]. از مشکلات عمدهٔ پوششهای لاستیکی، حساسیت آنها به‌مواد آلی حتی در

غلظتهای کم است. این پوششها در اثر تماس با مواد آلی نرم شده و سرانجام از سطح فلز پایه کنده می‌شوند. از پوششهای لاستیکی می‌توان برای مدت زمان نسبتاً طولانی، حدود بیست سال، استفاده کرد. این پوششها به‌سهولت قابل تعمیر و ترمیم هستند.

حداکثر دمایی که این پوششها می‌توانند تحمل کنند $80^{\circ}C$ است و در دماهای بالاتر در اثر اکسایش و شکستن پیوندهای کربن ــ کربن حالت ترک‌خوردگی و تخریب پیش می‌آید.

نئوپرن (کلروپرن) $\{CH_2-C(Cl)=CH-CH_2\}_n$

لاستیکهای سنتزی

لاستیک بوتیل $\{CH_2-C(CH_3)_2\}_n$

لاستیکهای نئوپرن و بوتیل برای پوشش فلزات به‌کار می‌روند. نئوپرن مایع به‌وسیله قلم مو یا پیستوله بر سطوح افشانده می‌شود و در $20^{\circ}C$ حدود ۲۴ تا ۴۸ ساعت طول می‌کشد تا سخت شود. نئوپرن برای پوشش مخازن، لوله‌ها، اجزاء کشتی و هواپیما که در معرض خوردگی شدید قرار دارند، بسیار مناسب است.

پیوندهای موجود در نئوپرن اجازه می‌دهد که خصوصیات لاستیکی آن در برابر روغنها، مواد قلیایی، نمکها و اسیدها حفظ شود. مقاومت لاستیک نئوپرن در برابر ضربه و سایش خوب است و ماکسیمم دمای کاربرد پوششهای نئوپرن $120^{\circ}C$ می‌باشد.

پلی وینیل کلرید (PVC) $\{CH_2-CH(Cl)\}_n$

پوشش دهی فلزات به‌وسیله PVC نرم، یعنی خمیر PVC (پلاستیسول)، راحت‌تر از PVC سخت انجام می‌گیرد. پوششهای PVC سالها برای مخازن آب و محلول نمکها استفاده شده‌اند ولی برای محلول مواد قلیایی، اسیدی و بیشتر حلالها مناسب نیستند. یکی از روشهای جدید، استفاده از پوششهای دو لایه‌ای PVC است. لایه PVC نرم با فلز تماس دارد و لایه PVC سخت با مواد خورنده در تماس است. به‌این ترتیب ترکیبی از خصوصیات چسبندگی خوب به‌فلز پایه و مقاومت در برابر مواد شیمیایی خورنده بدست می‌آید. پوششهای نسبتاً ضخیم PVC بر روی فلزات را می‌توان با غوطه‌ور کردن فلز در محلول غلیظ PVC و یا پاشیدن محلول PVC بر روی فلز به‌وسیله پیستوله و پُخت در $180^{\circ}C$، بدست آورد. وجود مواد نرم کننده در PVC مقاومت در برابر اکسایش را کاهش می‌دهد. پوششهای PVC در دماهای پایینتر از $90^{\circ}C$ مقاومت خوبی در برابر مواد خورنده دارند. معمولاً برای چسبندگی بیشتر PVC به‌فلز پایه از یک پوشش اولیه لاستیک نیتریل یا رزین فنولی استفاده می‌شود.

پلی‌اولفینها

پلی پروپیلن (PP) $\{CH_2-CH(CH_3)\}_n$

پلی اتیلن (PE) $\{CH_2-CH_2\}_n$

پلی وینلیدین کلرید $\{CH_2-CCl_2\}_n$

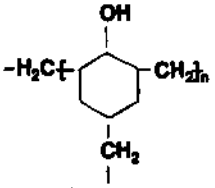
پلی تترافلوئورواتیلن (PTFE) $\{CF_2-CF_2\}_n$

الف ــ پوششهای پلی‌اتیلن به‌علت قیمت نسبتاً کم و مقاومت در برابر مواد شیمیایی کاربردهای وسیعی پیدا کرده‌اند. پلی‌اتیلن با جرم مخصوص زیاد برای کاربردهای صنعتی مانند حفاظت دودکشها، لوله‌کشی... و مخازن به‌کار رفته است. خاصیت چسبندگی پلی‌اتیلن به‌سطح فلزات خوب نیست و برای چسبندگی بهتر، فلز پایه را توسط وینیل بوتیرال شستشو می‌دهند.

