



گروه پژوهشی و صنعتی پارسیان فن باران

شماره ثبت ۲۷۸۸۶۹ (سهامی خاص)

PARSIAN

Tech . Research & Industrial group



شرکت ملی گاز ایران

آموزش و تجهیز نیروی انسانی



روش های اعمال و انتخاب پوشش

آموزش و تجهیز نیروی انسانی



گروه پژوهشی و صنعتی پارسیان فن یاران

نمارة ثبت ۲۷۸۸۶۹ (سهایی خاص)

PARSIAN

Tech . Research & Industrial group



شرکت ملی گاز ایران

آموزش و تجهیز نیروی انسانی

نام کتاب: روش های اعمال و انتخاب پوشش
مؤلف: گروه پژوهشی و صنعتی پارسیان فن یاران

Parsian.fanyaran@yahoo.com - <http://www.parsiantech.ir>

۰۲۱ - ۲۲۸۱۲۵۰۷ / ۲۲۸۱۲۵۰۸

ویراستار علمی: مهندس سعید آخوند نصب - مهندس فرید بن سعید

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۱۵۰ نسخه

ناشر: انتشارات داخلی شرکت ملی گاز ایران

سال نشر: آبان ماه یک هزار و سیصد و هشتاد و نه

آدرس: تهران - میدان هفت تیر - خیابان مفتح جنوبی - خیابن شیرودی - پلاک هشت - ساختمان

آموزش - شرکت ملی گاز ایران - طبقه دوم - آموزش فنی و تخصصی

تلفن: ۰۲۴-۸۱۳۱۵۷۲۰-۲۱-۸۱۳۱۵۷۴۴

مقدمه آموزش فنی و تخصصی:

اهداف اصلی هر سازمان را می توان در دو عنوان بیان کرد؛ جلب رضایت ارباب رجوع یا به عبارت دیگر مشتری مداری و سود آوری سازمان. سازمان ها برای رسیدن به اهداف خود اقدام به وضع قوانین و قراردادهای خاصی جهت طی این فرآیند می نمایند. قراردادهای وضع شده تحت استانداردهای مشخص از منابع هر سازمان که شامل منابع انسانی و منابع اطلاعاتی و منابع مادی می باشند استفاده کرده تا به اهداف تعیین شده دست یابند. جدای از سه محور اصلی یعنی منابع ، فرآیند و اهداف سازمان ، آنچه این چرخه را از لحاظ درستی عملکرد تضمین می نماید بازبینی و نظارت مستمر مؤثر واحدهای سنجش عملکرد سازمان با قراردادهای وضع شده می باشد هرگونه عدم تطابق عملکرد یک یا چندین واحد مختلف از سازمان با استانداردهای تعیین شده برای آن سازمان یک مساله و مشکل به حساب می آید که در چرخه ذکر شده اثر نامطلوبی خواهد داشت . منابع هر سازمان اساس فعالیت و راهکارها محسوب می شود. داده ها و اطلاعات هر سازمان نسبت به دو منبع دیگر (منابع انسانی و منابع مالی) از جایگاه ویژه ای برخوردار است. از آنجا که موفقیت کارکنان ریشه در اطلاعات و آگاهی افراد سازمان از قوانین و استانداردهای وضع شده و داده ای مختلف مرتبط با نوع فعالیت آنها داشته و نقش جهت دهی به کارکنان را بر عهده دارد. منابع انسانی با آموزشهایی که راستای ارتقای سطح دانش فردی و گروهی می بینند به نوعی فرآیند رسیدن به اهداف مورد نظر از طریق راهکار سازمان را تعیین می کنند. آموزشهای هدفمند خود نیز بر اساس منابع اطلاعاتی استوارند که در اثر تجربیات گذشته و مراحل آزموده شده قبلی بدست آمده اند. مبنی بر این دیدگاه میزان اثر بخشی فعالیت های سازمان در جهت رسیدن به اهداف والای خود رابطه مستقیم با منابع سازمان داشته و پرورش کارکنان و آگاهی بخشی به آنها نیز با میزان سودمند

بودن منابع اطلاعاتی رابطه مستقیم دارد. منابع اطلاعاتی سازمانها را مستندات می چون کتب و جزوات آموزشی تایید شده توسط واحدهای مرتبط با سطح سنجی منابع آموزشی تشکیل می دهد. از این رو آموزش و تجهیز نیروی انسانی شرکت ملی گاز ایران در راستای اهداف خود و استانداردهای دوره های آموزشی ویکسان نمودن منابع تدریس اقدام به تهیه کتاب های آموزشی مرتبط با هر دوره آموزشی نموده است که منطبق با سرفصل آن دوره می باشد. کتابی که در پیش رو دارید توسط گروه پژوهشی و صنعتی پارسیان فن یاران تهیه شده و منبع اصلی تدریس دوره آموزشی روش های اعمال و انتخاب پوشش با کد آموزشی ۱۷۹۰۷ می باشد که ضمن تشکر از ایشان لازم است کلیه ادارات آموزش شرکت های تابعه جهت تدریس آن دوره از این منبع استفاده نمایند امید است همکاران با ارائه نظرات و پیشنهادات از طریق آدرس الکترونیکی training.nigc@gmail.com ما را در این امر مهم همچون گذشته یاری نمایند.

آموزش فنی و تخصصی شرکت ملی گاز ایران

آبان ماه ۱۳۸۹

پیشگفتار

خوردگی از مهمترین مشکلاتی است که صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و از جمله خطوط لوله زیرزمینی با آن روبرو هستند که مقابله با آن هزینه زیادی را به خود اختصاص می دهد. شایعترین خوردگی ایجاد شده در خطوط لوله زیر زمینی مربوط به خوردگی خارجی لوله ها می باشد که ناشی از تخریب پوشش لوله بوده و با تخریب پوشش لوله ها شرایط جهت ایجاد خوردگی در سطوح خارجی لوله فراهم می گردد.

خوردگی در زیر پوشش لوله شامل خوردگی یکنواخت، حفره دار شدن و خوردگی شیاری می باشد. این گونه خوردگی ها بسیار پر درد سر بوده و رفع این گونه عیوب مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می باشد. چرا که ردیابی این عیوب نسبت به عیوب رایج دیگر، به راحتی امکان پذیر نمی باشد.

جهت جلوگیری از خوردگی تجهیزات مدفون در خاک و تجهیزات در معرض اتمسفر محیط استفاده از پوشش های صنعتی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و کاربرد فراوانی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی دارد. به طور کلی پوشش ها به سه دسته پوشش های آلی، معدنی و فلزی تقسیم بندی می شوند. شناخت نوع هر پوشش از نقطه نظر خواص حفاظتی آن در شرایط مختلف محیطی از الزامات طراحان ومهندسان می باشد. همچنین نوع عملیات آماده سازی سطح و همچنین مکانیزم های خوردگی جهت هرپوشش نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مجموعه ابتدا در خصوص روش های آماده سازی سطح سپس مبانی پوشش و انتخاب آن و در آخر خواص انواع پوشش های رایج در صنایع مختلف به اجمال آورده شده است.

مهندس حسین کهتری

گروه پژوهشی و صنعتی پارسیان فن یاران

Parsian.fanyaran@yahoo.com

آبان ماه ۱۳۸۹

روش های اعمال و انتخاب پوشش

عنوان دوره: روش های اعمال و انتخاب پوشش		کد دوره: ۱۷۹۰۷	مدت: ۲۵ ساعت
شرایط شرکت کنندگان: تکنسین و کارشناسان فنی و تخصصی			
نوع پودمان: تخصصی		سطح: کاردانی - / کارشناسی	پیش نیاز: خوردگی فلزات
امکانات اجرایی: <input checked="" type="checkbox"/> کلاس <input checked="" type="checkbox"/> کارگاه <input checked="" type="checkbox"/> آزمایشگاه <input checked="" type="checkbox"/> فیلم/CD <input checked="" type="checkbox"/> جزوه <input checked="" type="checkbox"/>			
اهداف آموزشی: فراگیران با خوردگی های خاص صنعت نفت و گاز و راه کارهای مقابله با آنها آشنا می شوند .			
جزء پودمان	محتوا	زمان /ساعت	
خوردگی و روشهای جلوگیری از آن	مقدمه ای بر خوردگی فلزات، خوردگی در خطوط لوله و ایستگاه های تقویت فشار، خوردگی در شبکه های گازرسانی، خوردگی در اتصالات و شیرها، تقسیم بندی شرایط جوی از نظر خوردگی، عیوب در پوشش ها، جدایش کاتدی	۶	
آماده سازی سطح	تمیزی سطح و اهداف آن، بلاستینگ، تمیز کاری با بخار آب، موآند ساینده و خصوصیات آن ها و دستگاه های مربوطه، استانداردهای درجه آماده سازی سطح و رنگ	۶	
مبانی پوشش	رئولوژی و کاربرد آن در رنگ، شیمی سطح، خواص پوشش بعد از اعمال، آزمایش های چسبندگی، روش های تشخیص عیوب پوشش، خوردگی های زیر پوششی، علل عدم انتخاب پوشش	۶	
انتخاب پوشش	عوامل مهم در انتخاب پوشش، محیط پوشش، طول عمر پوشش، نگه داری و تعمیرات	۲	
انواع پوشش	پوشش های فلزی، پوشش های غیر فلزی، سیلیکون ها، آزمون ها و استانداردهای پوشش	۴	