ب ــ پلی اتیلن کلروسولفون‌دار معروف به‌هایپلون (*Hypalon*) یک لاستیک سنتزی است که از ترکیب پلی اتیلن، کلر و دی اکسید گوگرد بدست می‌آید. هایپلون به‌صورت خام و ورقه‌های ۰/۳ تا ۰/۵ سانتی‌متر به‌فلز پایه چسبانده می‌شود و سپس در اثر بخارآب پُخت می‌گردد. همچنین می‌توان هایپلون در یک حلال مناسب را به‌وسیله قلم مو، غلطک یا پاشیدن توسط یک پیستوله بر روی فلز پایه نشاند و سپس آن را در دمای اطاق پخت کرد.*[1]*

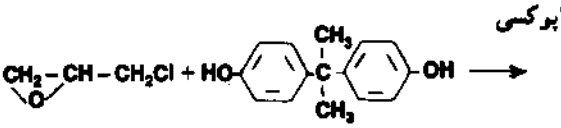
ج ــ ترکیبات فلوئور و کربن مانند پلی‌تترافلوئور اتیلن (*PTFE*) و مونوکلرو فلوئورواتیلن را می‌توان با روش پاشیدن بر روی سطح فلز پایه، که قبلاً تمیز شده است، نشاند و سپس در اثر گرما آن را ذوب کرد. ورقه‌های پلی‌مری فلوئوردار، تحت تأثیر فلز سدیم در آمونیاک مایع، قدرت چسبندگی بیشتری را به‌سطح فلز پیدا می‌کنند و لایه‌های پوششی حاصل در قسمت لبه‌ها جوش داده می‌شوند. پوششهای فلوئوردار کربن مقاومت شیمیایی، گرمایی و خاصیت غیرچسبندگی خوبی دارند و کاربرد مستمر آنها تا $230^{\circ}C$ مجاز است.

رزینهای فنولی

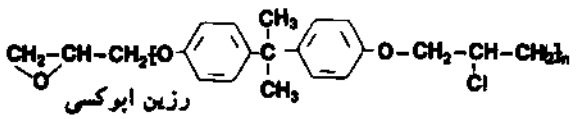


رزینهای گرما سخت فنول ــ فرمالدهید برای پوشش ظروف واکنش شیمیایی و سایر تجهیزاتی به‌کار می‌روند که باید در برابر حلالها و دماهای نسبتاً بالا مقاومت داشته باشند ولی این پوششها مقاومت خوبی در برابر مواد قلیایی و عوامل اُکسنده ندارند. دراین گونه موارد از رزینهای فورفوریل الکل ــ فرمالدهید که مقاومت بیشتری در برابر مواد قلیایی دارند استفاده می‌شود. رزینهای فنولی در اکثر واکنشهای کاتالیزوری و پخت، شبکه‌های سه‌بُعدی پیدا می‌کنند و به‌مواد سختی تبدیل می‌شوند. این مواد در مقابل اکثر حلالها، محلول اسیدهای رقیق و نمکها مقاومت خوبی دارند ولی شکننده‌اند و در شرایط قلیایی مقاومت خوبی ندارند. معمولاً پوششهای فنولی تا حدود $180^{\circ}C$ مقاوم هستند.

رزینهای اپوکسی



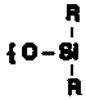
بیس فنول A اپی کلروهیدرین



رزین اپوکسی

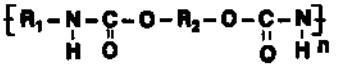
از ترکیب بیس فنول A با اپی کلروهیدرین یک پلیمر خطی با دو گروه فعال هیدروکسیل و اپوکسی، معروف به رزینهای اپوکسی، به دست می‌آید. برحسب میزان پیشرفت واکنش رزین حاصل ممکن است به صورت مایع، مایع غلیظ و یا جامد باشد. معمولاً برای پوشش فلزات از رزینهای اپوکسی جامد استفاده می‌شود. گروههای فعال هیدروکسیل و اپوکسید موجود در رزینهای اپوکسی با رزینهای فنولی، پلی آمیدها (نایلونها)، اسیدهای چرب و آمینهای چند ظرفیتی ترکیب می‌شوند و با تشکیل شبکه‌های سه بُعدی، موادی با مقاومت گرمایی و شیمیایی خیلی خوب به وجود می‌آورند. مقاومت شیمیایی و سایشی، مقاومت در برابر حلالها و چسبندگی خیلی خوب رزینهای اپوکسی به فلزات باعث شده است که این مواد به عنوان بهترین پوششهای صنعتی شناخته شوند. مخلوط قطران ذغال‌سنگ و رزین اپوکسی برای پوشش دهی و محافظت لوله‌های زیرزمینی به کار می‌روند. رزینهای اپوکسی ــ فنولی در پوشش مخازن فولادی برای ذخیره کردن هیدروکربنهای کلردار استفاده می‌شوند. این مخازن با قطر ۱/۸ متر و ارتفاع ۱۸ متر با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

پوششهای سیلیکون



این پوششها مقاومت ضدزنگ خیلی خوبی در مجاورت هوا به فولاد می‌دهند ولی آماده سازی سطح فلز پایه قبل از پوشش دادن مشکل است و معمولاً از پوشش آستری فلز روی، برای چسبندگی بهتر استفاده می‌شود. پوششهای سیلیکون بالاترین مقاومت گرمایی و خاصیت غیر چسبندگی را دارند.

پلی یورتان



پلی یورتان مایع با خصوصیات الاستومری به عنوان پوشش مقاوم در برابر خورندگی جانشین پوششهای نئوپرن مایع شده است. در این مورد نیز در پوشش دهی از روش پاشیدن استفاده می‌شود. این پوششها در حضور کاتالیزور، شبکه‌های سه بعدی پیدا می‌کنند و سخت می‌شوند (سیستم دو جزئی) مقاومت این پوششها در برابر نور خورشید، مواد شیمیایی و سایش خیلی خوب است.

نوارهای پوششی

برای پوشش دادن لوله‌ها و اتصالات می‌توان از نوارهای پوششی پلی‌اتیلن و *PVC* و *PTFE* استفاده کرد. نوارهای پوششی شامل یک ورقه نازک از نوار چسبنده هستند که در برابر فشار حساسیت دارند. معمولاً برای محافظت نوار پوششی از یک پوشش خارجی پنبه نسوز (*Asbestos*) استفاده می‌شود. از مزایای عمدهٔ نوارهای پوششی سهولت کار، عایق کاری، مقاومت در برابر خورندگی و سختی آنهاست.

آماده سازی سطوح فلزی برای پوشش‌دهی

برای به دست آوردن یک لایه پوشش پلیمری مناسب و مطلوب، عملیات آماده سازی فلز پایه یک مرحلهٔ اساسی و مهم است. البته سازگاری و تناسب فلز پایه با خصوصیات لایه پوششی و شرایط کاربرد را نیز باید درنظر داشت. با انتخاب نامناسب مادهٔ پوششی به امید خوب انجام دادن مراحل آماده سازی فلز پایه نمی‌توان انتظار تشکیل یک لایه پوششی خوب را داشت. از سوی دیگر کیفیت لایه پوششی هرقدر هم که خوب باشد نمی‌تواند نقایصی مانند درز و شکاف، لبه‌های تیز، برآمدگیها و فرورفتگیهای فلز پایه را برطرف کند. تجربیات و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که مهمترین عوامل مؤثر در دوام و پایداری پوششهای پلیمری عبارت‌اند از:

ــ آماده سازی سطحی که باید پوشش داده شود.

ــ کاربرد پوشش اولیه یا آستری (*Primer*) مناسب که باعث چسبندگی بهتر پوشش نهایی به فلز پایه می‌شود.

ــ انتخاب پوشش نهایی مناسب با ضخامت مورد نیاز.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد هزینه مواد پوششی کمترین مقدار را در کل هزینه‌های پوشش دهی دارد و بیشترین هزینه مربوط به آماده سازی فلز پایه است. برای آماده سازی فلز پایه از روشهای سمباده زنی و تمیز کردن به وسیله بُرسهای فلزی دستی یا ماشینی، شستشو با مواد شیمیایی، کاربرد شعله و سوزاندن استفاده می‌شود.

کاربرد موفقیت آمیز پوششهای پلیمری مستلزم رعایت موارد زیر است:

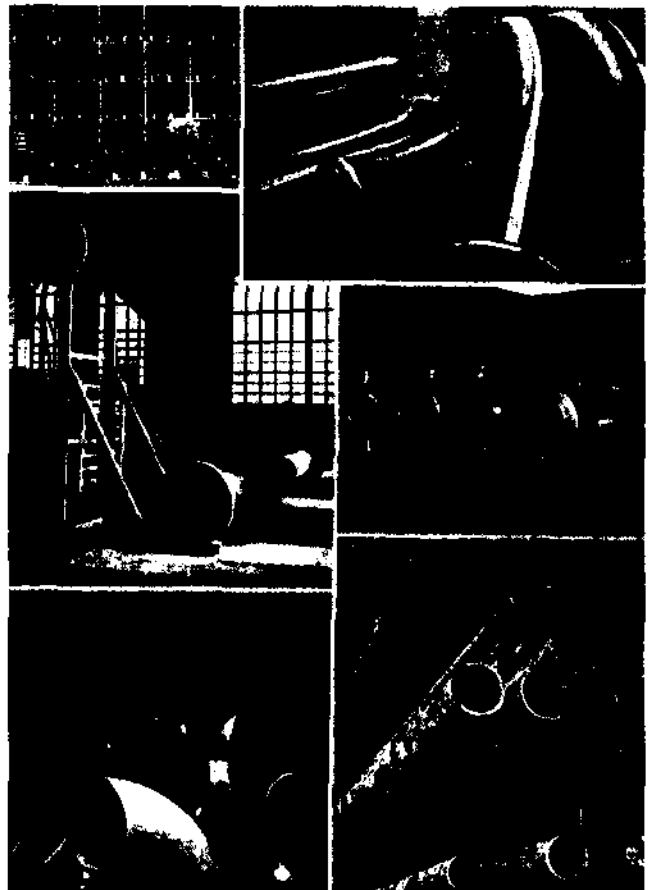
ــ در طراحی اشیایی که باید پوشش پلیمری داده شوند باید از لبه‌های تیز درز و شکاف پلیمر اجتناب کرد.