فهرست مطالب

مقدمه

فصل اول ۱

خوردگی و روشهای جلوگیری از آن ۲

۱-۱- مقدمه ای بر خوردگی فلزات

۱-۲- اصول خوردگی

۱-۳- خطوط لوله

۱-۳-۱- خوردگی خطوط اصلی انتقال

۱-۳-۲- خوردگی ایستگاه های تقویت فشار

۱-۳-۳- خوردگی در شبکه های گازسانی

۱-۳-۴- اتصالات و ولوها

۱-۴- خوردگی در سطح داخلی لوله ها

۱-۵- خوردگی در سطح خارجی لوله ها

۱-۶- تقسیم بندی شرایط جوی از نظر خوردگی

۱-۶-۱- اتمسفر روستایی

۱-۶-۲- اتمسفر شهری

۱-۶-۳- اتمسفر صنعتی.

۱-۶-۴- اتمسفر دریایی.

۱-۶-۵- اتمسفر داخلی

۱-۷- عیوب اولیه در پوششها.

۱-۸- عیوب ثانویه در پوششها.

۱-۸-۱- جدایش کاتدی.

جمع بندی و نتیجه گیری

پرسش و پاسخ

فصل دوم ۲۹

آماده سازی سطح ۳۰

۲-۱- تمیزی سطح و هدف از آن

۲-۱-۱- اهمیت آماده سازی سطح

۲-۲- بلاستینگ بوسیله خلاء

۲-۳- بلاستینگ بوسیله آب.

۲-۳-۱- تمیز کاری با بخار آب تحت فشار.

۲-۴- مواد ساینده.

۲-۴-۱- اندازه.

۲-۴-۲- شکل.

۲-۴-۳- ترکیب شیمیایی.

۲-۴-۴- pH

۲-۴-۵- درصد رطوبت موجود.

- ۲-۴-۶- درصد روغن موجود _
- ۲-۴-۸- ثبات وزن در اثر حرارت _
- ۲-۴-۹- وزن مخصوص _
- ۲-۴-۱۰- قابلیت تهیه _
- ۲-۴-۱۱- قیمت _
- ۲-۴-۱۲- سختی _
- ۲-۴-۱۳- طبقه بندی ساینده ها _
- ۲-۴-۱۴- انواع ساینده ها _
- ۲-۴-۱۵- رده بندی ساینده ها _
- ۲-۴-۱۶- درجه بندی ساینده ها براساس عمق پروفایل _
- ۲-۵- بررسی دیگک ماسه _
- ۲-۶- فشار کار دستگاه _
- ۲-۷- استانداردهای درجات آماده سازی سطح _
- ۲-۷-۱- طبقه بندی میزان آلودگی سطح _
- ۲-۷-۲- طبقه بندی میزان تمیزی سطح _
- ۲-۸- حداقل آماده سازی مورد نیاز برای پوششها _
- ۲-۹- ایمنی _
- ۲-۱۰- درجات زنگ _
- جمع بندی و نتیجه گیری _

پرسش و پاسخ.

فصل سوم..... ۷۳

مبانی پوشش ۷۴

۱-۳- رئولوژی

۱-۱-۳- انواع سیالات

۲-۱-۳- کاربرد رئولوژی در رنگ

۳-۱-۳- رفتار رئولوژیکی رنگ قبل از اعمال

۴-۱-۳- رفتار رئولوژیکی رنگ بعد از اعمال

۲-۳- شیمی سطح

۳-۳- خمها و انحناء سطح

۴-۳- خواص پوشش بعد از اعمال

۱-۴-۳- چسبندگی مناسب

۲-۴-۳- مقاومت شیمیایی

۳-۴-۳- مقاومت در برابر عبور یونی

۴-۴-۳- مقاومت به خوردگی سایش

۵-۴-۳- مقاومت به گذشت زمان (Aging)

۶-۴-۳- مقاومت دمایی.

۷-۴-۳- مقاومت به رطوبت.

۸-۴-۳- جذب کم آب.

۹-۴-۳- توانایی انبساط و انقباض.

۳-۴-۱۰- مقاوم به شرایط جوی-

۳-۴-۱۱- مقاومت به تشعشع-

۳-۵- تستهای چسبندگی-

۳-۶- روشهای تشخیص عیب-

۳-۷- علل عدم چسبندگی پوشش-

۳-۷-۱- پیوندهای شیمیایی-

۳-۷-۲- پیوندهای قطبی-

۳-۷-۳- پیوندهای مکانیکی-

۳-۸- انواع خوردگی زیر پوشش-

جمع بندی و نتیجه گیری-

پرسش و پاسخ-

فصل چهارم ۱۰۱

انتخاب پوشش ۱۰۲

۴-۱- محیط پوشش

۴-۲- طول عمر

۴-۳- هزینه

۴-۴- نگهداری و تعمیرات

جمع بندی و نتیجه گیری

پرسش و پاسخ

فصل پنجم ۱۱۰

انواع پوشش ۱۱۱

۱-۵- پوششهای فلزی

۱-۱-۵- روشهای اعمال پوششهای فلزی

۲-۱-۵- پوششهای مقاوم حرارتی

۳-۱-۵- تخریب پوششها

۴-۱-۵- پایداری پوشش

۲-۵- پوششهای غیر فلزی

۱-۲-۵- پرایمر

۲-۲-۵- اکریلیکها

۳-۲-۵- رزینهای الکییدی

۴-۲-۵- پوششهای قیری

۵-۲-۵- اپوکسی Coal Tar

۶-۲-۵- پلی آمیدها

۷-۲-۵- پلی اورتان-

۸-۲-۵- رزینهای محلول در آب-

۹-۲-۵- رنگهای غنی از روی

۱۰-۲-۵- سیلیکونها

۳-۵- آزمایشات و استانداردهای مربوط به پوشش

۱-۳-۵- آزمونهای تعیین مشخصه های فیزیکی

۵-۳-۲- آزمونهای تعیین مشخصه مکانیکی

۵-۳-۳- آزمونهای شیمیایی و محیطی

جمع بندی و نتیجه گیری

پرسش و پاسخ-

مراجع ۱۷۰

فصل اول

خوردگی و روش های جلوگیری از آن

خوردگی به شکل‌های گوناگونی در زندگی روزمره به چشم می‌خورد. نقاط و حفره‌های قرمز مایل به نارنجی در تجهیزات، نشتی مخازن آب داغ، آب تیره خروجی از داخل شیرها و همچنین میخ‌ها، چنگک‌ها، لوله‌ها، کانالها و بیلچه‌ها، کتریهای روستایی، ماهی‌تابه‌ها، کارد و چنگال، قوطی‌های حلبی و سیخ‌های کباب‌خورده شده نمونه‌های متداولی از خوردگی هستند. خوردگی با دید غیر تخصصی، اغلب بر کهنگی تجهیز دلالت داشته و قابل چشم‌پوشی و بی‌ارزش است. بنابراین، خوردگی بیانگر کاهش قابل توجه در ارزش یک جسم جامد است که در معرض یک برخورد شیمیایی مستقیم قرار گرفته است.

برخی تعابیر مهندسان نمای دیگری را ظاهر می‌سازد:

این‌طور نیست، ما هیچ‌گونه مشکل خوردگی در این کارخانه نداریم. پمپ‌ها هر شش هفته یکبار از سرویس خارج شده و جایگزین می‌گردند. ما اینجا آهن قراضه‌ها را دور می‌ریزیم، به محض اینکه بتوانیم باربر ریلی را پرکنیم، ضایعات را به گودالی واقع در ۱۰۰ مایلی اینجا منتقل و آنها را دفن می‌کنیم. موقعی که خوردگی، تمامی تجهیزات را از بین ببرد، ما روی زمین تاسیساتی خواهیم ساخت.