ــ استفاده از یک آستر پوششی چسبنده، باعث بهبود چسبندگی پوشش نهایی به فلز پایه می‌شود. معمولاً نوع لایه آستری برای مواد پوششی مختلف فرق می‌کند. به عنوان مثال برای پلاستیسول *PVC* از آستر فنولی استفاده می‌شود.[5].

کاربرد لوله‌های پلاستیکی در محیطهای خورنده

خورندگی همواره یک تهدید جدّی برای خطوط لوله بوده است و کاربرد لوله‌های پلیمری به جای لوله‌های فولادی می‌تواند راه حل خوبی

باشد. مثلاً برای کاربردهایی که میزان خورندگی در آنها شدید و مقاومت مکانیکی بالا مورد نیاز است به جای لوله‌های فولادی از لوله‌های اپوکسی تقویت شده با الیاف شیشه استفاده می‌شود. با استفاده از فرایندهای جدید خودکار تولید الیاف شیشه بافته شده می‌توان لوله‌هایی با کیفیت یکنواخت و دلخواه تولید کرد. این لوله‌ها می‌توانند برای مدت طولانی در دماهای ۱۱۰°C تا ۱۳۰°C به کار گرفته شوند. از این لوله‌ها می‌توان برای انتقال فاضلاب پالایشگاهها، آب دریا و همچنین در سیستمهای خنک کنندهٔ تحت فشار استفاده کرد. اتصال این لوله‌ها به یکدیگر به روشی مشابه سیمانکاری و آب‌بندی به وسیله واشرهای لاستیکی، انجام می‌گیرد (شکل ۳).



شکل (۳) لوله‌ها و اتصالات از پیش ساخته شده برای کاربردهای در دما و فشار بالا

پیش‌بینی میزان خورندگی در طراحی خطوط لولهٔ صنایع شیمیایی براساس دو پارامتر مهم، یعنی محیط اطراف و موادی که از داخل لوله می‌گذرند، انجام می‌گیرد. به‌طور کلی مزیت عمدهٔ لوله‌های پلاستیکی به فولادی مقاومت آنها در برابر مواد شیمیایی و اکسایش است. لوله‌های از نوع PVC سخت، ABS و پُلی اولفینها مقاومت خوبی در برابر خورندگی دارند و مقاومت مکانیکی این لوله‌ها در کمتر از ۱۰۰°C خوب است.

در سالهای اخیر افزایش تقاضا برای لوله‌هایی که بتوانند تحت شرایط شدید خورندگی برای مدت زمان طولانی و بدون نیاز به تعمیرات مورد استفاده قرار گیرند، باعث پیشرفت و تکامل روشهای تولید لوله‌های پلیمری شده است[6]. معمولاً پلیمرهای گرما نرم به صورت لوله اکسترود می‌شوند. اتصالات و شیرآلات پلیمری گرمانرم قالب‌گیری می‌گردند.

مهمترین لوله‌های پلیمری که برای انتقال مواد خورنده به کار می‌روند عبارت‌اند از:

لوله‌های PVC ــ قسمت عمدهٔ لوله‌های PVC سخت برای انتقال آب و بخش قابل ملاحظه‌ای برای انتقال مایعات خورنده به کار می‌روند. مقاومت شیمیایی و گرمایی لوله‌های PVC نرم کم است. لوله‌های PVC سخت در برابر محلول اسیدهای رقیق معدنی، مواد قلیایی و نمکها تا ۵۰°C مقاومت خوبی دارند.

لوله‌های اکریلونیتریل ــ بوتادی ان ــ استیرن (ABS) برای انتقال فاضلاب و کاربردهای دیگر مناسب‌هستند. مقاومت در برابر ضربه لوله‌های ABS از PVC بیشتر است ولی مقاومت لوله‌های PVC سخت در برابر مواد خورنده بیشتر می‌باشد.

لوله‌های پلی اتیلن ــ لوله‌های پلی اتیلن با جرم مخصوص کم (L.D.P.E) در برابر محلول رقیق اسیدهای غیر اکسنده، نمکها، مواد قلیایی و حلالهای قطبی برای کاربردهای تا ۳۵°C مناسب هستند. لوله‌های پلی‌اتیلن با جرم مخصوص زیاد (H.D.P.E) از نظر سختی، مقاومت شیمیایی و گرمایی بهتر از لوله‌های پلی اتیلن با جرم مخصوص کم‌هستند. مقاومت شیمیایی، گرمایی و سختی لوله‌های پلی پروپیلن (PP) بهتر از لوله‌های پلی اتیلن است ولی در کاربردهای کمتر از ۱۰°C شکننده‌اند.

لوله‌های پلی‌تترا فلوئور و اتیلن (PTFE)

مقاومت خیلی خوبی در برابر محلول گرم اسیدها، مواد قلیایی، نمکها و حلالهای آلی دارند ولی از نظر قیمت گرانتر از لوله‌های PVC و ABSهستند. لوله‌های پلی وینیلیدین فلوئورید (PVDF) برای مبدلهای حرارتی انتقال مواد خورنده با موفقیت خوبی به‌کار رفته‌اند.

سایر لوله‌ها

لوله‌های پلی استال، نایلونی، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، پلی کربنات (PC) و پلی‌فنیلن اکسید (PPO)، مقاومت خیلی خوبی در برابر خورندگی دارند و می‌توان از آنها تا ۱۰۰°C به‌طور مداوم استفاده کرد. این پلیمرها برای ساخت شیرآلات و اتصالات به‌روش قالب‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سازه‌های از جنس پلیمرهای گرما نرم

ورقه‌های از جنس پلیمرهای گرما نرم مانند *PVC, HDPE, PP* و *ABS* با استفاده از روش شکل‌دهی گرمایی (*Thermoforming*)، قالب‌گیری و جوش‌کاری به‌صورت مخازن، لوله‌ها و سایر سازه‌های مقاوم در برابر خورندگی در می‌آیند. به‌عنوان مثال از جعبه‌های قالب‌گیری شده پلی پروپیلن برای باطری می‌توان نام برد.

لوله‌ها، مخازن و سازه‌های پلاستیکی تقویت شده با الیاف شیشه

استفاده از پلاستیکهای تقویت شده با الیاف شیشه، راه حل اقتصادی و عملی خوبی برای تولید مخازن ذخیرهٔ مواد نفتی است. طول عمر مفید این مخازن اغلب بیشتر از فولاد است. قسمت تحتانی در مقایسه با دیواره‌های این مخازن در معرض خورندگی شدیدتری قرار دارد (شکل ۵). عموماً خورندگی شدید قسمت تحتانی این مخازن را در اثر محتویات داخلی، یا تماس با زمین یا تشکیل یک لایه آب در تماس مستقیم با قسمت تحتانی می‌دانند.

لوله‌های از جنس پلیمرهای گرما نرم تقویت شده با الیاف شیشه خواص فیزیکی و شیمیایی خوبی دارند. اگر از گرافیت به‌جای الیاف شیشه استفاده شود خواص فیزیکی و شیمیایی بهتری بدست می‌آید ولی معمولاً از نظر قیمت گرانتر تمام می‌شود. لوله‌های ساخته شده از مواد گرما نرم پلاستیکی مانند نایلونها، پلی استالها، پلی‌استرها، پلی کربناتها و پلی فلوئوروواتیلن با مخلوطی از الیاف تقویتی شیشه بهترین مقاومت گرمایی، شیمیایی و مکانیکی را دارند.

لوله‌های تقویت شده از جنس پلیمرهای گرما سخت، مانند پلی استرهای غیر اشباع تقویت شده با الیاف شیشه در برابر اسیدها مقاوم هستند ولی مقاومت آنها در برابر مواد قلیایی خوب نیست. این لوله‌ها برای تولید قایقها و سایر سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. رزینهای با مقاومت شیمیایی بیشتر مانند رزینهای اپوکسی تقویت شده با الیاف شیشه برای ساخت لوله‌های انتقال‌دهندهٔ مایعات خورنده مناسب هستند. این لوله‌ها به روش قالب‌گیری سانتریفوژ تولید می‌شوند. مخلوط رزین اپوکسی با وزن مولکولی نسبتاً کم همراه با الیاف شیشه و کاتالیزور در داخل قالب گرما می‌بینند، چرخانده می‌شود و شکل قالب را به خود می‌گیرد. لوله‌های تولید شده در برابر اسیدهایی که خاصیت اکسندگی ندارند و مواد قلیایی تا ۸۰°C مقاومت دارند. اتصالات و زانویی این لوله‌ها باید جداگانه قالب‌گیری شوند. استانداردهای مربوط به این اتصالات *ASTM - D 3262, D - 2997* هستند.

مخازن نسبتاً کوچک از ورقه‌های پلاستیکهای تقویت شده گرما نرم به‌روش قالب‌گیری تولید می‌شوند (*Sheet Moulding Compounds S. M. C*). همچنین می‌توان این مخازن را با استفاده از روش قالب‌گیری بادی (*Blow moulding*) از مخلوط رزین، الیاف شیشه، پرکننده و کاتالیزور تولید کرد (*Blow Moulding Compounds B. M. C*).