از این عبارات، چنین برداشت می‌شود که این مهندسان از عواقب جدی خوردگی غافل‌اند. فرودگاه‌ها، نیروگاه‌ها، سازه‌های بتونی تقویت شده همچون پلها، ساختمانهای بلند و کارخانه‌های شیمیایی، تنها تعدادی از تاسیساتی هستند که توسط مهندسان طراحی، مورد اجرا و نگهداری واقع می‌شوند. از این رو، در چارچوب مسئولیت مهندسان است که از علم کافی جهت محافظت اماکن عمومی از خطرات ناشی از خوردگی برخوردار باشند. همان‌گونه که از عبارت ذکر شده قبل بر می‌آید، پایه علمی بسیاری از مهندسان، نسبت به دلایل خوردگی و روشهای موجود جهت جلوگیری و یا کاهش آثار آن، به‌طور تاسف‌باری ضعیف است.

خوردگی، به‌طور اقتصادی و جدی یک مشکل علم مواد است. همین‌طور که منابع، مورد استفاده واقع می‌شوند، در آینده، نگهداری و بازیافت، شعار - نه راهگشا خواهد شد و مهندسی خوردگی از اهمیت بسیار برخوردار خواهد گردید. با ورود به قرن بیست و یک، علم خوردگی به جایگاه رفیع خود در سطح دنیا دست یافته است.

صدها دلار توسط در دنیا هزینه می شود تا خودروها از طریق اعمال پوششی از روغن جهت طولانی نمودن عمر وسیله نقلیه، ضد زنگ شوند. کارخانه های خودروسازی، مقادیر هنگفتی پول، هزینه نموده اند تا به مواد جدیدی دسترسی یافته و مورد آزمایش قرار دهند که در مقابل خوردگی در موتور وسیله نقلیه مقاومت کنند. فناوری جلوگیری از خوردگی، راهکارهای زیادی برای کاهش خوردگی در خودروها با موفقیت در اختیار آنها گذارده است. به عنوان نمونه، آندهای فدا شونده جهت مقابله با خوردگی خودروها می توانند مورد استفاده واقع شوند. این کار، قطعاً قیمت خودرو را افزایش می دهد اما این عمل سبب افزایش عمر خودروها خواهد شد.

ظروف آشپزخانه و ماهی تابه ها که از فولاد زنگ نزن ساخته شده اند، به خوبی در فروشگاهها به فروش می رسند زیرا در برابر خوردگی مقاوم بوده و از سطوح جذابی برخوردارند. همچنین، لحاظ نودن پوشش لعاب شیشه ای روی مخازن فولادی محتوی آب داغ جهت جلوگیری از خوردگی متداول است. رنگ زدن نیز به طور موثری برای محافظت فولاد و سایر ساختارهای فلزی دیگر در برابر خوردگی بکار می رود. در حال حاضر، عمده لوله ها و اتصالات مصرفی در لوله کشیها، از پلاستیک ساخته شده اند و در برابر خوردگی مقاوم اند.

افراد جامعه، عموماً از مسئولیت بالایی که توسط خوردگی بر عهده علم گذارده شده بی اطلاع اند. کارخانه های تهیه آب نیازمند آزمایش دوره ای آب شرب اند تا امکان آشامیدن و وضعیت و میزان خوردگی آن در سیستم لوله کشی خانگی تحت کنترل باشد. آلودگی آب آشامیدنی به دلیل خوردگی گالوانیکی لوله هایی با پایه سرب، می تواند باعث ایجاد موارد جدی از مسمومیت سرب گردد.

نیروگاهها از آلیاژهای خاص و گرانبها و سیستمهای تصفیه آب خنک کننده استفاده می کنند تا خوردگی را به حداقل برسانند. خطوط لوله انتقال جهت، چاههای گاز و پالایشگاههای نفت با مشکلات خوردگی فراوانی مواجه اند. تخریب پلهای بتونی، توقفگاه (پارکینگها) و سایر سازه ها به دلیل خوردگی فولاد مصرفی در بتون که از تماس محلولهای نمکی غلیظ مورد استفاده برای از بین بردن یخها ناشی می شود و می تواند خطری جدی برای مردم باشد. از این رو می توان به اهمیت علم خوردگی در تمامی صنایع پی برد.

در آینده مهندسی خوردگی بایستی جوابگوی انتظارات بیشتر و بیشتری باشند. مهندسی خوردگی بایستی با تخصص و کاربرد نبوغ خود جوابگوی مشکلات جدید بوده و آنها را حل نمایند. مسئله انرژی، کمبود مواد، و جنبه های سیاسی، فاکتورهای پیچیده کننده نسبتاً جدیدی هستند. شرایط غیرعادی امروز، فردا عادی خواهد بود. در گذشته تاکید بر توسعه آلیاژها و مواد بهتر و وسیع تر بوده و در آینده ممکن است آلیاژهای قابل قبولی جایگزین گردند. مثلاً ممکن است هنگامی که مقاومت کامل فولاد زنگ نزن ۱۸٪ کرم - ۸٪ نیکل ضروری نباشد بجای آن از آلیاژ آهن - ۶٪ کرم - ۶٪ آلومینیوم استفاده شود و مطالعه و درک بیشتری در زمینه خوردگی و جلوگیری از آن بکار رود. در آینده همکاری نزدیک بین مهندسی خوردگی و محققین اجباری است.

همکاری نزدیکتر بین مهندسی خوردگی (مهندسی مواد) و مهندسی طراح یک اجبار است. مهندس خوردگی بایست از شروع پروژه عضوی از تیم طراحی باشند. آنها نیز نقشه ها و دستورالعمل ها را تایید نماید. مهندسی خوردگی و طراحی بایستی جنبه های مکانیک شکست و همچنین روش های بازرسی و بررسی های غیر مخرب را بدانند.

نسبت به دهه قبل آگاهی ملی بیشتر شده است. شاهدی بر این مدعا مطالعه هزینه خوردگی تحت درخواست کنگره می باشد. این آگاهی افزایش خواهد یافت^۱ وان دوورده در مقاله "مواد مهندسی برای تکنولوژی پیشرفته در زمینه انرژی - نقطه نظرات اروپایی ها"^۲ بر بسیاری از نکاتی که در این قسمت در این فصل آمده است تاکید می کند.

بعنوان مثال سرمایه گذاری در تحقیقات در مهندسی مواد برای بقای تامین انرژی در اروپا و پتانسیل عظیم آن بعنوان یک حرفه در آینده را بایستی اعتراف نمود. "انستیتو تکنولوژی مواد برای صنایع شیمیایی" در ۱۹۷۷ تاسیس گردید. مصرف کنندگان و تولید کنندگان برای مطالعه دستورالعمل هایی که خسارات خوردگی در زمینه های مورد علاقه مشترک را کاهش دهد، مثل یکدیگر به این موسسه کمک می کنند. گروه های صنعتی دیگر نیز بایستی تشکیلات مشابهی بوجود آورند. این تلاش های مشترک از نظر هزینه مقرون به صرفه تر و موثرتر از تلاشهای فردی و پراکنده می باشد. در آینده تعداد زیادی کارخانجات که با محیط

^۱ در بودجه فدرال در سال ۱۹۸۵ بالغ به ۱ بیلیون دلار برای تحقیق و توسعه (R&D) در مهندسی و علم مواد بودجه درخواست شده (متریال پرفورمانس، مه ۱۹۸۴)

^۲ - Journal Of Metals, July (1983)

های خورنده سر و کار دارند ساخته خواهد شد. این ها شامل کارخانجات تبدیل ذغال سنگ، برق، پالایشگاه ها، سوخت های مصنوعی، چاههای نفت و گاز، هزاران مایل خطوط لوله، و تعداد زیادی واحدهای دیگر می باشند. تعداد سیستم های کنترل محیط زیست با قیمت های گزاف بشدت افزایش خواند یافت. در بسیاری از موارد مشکلات خوردگی شدیدتر خواهند شد.

تقاضاهای بسیار زیادی از دانشگاه ها و کالج ها برای آموزش در زمینه خوردگی وجود دارد. همکاری نزدیکتر بین دانشگاه ها و صنایع بایستی صورت گیرد. بهترین راه در کاهش هزینه های خوردگی این است که تکنیسین ها و مهندسین خوردگی بیشتری داشته باشیم. دورنمای شغلی جالب و فوق العاده درخشانی برای مهندسین خوردگی وجود دارد.