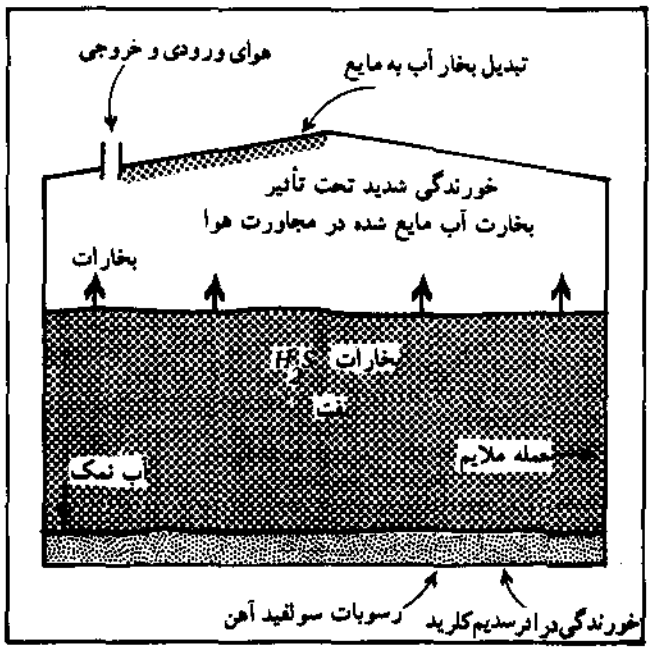
ـ تولید مخازن نسبتاً بزرگ از جنس پلاستیکهای تقویت شده به روش افشاندن (*spraying*) انجام می‌گیرد. این مخازن را می‌توان ابتدا به‌صورت قطعات جداگانه قالب‌گیری نمود و سپس به یکدیگر متصل کرد. در طراحی این مخازن باید از گوشه‌های تیز پرهیز شود (شکل ۷). تجربه و نتایج آزمایشهای انجام شده نشان می‌دهند که رزینهای اپوکسی ـ نووالاک، وینیل استر و رزین فیوران برای این مخازن مناسب هستند. [7]

در سازه‌های پلاستیکی تقویت شده با الیاف رابطهٔ مستقیمی بین کیفیت سازه و پلاستیک تقویت شده مصرفی برای آن وجود دارد. انتخاب رزین، طراحی صحیح سازه و انتخاب روش تولید مناسب، مهمترین پارامترهای کنترل‌کننده هستند. سازه‌های پلاستیکی تقویت شده با الیاف (*FIBRE REINFORCED PLASTICS*) معمولاً با روش روی هم قرار دادن با دست (*hand lay-up*) یا افشاندن رزین غیر اشباع بر روی الیاف شیشه ساخته می‌شوند. رزینهای اپوکسی، فنولی، فیوران و وینیل استر در برابر شعله مقاومت بیشتری نسبت به رزینهای غیر اشباع دارند و برای دودکشهای صنعتی مناسب هستند. دودکشهای صنعتی به ارتفاع بیش از سی متر و قطر چهار متر ساخته شده از پلاستیکهای تقویت شده برای سالها قابل استفاده بوده‌اند.

شکل (۴) مخازن و لوله‌های پلاستیکی تقویت شده با الیاف شیشه در یک کارخانه پتروشیمیایی

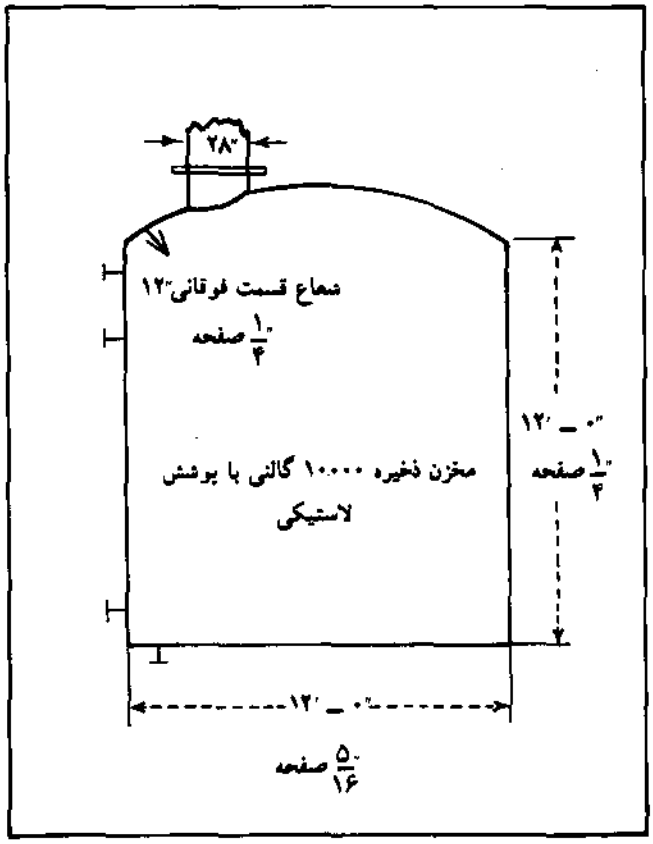
راهنمای انتخاب پلاستیکهای مقاوم در برابر خورندگی

انتخاب پلاستیک مناسب برای کاربرد در محیطهای خورندهٔ شیمیایی بر اساس ساختار مولکولی، خواص فیزیکی و شیمیایی آنها انجام می‌گیرد. اکثر پلاستیکهای غیر محلول در آب در مقابل محلول رقیق نمکها و مواد قلیایی مقاوم هستند. تعداد زیادی از پلاستیکها در برابر اسیدهای غیر اکسنده مانند محلول ۲۵ درصد سولفوریک اسید و حلالهای قطبی نظیر اتانول مقاومت خوبی دارند. تعداد کمی از پلاستیکها در برابر اسیدهای اُکسنده مانند نیتریک اسید بیست درصد و حلالهای غیر قطبی مانند بنزن مقاومت دارند. خصوصیات پلاستیکها بر حسب فرمول شیمیایی



شکل (۵) مناطق و علّت خورندگی در یک مخزن ذخیره نفت خام یا ناخالصی ترکیبات گوگردی

و روش ترکیب و فرایند تولید فرق می‌کند و انتخاب نهایی باید بر اساس آزمایشهای متوالی بر روی این مواد صورت گیرد. در انتخاب پلاستیک

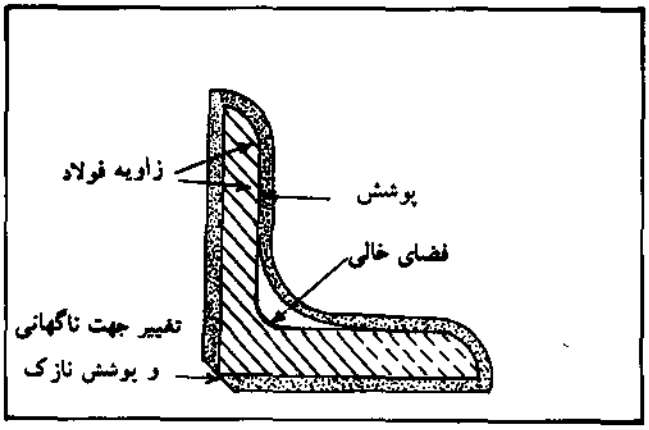


شکل (۶) یک مخزن ذخیره با پوشش لاستیکی و ظرفیت ۱۰۰۰۰ گالن

مناسب برای کاربرد مورد نظر اطلاعات مربوط به خصوصیات زیر[2] از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است: (در جدولهای (۱) و (۲) و (۳) مقادیر عددی مربوط به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و گرمایی چند نمونه پلاستیکی ارائه شده است).

انبساط گرمایی

انبساط گرمایی اکثر پلاستیکها بیشتر از فلزات است، بنابراین اطّلاعات مربوط به ضریب انبساط گرمایی خطی پلاستیکها مهم است. یکی از مشکلات عمدهٔ کاربرد پوششهای پلیمری تنشهای حاصل از تغییرات دما و اختلاف نسبتاً زیاد ضرایب انبساط گرمایی لایه پوشش پلیمری و فلز پایه است.



شکل (۷) فضای خالی بوجود آمده بین پوشش و فلز پایه، در معرض خورندگی شدید خواهد بود.

معمولاً تغییرات دما در صورت وجود اختلاف ضرایب گرمایی بین لایه پوشش پلیمری و فلز پایه باعث ایجاد تنشهایی در پیوندهای بین پوشش پلیمری و فلز پایه می‌گردد که سرانجام این امر باعث کنده شدن لایه پوشش پلیمری از سطح فلز پایه می‌شود.

دمای خمشی

اکثر پلاستیکها در دماهایی بالاتر از ۱۰۰°C تحمل بار سنگین را ندارند و تغییر شکل می‌دهند. برای کاربردهای بالاتر از دمای اطاق (۲۳°C) کسب اطلاعات مربوط به خصوصیات گرمایی پلاستیکها ضروری است. دمای خمشی پلاستیکهای سخت مطابق روش استاندارد-*ASTMD 668* تحت تأثیر نیروی ۲۶۴*psi* اندازه‌گیری می‌شود و دمای کاربردی معمولاً چند درجه پایینتر از دمای خمشی انتخاب می‌گردد.