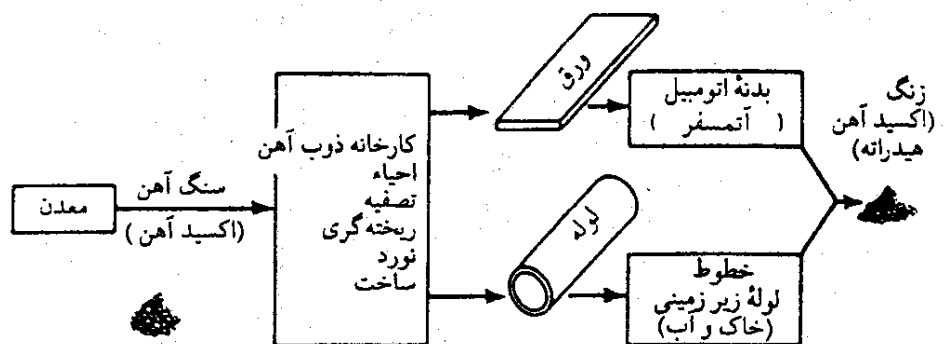
کنترل خوردگی عمدتاً یک مسئله اقتصادی است. این که یک روش کنترل خوردگی بکار برده شود یا خیر، بستگی به مقدار صرفه جویی های بدست آمده خواهد داشت. روش یا روش های مورد استفاده براساس ملاحظات اقتصادی انتخاب می شوند. کاهش سرمایه گذاری به معنی درآمد کمتر است. هزینه بهره برداری و تعمیرات کاهش سرمایه گذاری به معنی درآمد کمتر است. هزینه بهره برداری و تعمیرات و نگهداری پایین تر، سود بیشتری در بر خواهد داشت. کارخانجات مختلف صرفاً به منظور تولید فولاد، اتومبیل و مواد شیمیایی نیستند. هدف اصلی بدست آوردن سود است. درصد برگشت سرمایه گذاری (قبل یا بعد از کم شدن مالیات) معیار متداولی است. اگر با انتخاب یک فلز یا آلیاژ ارزانتر همان کارآیی فلز یا آلیاژ گرانبهتر حاصل گردد (که بندرت پیش می آید) تصمیم گیری ساده خواهد بود. سیستم های حفاظت از خوردگی از نظر هزینه با یکدیگر متفاوتند و هزینه های بالا بایستی قابل توجیه باشند. کارخانجات مختلف معیارهای مختلفی بکار می برند. زمان برگشت سرمایه یک کارخانه شیمیایی کوتاهتر از یک نیروگاه است، زیرا احتمال این که کارخانه شیمیایی در زمان کوتاهتری از رده خارج شود بیشتر است [۱].

بعضی واحدها برای زمان های کوتاه مثل یک سال طراحی می شوند بعضی دیگر برای ۵۰ سال یا بیشتر. یک پل برای ۱۰۰ سال کار، طراحی می شود، یک اتومبیل ۵ تا ۱۰ سال و یک موشک برای یک دقیقه یا کمتر. مهندس خوردگی باید با فرآیندهای کارخانه خود آشنا باشد، تا بتواند تصمیم صحیح و موثر موارد مربوط به کار خود را به مدیریت (که هزینه را تصویب

می کند) ارائه نماید. اگر برگشت هزینه تغییر یک فرآیند یا ساخت یک کارخانه جدید تنها ۳٪ باشد، بجای این کار می توان پول را در بانک گذاشت و سود بیشتری بدست آورد.

۱-۲- اصول خوردگی

خوردگی را تخریب یا فاسد شدن یک ماده در اثر واکنش با محیطی که در آن قرار دارد تعریف می کنند. بعضی ها اصرار دارند که این تعریف بایستی محدود به فلزات باشد، ولی غالباً مهندس خوردگی بایستی برای حل یک مسئله هم فلزات و هم غیر فلزات را در نظر بگیرد. مثلاً، تخریب رنگ و لاستیک بوسیله نور خورشید یا مواد شیمیایی، خورده شدن جداره کوره فولاد سازی، و خورده شدن یک فلز جامد بوسیله مذاب یک فلز دیگر تماماً خوردگی نامیده می شوند. خوردگی می تواند سریع یا کند صورت گیرد. فولاد زنگ نزن ۸-۱۸ در حالت حساس شده بوسیله اسید پلی تیونیک ظرف چند ساعت بشدت خورده می شود. ریل های راه آهن معمولاً به آهستگی زنگ می زنند - ولی سرعت زنگ زدن آنقدر نیست که برکارایی آنها در طول سال های زیاد اثری بگذارد. ستون آهنی معروف دهلی در هندوستان حدود ۲۰۰۰ سال پیش ساخته شده و هنوز به خوبی روز اول است. ارتفاع آن ۳۲ فوت و قطر آن ۲ فوت است. لکن بایستی توجه شود که این ستون آهنی عموماً در شرایط جوی خشک قرار داشته است.



شکل ۱: متالورژی استخراجی و برعکس آن [۱]

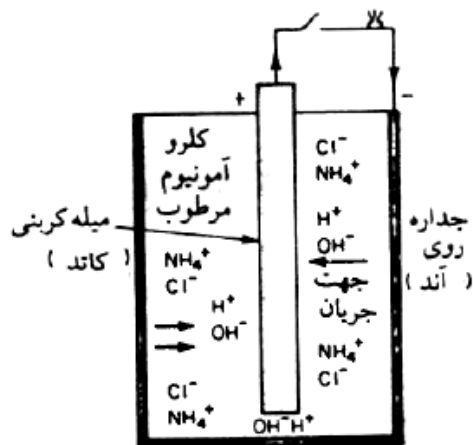
خوردگی فلزات را همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است می توان برعکس متالورژی استخراجی در نظر گرفت. در متالورژی استخراجی، هدف عمدتاً بدست آوردن فلز از سنگ معدن و تصفیه یا آلیاژ سازی آن برای مصارف مختلف می باشد. اکثر سنگ معدن های آهن حاوی اکسیدهای آهن هستند و زنگ زدن فولاد بوسیله آب و اکسیژن منجر به تشکیل اکسید آهن هیدراته می گردد. اگر چه اکثر فلزات موقعی که خورده می شوند تشکیل اکسیدهایشان را می دهند ولی لغت زنگ زدن فقط در مورد آهن و فولاد بکار می رود. بنابراین می گوئیم فلزات غیر آهنی خورده می شوند و نمی گوئیم زنگ می زنند. به طور کلی خوردگی را می توان به سه صورت ذیل تعریف نمود:

۱- تخریب و انهدام توسط عوامل غیر مکانیکی.

۲- تخریب و انهدام توسط واکنشهای شیمیایی و الکترو شیمیایی فلز و محیط.

۳- عکس استخراج.

فرآیند خوردگی غالباً الکتروشیمیایی است. عملکرد خوردگی در محیط آبی مشابه مکانیزم یک پیل می باشد که از یک الکتروود ذغال در وسط، بدنه فلز روی و الکتروولیت NH_4Cl تشکیل شده است. نقش گرانونول های کرین برای بهبود هدایت و دی اکسید منگنز بعنوان وا قطبی کننده در اینجا مطرح نیست. هنگامی که لامپی به دو قطب پیل وصل شود، روشن شده و انرژی الکتریکی برای روشن ماندن لامپ توسط واکنش دو الکتروود تامین می گردد. در الکتروود ذغالی (قطب مثبت)، احیاء شیمیایی صورت می گیرد و در الکتروود منفی اکسایش شیمیایی صورت گرفته و فلز روی به یون روی هیدراته مبدل می گردد (Zn^{2+} , $n\text{H}_2\text{O}$) هرچه جریان الکتریکی بیشتری از درون پیل عبور کند مقدار بیشتری فلز روی خورده می شود.



شکل ۲: پیل خشک [۱]

و خواهیم داشت:

$$\text{KIT} = \text{وزن فلز واکنش کننده}$$

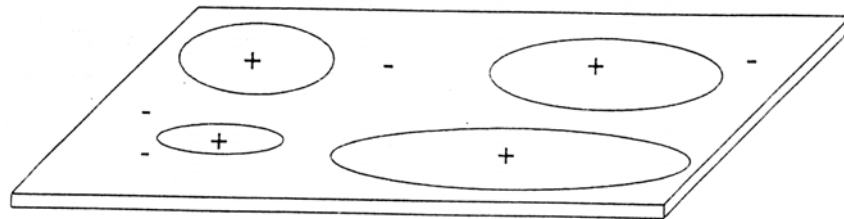
$$K = \text{معادل الکتروشیمیایی (گرم در کولمب)}$$

$$I = \text{جریان بر حسب آمپر}$$

$$T = \text{زمان بر حسب ثانیه}$$

معادل الکتروشیمیایی یا معادل یک کولمب وزن (گرم) که معادل یک کولمب جریان الکتریسیته می باشد و از تقسیم وزن هم ارز (گرم=اکی والان گرم) هر عنصر یا بنیان بر حسب گرم بر عدد فاراده بدست می آید.

در مورد فلز روی معادل الکتروشیمیایی برابر $10^{-4} \times 3/39$ گرم بر کولن است اگر دو قطب اتصال کوتاه شوند، ظرف چند ساعت بدنه پیل سوراخ می شود. اگر دو قطب وصل نباشند روی سالها دست نخورده باقی می ماند. اگر به مقدار کمی مصرف شود مربوط به وجود ناخالص های سطح فلز روی (نظیر آهن) می باشد که به دلیل تشکیل پیل های موضعی است که باعث کمی گرما در اطراف خود می شود (شکل ۳).



شکل ۳: سطح بزرگ شده فلز که شمایی از قرار گرفتن پیل‌های کنش موضعی را نشان می‌دهد [۲]

تا زمانی که سطح فلز خشک بماند جریان موضعی و خوردگی ناشی از آن وجود نخواهد داشت، ولی در معرض آب و محلول‌های آبی این پیل‌ها شروع به فعالیت نموده واکنش تبدیل شیمیایی فلز به محصول خوردگی آغاز می‌گردد و به عبارت دیگر غالباً عامل خوردگی در آب، قلیایی‌ها، اسیدها و محلول‌های نمک می‌باشند. هرگاه ناخالصی‌های فلزی تشکیل دهنده الکتروده‌های پیل موضعی باشند، فلز فاقد ناخالصی دارای مقاومت چشم‌گیری در برابر خوردگی خواهد بود.

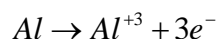
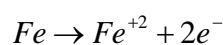
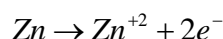
آلومینیوم و منیزیم تجارتي در مقایسه با نوع خالص در آب دریا و اسیدها مقاومت کمتری در برابر خوردگی دارند. همین حالت در مورد فلز روی در اسید کلریدریک وجود دارد. ولی همیشه وضعیت به این منوال نیست. انواع دیگری از پیل‌های خوردگی نیز می‌توانند در اثر تغییرات محیطی، مانند غلظت یا دما فعال باشند. این نوع پیل‌ها بعداً مورد بحث قرار خواهند گرفت.

به عنوان مثال هنگامی که در آب پر از هوا قرار می‌گیرد، الکتروده منفی سطوح پوشیده شده با احتمالاً زنگ متخلخل (اکسید آهن) می‌باشد و الکتروده مثبت نواحی در معرض اکسیژن الکتروده‌های مثبت و منفی با پیشرفت واکنش خوردگی با یکدیگر تعویض شده، تغییر مکان می‌دهند و بر این روال آهن تجارتي و خالص در آب اشباع شده از هوا با سرعت یکسانی خورده می‌شوند.

دو هادی الکتریکی (الکتروده) فرو برده شده در یک الکترولیت پیل گالوانیکی را تشکیل می‌دهند. اگر دو قطب این پیل توسط یک هادی به همدیگر اتصال کوتاه گردد از طریق سیم جریان مثبت از قطب مثبت به قطب منفی برقرار می‌گردد. در یک هادی فلزی جریان توسط

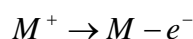
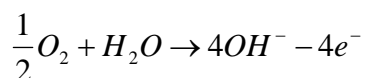
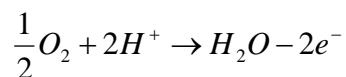
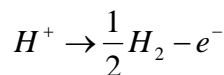
حامل های بار منفی صورت می گیرد و در حقیقت جریان الکتریسیته حرکت الکترون ها در فلز می باشند. طبق قرارداد، مراد از جریان الکتریسیته حرکت جریان مثبت از قطب مثبت به منفی می باشد، هرچایی که از جریان نام برده نشود، منظور بار مثبت می باشد. در درون الکترولیت جریان توسط دو نوع حامل بار مثبت و منفی برقرار می گردد، که یون نامیده می شوند. جریان حمل شده توسط هر یون بستگی به بار الکتریکی و تحرک آن یون دارد. کل جریان مثبت و منفی. الکترودی که در آن اکسایش شیمیایی صورت می گیرد (جریان مثبت از الکتروود خارج و به داخل الکتروود وارد می گردد) آند نامیده می شود.

نمونه های واکنش آندی:



الکترودی که در آن احیاء شیمیایی رخ می دهد (جریان مثبت از الکتروولیت به الکتروود وارد می شود) کاتد خوانده می شود.

نمونه های واکنش کاتدی:



واکنش اکسایش یا آندی افزایش ظرفیت یون و تولید الکترون را در بر دارد و کاهش ظرفیت یون و مصرف الکترون نشانه واکنش کاتدی یا احیاء می باشد، واکنش های کاتدی و آندی باید همزمان و با یک سرعت در نواحی مربوطه روی سطح فلز انجام شوند. اگر چنین نباشد باید فلز خود بخود باردار گردد، که غیر ممکن است. و در حقیقت مهمترین اصل در خوردگی برابر

بودن سرعت اکسایش با سرعت احیاء می باشد (از نقطه نظر تولید و مصرف الکترون) ممکن است در یک واکنش خوردگی چند واکنش اکسایش یا احیاء صورت بگیرد از آنجا که واکنشهای اکسایش و احیائی که در حین خوردگی رخ می دهند به هم وابسته می باشند. می توان با کاهش سرعت هریک از این دو نوع واکنش، خوردگی را کند نمود. مثلاً اگر سطح فلز با رنگ یا پوششی غیرهادی پوشانده شود، سرعت هر دو واکنش کاتدی و آندی را کاهش می دهد یا کاهش سرعت واکنش کاتدی یا آندی به کمک افزودن در صد ناچیز ممانعت کننده کاهش می یابد.

۱-۳- خطوط لوله

افزایش هزینه تعویض تجهیزات، افراد و سازمانها را وادار به افزایش عمر مفید سیستمها کرده است. پوشش خطوط لوله با گذشت زمان رو به خرابی می گذارند. از این رو کاربر باید قادر به ارزیابی خرابی باشد و از عدم وقوع شکست در خط لوله اطمینان یابد. پیش بینی عمر باقیمانده خطوط لوله متأثر از خوردگی علاوه بر اینکه از طریق بازرسی و تعمیرات به موقع به افزایش عمر خطوط لوله کمک می کند، با پیشگیری از نشتی از بروز صدمات مالی و جانی نیز جلوگیری بعمل می آورد. در ضمن در صورت اطلاع از زمان وقوع شکست خط لوله، با انجام تعمیرات برنامه ریزی شده می توان از توقف ناخواسته واحدهای تولیدی جلوگیری کرد و به افزایش بهره وری کمک نمود. در زمینه بررسی خوردگی خطوط لوله تا کنون تحقیقات وسیعی انجام شده.

خوردگی های ایجاد شده در خطوط لوله عمدتاً داخلی و یا خارجی می باشد. در این خصوص توجه شما را به مشکلات ایجاد شده در خطوط لوله انتقال گاز و خوردگی های بوجود آمده معطوف می داریم.

گاز طبیعی که به وسیله شبکه های شهری منتقل و به مصرف کنندگان خانگی و تجاری عرضه می شود باید به حدی بودار باشد که اگر گاز نشت یافته در فضا به مقدار یک پنجم حد پایین انفجار خود برسد، قابل تشخیص باشد، لذا به گاز که در حالت طبیعی خود فاقد بو است به مقدار معین مواد بودار افزوده می شود.

مرکاپتان ها که جزو ترکیبات آلی گوگرد دار است دارای بوی بسیار بدی است و به دلیل همین ویژگی در صورت هرگونه نشستی گاز حس بویایی تحریک شده و تشخیص داده می شود. فرمول شیمیایی عمومی آن ها R-SH است که R نشان دهنده بنیان ئیدروکربوری و S نشان دهنده گوگرد است. متداول ترین انواع آن بوتیل مرکاپتان و ایزو پروپیل مرکاپتان است که از خاصیت بودارکنندگی زیادی برخوردار می باشد. معمولاً برای به دست آوردن خواص مطلوب تر از مخلوط دو یا چند نوع مرکاپتان با نسبت های معین استفاده می گردد. به طور مثال مرکاپتان مصرفی برای تزریق به گاز طبیعی شهری از هشتاد درصد «آی.پی.ام»، ده درصد «تی.بی.ام» و ده درصد «ان.پی.ام» تشکیل یافته است. استنشاق این مواد به میزانی که در گاز طبیعی تزریق می شود اثر سویی برای انسان ندارد ولی در غلظت های زیاد و محیط های بسته بسیار سمی و خطرناک است.