مقاومت در برابر ضربه

میزان سختی پلاستیکها با تعیین مقاومت آنها در برابر ضربه مشخص می‌شود. بهترین روش تعیین مقاومت پلاستیکها در برابر ضربه

جدول (۱) ــ خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌هایی از پوششهای پلیمری

خصوصیات	رزین اپوکسی		پلی وینیل‌کلرید (PVC)		پلی پروپیلن (PP)	
	رزین اپوکسی	رزین اپوکسی + الیاف شیشه	نرم	سخت	بدون پُرکننده	با پرکننده (۴۰٪ تالک)
	۱۴۰	۱۵۰	—	۶۵	۵۵	۱۰۰
	۱۲۰	۱۳۵	۳۵	۶۰	۱۰۰	۱۲۰
	۲/۵	۲	۱۲/۵	۴	۹	۶/۵
	۱۲۰۰۰۰	۲۰۶۸۵۰	۶۸۹۵	۶۸۹۵۰	۴۹۸۰۰	۵۶۰۰۰
	۱۲۴۱۰۰	۱۰۳۴۰۰	۳۴۴۸۰	۳۴۴۸۰۰	۴۹۸۰۰	۵۶۵۰۰
	۵۳/۴	۵۳/۴	—	۲۷	۲۷	۲۷
	۱۵۱۷۱۰	۸۲۷۴۰	۱۰۳۴۰	۴۲۸۰۰	۳۴۵۰۰	۳۰۰۰
	۵	۴	۲۰۰	۵۰	۱۰۰	۵
	M۹۰	M۱۰۵	—	—	R۸۰	R۶۰
	۱/۴	۱/۸	۱/۴	۱/۴	۰/۹۰	۱/۲۲

جدول (۲) ــ خصوصیات برجسته نمونه‌هایی از پوششهای پلیمری

حداکثر دمای قابل استفاده (°F)	ضریب انبساط گرمایی برای °F × ۱۰۶	مقاومت کششی PSI	مدول کشسانی PSI × ۱۰۶
۱۴۰	۳۰	۷۰۰۰	۰/۳ ــ ۰/۱۶
۲۰۰	۳۸	۷۵۰۰	۰/۳ ــ ۰/۵
۱۸۰	۵۰ ــ ۳۸	۵۰۰۰	۰/۲
۲۷۵	۷۰ ــ ۵۰	۵۰۰۰	۰/۲
۳۰۰	۶۰ ــ ۵۰	۳۰۰۰	۰/۰۵
۲۵۰	۱۵	۱۰۰۰۰	۱
۲۰۰ (مرطوب)	۱۴	۳۵۰۰	—
۱۸۰	—	۱۰۰۰	۰/۰۰۳
—	۶/۵	۵۰۰۰۰	—

جدول (۳) ــ مقاومت شیمیایی نمونه‌هایی از پوششهای پلیمری

اسیدهای قوی	بازهای قوی	هالوژنهای کلردار هیدروکربنی	استرها و کتونها	اکسنده‌های قوی
م	م	ض	ض	ض
م	م	م	ض	ض
خ	خ	خ	م	ض
خ خ	خ	خ خ	خ خ	خ خ
خ	خ	خ	خ	خ
خ خ	خ خ	خ خ	خ خ	خ خ

خوب = خ مناسب = م ضعیف = ض خیلی خوب = خ خ

آزمون ضربه ایزود است (*Izod Impact Test*) در این آزمون، مقاومت در برابر ضربه یک نمونه پلاستیکی با ابعاد و بریدگیهای مشخص و استاندارد اندازه‌گیری می‌شود.

مقاومت کششی

اگر یک قطعه پلاستیکی به هنگام کاربرد تحت تنش باشد، اطلاعات مربوط به مقاومت کششی آن ضروری است. نسبت مقاومت کششی به افزایش طول یا نیروی کشسانی، میزان سختی نمونه پلاستیکی را مشخص می‌سازد.

مقاومت در برابر خراشیدگی

مقاومت در برابر خراشیدگی پلاستیکها برای بعضی از کاربردها می‌تواند مهم باشد.

جرم مخصوص

از نظر اقتصادی و تصمیم‌گیری در مورد وزن قطعات پلاستیکی، جرم مخصوص می‌تواند پارامتر مهمی باشد.

REFERENCES

[1] Verney Evans, Plastics as Corrosion Resistant Materials Pergamon Press (1966)

[2] Charles. G. Munger, Corrosion Prevention, National Association of Corrosion Eng. (NACE), (1984)

[3] Tator, K. Chem Eng, 59, No 12, 144 (1952)

[4] Seymour, R.B, NACE Tech Unit Comm. T – 6 A Material Protection 2, No 11, 92 (1963).

[5] Graver, K.J. Organic Coatings and Plastics, Applied Polymer Science & Amer. Chem. Soc, P. 518 (1975)

[6] Susan Royse, Getting Thermoset Out of Corrosion Control, Process Eng. Journal, Jan. 1988.

[7] Munger, C.E, Good Design Can Prevent Corrosion Problems. Plant Eng. July (1964)

[8] Lock, Jim, New Answers to Old Corrosion Problems, Processing Apr. 1988