۱-۳-۱- خوردگی خطوط اصلی انتقال

این خطوط که گاز شیرین خروجی از پالایشگاه ها را به مصرف کننده های عمده در شهرها و کارخانه های صنعتی انتقال می دهد به رغم همه تمهیدات پیش بینی شده در طراحی و اجرای آن و همچنین نظارت های مستمری مانند نشت یابی، اندازه گیری و لنتاژ به طور دوره ای و... که در طول بهره برداری آن ها اعمال می گردد، به علت گستردگی و پراکندگی زیادی که دارد نمی توان احتمال وقوع نشستی را در آن ها نادیده گرفت. در واقع به دلیل فشار بالای عملیاتی خطوط لوله هرگونه نشستی جزئی می تواند خیلی سریع محیط اطراف خود را فرا گرفته و انفجار و آتش سوزی در پی داشته باشد. یکی از علل اصلی ایجاد نشت در خطوط لوله، خوردگی سطوح خارجی لوله ها است. اگرچه تمام خطوط انتقال گاز، تحت پوشش حفاظت «کاتدی» قرار دارند ولی دیده شده که بیشتر به دلایل مختلفی مانند؛ نامناسب بودن کیفیت پوشش خارجی لوله، نقص در اجرای پوشش و یا سیستم حفاظت کاتدی و ترک خوردگی، لوله به طور موضعی دچار نشت می شود. این نوع خوردگی ها در صورتی که با نظارت های مستمر و به موقع شناسایی و رفع نقص نگردد، می تواند زمینه ساز بروز نشستی و حوادث ناشی از آن شود. تاثیر عوامل مکانیکی مانند زلزله، لغزش زمین و یا صدمه های مکانیکی وارد شده به لوله را نیز نمی توان در احتمال بروز نشستی لوله ها نادیده گرفت. یکی از تمهیدات ایمنی که در طراحی خطوط انتقال گاز پیش بینی می شود، نصب شیرهای بین راهی

مجهز به سیستم قطع کننده اتوماتیک روی خطوط لوله است. این شیرها در فواصل معین بسته به مشخصات طراحی هر خط لوله یعنی کلاس، قطر لوله و غیره در ایستگاه های شیر تعبیه می شوند. نحوه ی عملکرد این نوع شیرها این گونه است که در اثر فشار ناگهانی به طور خودکار بسته می شوند. بنابراین در صورت بروز نشتی که سبب افت فشار غیرمتعارف در قسمتی از خط لوله می شود، شیرها از دو طرف بسته شده و به این ترتیب تنها گاز در محدوده ی بین دو شیر، تخلیه می شود و از خروج کامل گاز درون خط لوله که می تواند صدمه های زیادی به بار آورد ممانعت خواهد شد.

۱-۳-۲- خوردگی ایستگاه های تقویت فشار

این ایستگاه ها مشتمل بر تعدادی توربوکمپرسور است. خطوط اصلی انتقال گاز که در مسیر حرکت خود به تدریج دچار افت فشار می شود، جهت افزایش فشار به این تاسیسات وارد می گردد. این واحدها همانند سایر تاسیسات گازی در معرض خوردگی ناشی از وجود مواد خورنده در داخل سیال عبوری قرار گرفته و حوادث ناشی از نشت گاز و آتش سوزی را به همراه دارد و به همین منظور در محوطه استقرار توربوکمپرسورها که بیش از سایر محوطه ها مستعد خطر نشت گاز هستند، تمهیدات ایمنی ویژه ای در نظر گرفته شده است. علاوه بر سنسورهای گاز یاب و یا شعله یاب مستقر در سقف سالن کمپرسورها، سیستم های اعلام خودکار جداگانه ای از قبیل شعله یاب، گاز یاب، و حرارت یاب نیز در محفظه ی توربین هر توربوکمپرسور تعبیه شده است. اکثر این سیستم ها با اتاق کنترل ایستگاه، مرتبط بوده و در صورت بروز آتش سوزی در محفظه توربین کمپرسورها اعلام ساعت و فرمان توقف کامل ایستگاه به طور خودکار در اتاق کنترل دریافت می شود، ضمن آن که همزمان نیز سیستم اطفای حریق خودکار با پاشیدن مواد خاموش کننده به داخل توربین عمل می کند.

۱-۳-۳- خوردگی در شبکه های گازرسانی

شبکه های گازرسانی به مجموعه ای از ایستگاه های تقلیل فشار شهری و شبکه گسترده ای از لوله های زیرزمینی که در سطح هر شهر گسترش یافته اند اطلاق می گردد. این شبکه ها وظیفه گازرسانی به منازل و واحدهای تجاری و صنعتی را در داخل شهرها را به عهده دارند. هر چند فشار گاز درون این شبکه ها در مقایسه با خطوط اصلی انتقال گاز به مراتب پایین تر

است و انتظار می رود لوله های مذکور و تاسیسات مربوط به آن کمترین خوردگی را داشته باشند. بیشتر حوادث ناشی از خوردگی منجر به نشتی های عمده در شبکه گازرسانی در اثر حفاری سایر سازمان ها در خیابان ها و معابر اتفاق افتاده است.

۱-۳-۴- اتصالات و ولوها

خوردگی های رایج ایجاد شده در خطوط انتقال عمدتاً مربوط به اتصالات و شیرها می باشد. اتصالات بکار گرفته شده در خطوط انتقال عمدتاً از نوع زانویی ، سه راهی ، ردیوسر و ... بوده که بدلیل برخورد مستقیم سیال و یا اغتشاش در حین تغییر جهت سیال منجر به ایجاد خوردگی سایشی می شود. در خصوص شیرها نیز این پدیده با برخورد سیال به دریچه قطع جریان شیر بوجود می آید. استفاده از متریالهای مناسب و اعمال پوششهای مقاوم در برابر خوردگی کمک شایانی در کاهش این نوع خوردگی ها خواهد نمود.

۱-۴- خوردگی در سطح داخلی لوله ها

خوردگی های ایجاد شده در سطح داخلی لوله از مشکلات عدیده ای در خطوط انتقال می باشد. عمده خوردگی های ایجاد شده مربوط به سایش و خوردگی سایشی در اثر حرکت سیال در خطوط لوله می باشد. وجود مواد جامد معلق و ناخواسته و برخورد آنها با جداره داخلی لوله عامل اصلی مشکلات سایش در خطوط لوله می باشد. همچنین میزان خوردگی سیال نیز مزید بر علت خواهد شد. جهت کاهش خوردگی مذکور از پوششهای ضد سایش^۱ در داخل لوله استفاده می شود. این پوششها نه تنها میزان سایش را به حداقل می رسانند بلکه سرعت حرکت سیال نیز افزایش می دهد و راندمان سیستم بالا می رود.

در خطوط انتقال گاز ترش علاوه بر مشکلات قید شده امکان ایجاد نفوذ هیدروژن و تخریب هیدروژنی وجود خواهد داشت. همچنین وجود سیالاتی از قبیل ترکیبات آمونیاکی و

¹ - Anti friction

کاستیک سبب ایجاد خوردگی های تنشی (SCC) در خطوط لوله از جنس کربن استیل می شوند.

یکی از راههای جلوگیری از این خوردگی تزریق مواد بازدارنده می باشد. بازدارنده ماده ای است که به مقدار کم به سیستم افزوده می شود تا واکنش شیمیایی را کند یا متوقف کند. وقتی یک بازدارنده خوردگی به محیط خورنده اضافه می شود سرعت خوردگی را کاهش می دهد یا به صفر می رساند. اولین بار یک بازدارنده معدنی به نام آرسنیت سدیم برای بازدارندگی فولادهای کربنی در چاه های نفت مورد استفاده قرار گرفت تا از خوردگی CO₂ جلوگیری کند، اما به دلیل پایین بودن بازده، رضایت بخش نبود، در نتیجه سایر بازدارنده ها مورد استفاده قرار گرفتند. در سال های ۱۹۴۵ تا ۱۹۵۰ خواص عالی ترکیبات قطبی با زنجیره های بلند کشف شد. این کشف روند آزمایش های مربوط به بازدارنده های آلی مورد استفاده در چاه ها و لوله های نفت و گاز را دگرگون ساخت. این بازدارنده ها از طریق ایجاد یک لایه محافظ سطحی مانع از نزدیک شدن ذرات خورنده به سطح فلز می شوند. به این نوع بازدارنده ها لایه ساز یا تشکیل دهنده سطحی (Forming Film) می گویند که اغلب پایه آمینی دارند. خصوصیتی از بازدارنده هایی که بر عملکرد و کارایی آن ها تأثیر می گذارند شامل موارد زیر است:

۱- سازگاری با دیگر مواد شیمیایی: از آن جایی که در سیستم های گازی ممکن است دو یا چند ماده شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد، لذا بازدارنده نباید باعث اثرات جانبی بر روی آنها شود (برای مثال مواد ضد کف و ضد امولسیون به همراه بازدارنده های خوردگی در صنایع گاز به کار رود).

۲- کارایی در شرایط تنش برشی بالا: گاهی اوقات خروج از گاز چاه یا خطوط لوله تنش برشی بالایی به وجود می آورد، به همین دلیل مقاومت فیلم محافظ در برابر تنش برشی از اهمیت فراوانی برخوردار است و بایستی مورد بررسی قرار گیرد.

۳- پایداری در برابر دما و فشار بالا: محدوده دما و فشار در چاه ها و مخازن گاز و لوله ها بالاست و بازدارنده باید بتواند این دما و فشار را تحمل کند و در این شرایط پایداری و کارایی خود را از دست ندهد.

- ۴- پایداری فیلم محافظ با گذشت زمان: این فاکتور، تعیین کننده روش اعمال بازدارنده و مقدار آن می باشد.
- ۵- تشکیل امولسیون: تشکیل امولسیون یکی از بزرگترین مشکلات بازدارنده های نفت و گاز می باشد. بازدارنده های لایه ساز شامل مولکول های فعال سطحی هستند و تشکیل امولسیون را تشدید می کنند.
- ۶- حلالیت بازدارنده: بیشتر روش های اعمال بازدارنده ها شامل رقیق کردن بازدارنده با یک حلال مناسب آلی یا آبی می باشد.
- ۷- سمیت: به کار بردن بازدارنده ها نباید محیط زیست را دچار آلودگی کند.

بررسی میزان خوردگی داخلی خطوط لوله بدلیل عدم دسترسی به داخل لوله بسیار مشکل می باشد. روشهای مانیتورینگ خوردگی می تواند کمک شایانی در بررسی میزان خوردگی داخلی خطوط لوله ارائه نماید. مانیتورینگ خوردگی را می توان به سه گروه روشهای الکتروشیمیایی، روشهای غیر مخرب و سایر روشها تقسیم بندی کرد. روشهای الکتروشیمیایی شامل اندازه گیری پتانسیل خوردگی، پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی، پلاریزاسیون مقاومتی (LPR)، بررسی تغییرات پتانسیل و جریان بر حسب زمان، اندازه گیری اغتشاشات (صدا) الکتروشیمیایی، آنالیز هماهنگی، اندازه گیری pH و اندازه گیری هدایت الکتروولیت است. روشهای غیر مخرب شامل روش اولتراسونیک، جریانهای سرگردان، جریانهای القایی، پرتونگاری نوترونی، پرتونگاری با اشعه X، گرما نگاری، کاربرد امواج زیر قرمز، روش نشر صوتی و روش القای مغناطیسی می باشد. سایر روشها شامل کوپن گذاری، روزنه های نگهداری، آنالیز الکتروولیت، روش مقاومت الکتریکی (ER)، روش فعال کردن لایه نازک، پروب های هیدروژنی و کنترل فعالیت میکروپها است.

از روشهای متداول روش کوپن گذاری می باشد. با بررسی کوپن های خوردگی می توان به میزان خوردگی داخلی لوله ها پی برد. از روشهای رایج دیگر استفاده از روش پیگ های هوشمند می باشد. در این روش با استفاده از عبور توپکهای خاصی از داخل لوله می توان سطح داخلی لوله را مورد بازرسی قرار داد و مناطقی که دچار خوردگی شده اند مشخص نمود همچنین به میزان و نوع خوردگی ایجاد شده پی برد.

از روشهای جلوگیری از خوردگی در خطوط لوله می توان به استفاده از پوششهای معدنی و آلی در داخل لوله اشاره نمود. این پوششها با مکانیزم قطع ارتباط بین سطح لوله با محیط یا سیال عبوری سبب جلوگیری از خوردگی سطوح داخلی لوله خواهد شد. از پوششهای مذکور می توان به پوششهای ضد خوردگی^۱ و ضد سایش^۲ اشاره نمود که کاربرد فراوانی در پیشگیری از خوردگی سطوح داخلی خطوط لوله دارد.

۱-۵- خوردگی در سطح خارجی لوله ها

این یک مسئله پر هزینه و مشکل است زیرا تعداد بسیار زیادی از خازن و کیلومترها لوله دارای پوشش عایق هستند و خوردگی در زیر مواد عایق از دید پنهان است. خوردگی در زیر مواد عایق شامل خوردگی یکنواخت، حفره دار شدن و خوردگی شیاری می باشد. این گونه انهدام ها خیلی پر درد سر هستند زیرا مربوط به فرآیندهای معمول خوردگی نیستند. مشابه ترک خوردنهای داخلی، ترک خوردن از بیرون لوله ها نیز می تواند باعث توقف گردد. نقاط مرطوب قابل رویت، علامت وقوع مشکلات است و می توان این نقاط را بازرسی نمود. یک روش غیر مخرب برای تعیین خوردگی زیر مواد عایق، روش DCVG می باشد. این روش کاربرد زیادی در بررسی وضعیت پوشش و خوردگی زیر پوشش خطوط لوله زیر زمینی دارد. که تحول بزرگی را بوجود آورده است. در این روش با اندازه گیری پتانسیل خط لوله نسبت به الکتروود مرجع سولفات مس و بدون خاکبرداری می توان به عیوب پوشش و در نهایت خوردگی زیر پوشش پی برد. همچنین افزایش ولتاژ و جریان تزریقی از طرف سیستمهای حفاظت کاتدی در حالت حفاظت بیش از حد^۳ می تواند با تولید گاز هیدروژن بر روی سطح لوله سبب جدایش پوشش از سطح لوله شده و در نهایت باعث تخریب پوشش می گردد. یکی از مکانیزمهای تخریب پوشش در سطوح خارجی خطوط لوله تنشهای ناشی از خاک^۴ اطراف و حرکت لوله ها در زمان بهره برداری می باشد. همچنین در نقاط خم شده لوله ها

¹ - Anti Corrosion

² - Anti Friction

³ - Over Protection

⁴ - Soil Stress

بدلیل وجود تنشهای داخلی و در صورت قلیایی بودن خاک امکان ایجاد خوردگی تنشی وجود خواهد داشت. بهترین روش شناخته شده برای کنترل خوردگی در زیر مواد عایق آن است که فلز را بخوبی پوشش دهیم. بطور مثال از یک آستر اپوکسی برای حفاظت تانکها استفاده شود و یا جهت جلوگیری از خوردگی خارجی خطوط لوله پوششهای پلی اتیلن سه لایه، پلی اورتان ۱۰۰٪ جامد، پایه قیری نفتی و ذغال سنگی و پوششهای نواری بکار گرفته شود. [۲].

۱-۶- تقسیم بندی شرایط جوی از نظر خوردگی

بیشتر تجهیزات و وسایل مورد استفاده در صنایع پتروشیمی و نفت و گاز و ... در فضای باز بوده و در کشور ایران اکثراً در کنار دریا واقع می‌باشد. از این رو شرایط آب و هوایی و آلودگی‌های محیطی می‌تواند تأثیر زیادی در خوردگی قسمتهای بیرونی تجهیزات و وسایل مورد استفاده از جمله پوشش تجهیزات در صنایع فوق داشته باشد. خوردگی‌هایی که در قسمتهای بیرونی تجهیزات ناشی از عوامل محیطی بوجود می‌آید را خوردگی اتمسفری می‌گویند.

خوردگی اتمسفری اغلب وابسته به شرایط آب و هوایی بوده و با تغییرات آب و هوا می‌تواند پروسه یک پیل الکتروشیمیایی بر روی مکانهای مختلف فلز پایه و یا پوشش مربوط به آن کامل شده و یا خوردگی فلزی بوجود بیاید. برای انجام محاسبات خوردگی اتمسفری می‌بایست اطلاعاتی در مورد رطوبت نسبی، دما، میزان دی اکسید گوگرد، میزان H_2S ، میزان کلر، میزان بارندگی، اطلاعاتی در رابطه با نقطه شبنم، گرد و غبار و نحوه قرار گیری فلز مورد نظر در محیط کسب کرد.

خوردگی اتمسفری نه تنها به میزان درصد رطوبت نسبی بستگی دارد بلکه به میزان گرد و غبار محیط و ناخالصی‌های هوا و میزان میعان^۱ رطوبت بر روی سطح فلز نیز مرتبط می‌باشد. دمای محیط نیز تأثیر بسزایی در این نوع خوردگی دارد. انواع خوردگی‌ها می‌توانند در این

¹ - Condensation

شرایط بوجود آیند. بوجود آمدن انواع خوردگی‌ها می‌تواند وابسته به آلودگی‌های محیط و نحوه ساخت مواد یا سازه باشد.

همان‌طور که آورده شد، خوردگی اتمسفری یک فرآیند الکتروشیمیایی است که توسط یک مقدار محدود الکتروولت بوجود می‌آید. این مقدار محدود الکتروولت وابسته به شرایط محیطی می‌باشد. انواع اتمسفرها بسته به شرایط محیطی عبارتند از:

۱-۶-۱- اتمسفر روستایی^۱:

این نوع اتمسفرها در مناطق روستایی و مزارع بوجود می‌آیند. در این نوع محیط‌ها غالباً هیچ‌گونه کارخانه یا کارگاهی که سبب آلوده کردن محیط باشد وجود ندارد. در این نوع اتمسفر مشکلات خوردگی اتمسفری کمتر به چشم می‌خورد. شرایط خوردگی اتمسفری در این نوع اتمسفر همانند شرایط آب و هوای خشک می‌باشد.

۱-۶-۲- اتمسفر شهری^۲:

این نوع اتمسفر فاقد آلودگی‌های صنعتی می‌باشد ولی از طرف دیگر آلودگی‌هایی شامل ترافیک جاده‌ها، گازهای ناشی از سوخت اتومبیل‌ها و منازل و ... سبب افزایش آلودگی در اتمسفر می‌شوند. اشکال مختلف اکسید نیتروژن سبب تولید اسید نیتریک شده و همچنین تبدیل گوگرد به اسید سولفوریک سبب آلودگی این نوع اتمسفر می‌شوند. این اسیدها غالباً از ترکیب با رطوبت هوا تشکیل می‌گردند.

۱-۶-۳- اتمسفر صنعتی^۳:

در اتمسفرهای صنعتی همه انواع آلودگی‌ها ممکن است وجود داشته باشد. آلودگی‌های عمده در این نوع اتمسفر شامل گوگرد در دی‌اکسید گوگرد هوا یا سولفید هیدروژن می‌باشد. آلودگی‌های تولید شده توسط کارخانجات و صنایع تولیدی و کارگاهها و ... بوجود آمده و مهمترین عاملهای ایجاد اتمسفر صنعتی می‌باشند. استفاده از سوخته‌های فسیلی عامل مهمی در تولید دی‌اکسید گوگرد بوده و از ترکیب این گاز با رطوبت محیط تولید اسید سولفوریک

¹ - Rural

² - Urban

³ - Industrial

می‌نماید. همچنین حاصل سوختن سوخته‌های فسیلی می‌تواند بخار آب و دی‌اکسید کربن باشد که عامل مهمی در ایجاد این نوع اتمسفر می‌باشد. علاوه بر آلودگی‌های ذکر شده می‌توان به مقدار کلرید هیدروژن، گاز کلر موجود در هوا، فلئورید هیدروژن و برومید هیدروژن جهت تولید این نوع اتمسفر اشاره کرد. بطور کلی با افزایش فاصله نسبت به اتمسفرهای صنعتی خوردگی محیط نیز کمتر خواهد شد.

۱-۶-۴- اتمسفر دریایی^۱:

در محیط‌های دریایی خوردگی کمتر از محیط‌های صنعتی بوده و عامل اصلی خوردگی در این محیط‌ها کلروپون کلر می‌باشد. نمک موجود در آب دریا با تبخیر شدن آب، بصورت کریستالی بر روی سطح فلز ته‌نشین می‌گردد. این عمل توسط باد صورت می‌پذیرد و سپس با رطوبت هوا تولید یون کلر کرده و سبب خورده شدن فلز می‌گردد. مقدار کلر فعال در اتمسفرهای دریایی با افزایش فاصله از کنار دریا کاهش می‌یابد.

در محیط‌های اتمسفر دریایی، فاصله از کنار دریا به میزان باد و سرعت آن و همچنین به میزان تولید موج‌های بلند نیز بستگی دارد. ترکیب محیط‌های صنعتی و محیط‌های دریایی در کنار هم عامل خیلی موثری در ایجاد خوردگی اتمسفری می‌باشند.

۱-۶-۵- اتمسفر داخلی :

این نوع اتمسفر فاقد هرگونه آلودگی می‌باشد که در اصلاح به این نوع محیط‌ها، محیط‌های پاک^۲ می‌گویند. این نوع اتمسفرها فاقد هرگونه عاملی جهت خوردگی محیط هستند.

بطور کلی نه تنها عواملی مانند میزان دما و مقدار یا درصد رطوبت نسبی محیط و ترکیبات و یا ناخالصی‌های موجود در هوا می‌تواند عوامل موثر در خوردگی اتمسفری باشد، بلکه ترکیب فلز و شرایط پوشش سطحی فلز نیز می‌تواند در این نوع خوردگی موثر باشد. بطور مثال آهن گالوانیزه جهت بکارگیری در محیط‌های روستایی بسیار مناسب بوده ولی در محیط‌های صنعتی مناسب نیست. همچنین در اکثر مواقع اتمسفر روستایی و یا شهری بصورت تنها

¹ - Marine

² - Clean rooms

وجود ندارد، بلکه ترکیبی از این دو در حال حاضر موجود می‌باشد. بطور مثال در حال حاضر اتمسفر دریایی و صنعتی در کنارهم اتمسفر خورنده را تولید می‌کنند و این شرایط سبب تغییر در خوردگی اتمسفری و شرایط ایجاد آن می‌شود.

خاک و آب نیز از عواملی هستند که در ایجاد خوردگی در تجهیزات صنایع نفت، گاز و پتروشیمی نقش بسزایی دارند. وجود ترکیبات عامل خورنده از قبیل کاتیون‌هایی از قبیل Ca^{2+} و Mg^{2+} سبب ایجاد رسوب بر روی تجهیزات شده و خوردگی های زیر رسوبی را تشکیل می‌دهند. همچنین آنیون‌هایی مانند Cl^- ، SO_4^{2-} ، و CO_3^{2-} و از این قبیل سبب ایجاد محیط‌های اسیدی شده و در روند ایجاد خوردگی نقش بسزایی دارند. باکتری‌های موجود در این محیط‌ها نیز عاملی جهت ایجاد خوردگی در تجهیزات شده و دو فرآیند اصلی به عنوان عامل خوردگی فلزات قابل تصور است:

- تماس میکروارگانیسمها با سطح فلز واکنش‌های خوردگی را شروع یا تسهیل می‌کنند.
 - محصولات متابولیکی ترشح شده ممکن است از لحاظ شیمیایی فعال بوده، پوشش را تخریب و فلز را حل کند.
- به طور کلی شناخت شرایط محیطی و کنترل عوامل ایجاد کننده خوردگی می‌تواند ما را در کاهش خوردگی های بوجود آمده در تجهیزات نفت، گاز و پتروشیمی یاری کرده و از هزینه های احتمالی ناشی از آن جلوگیری نماید.

۱-۷- عیوب اولیه در پوششها

عیوب اولیه در پوشش شامل عیوبی می‌باشند که در مراحل اعمال رنگ و در هنگام خشک شدن ایجاد می‌شوند.

عیوب ایجاد شده در هنگام اعمال پوشش شامل موارد ذیل می‌باشد:

- ایجاد حباب در پوشش
- شره کردن پوشش
- سطح آلوده و دانه دانه

- معایب پوشاندگی
- تاول زدن پوشش
- حفره های ناشی از سنگ ریزه
- چین و چروک شدن پوشش
- پوست پرتقالی شدن
- ترک خوردن رنگ
- دیر خشک شدن پوشش

عیوب مذکور می تواند ناشی از کیفیت رنگ در زمان ساخت رنگ، شرایط اعمال رنگ و شرایط محیطی باشد. بطور مثال ترک خوردن رنگ می تواند ناشی از فرمولاسیون نامناسب رنگ باشد این عیب در زمانی که غلظت حجمی رنگدانه ها زیاد باشد رنگ به سرعت بر روی سطح خشک شده و سبب بروز ترک بر روی سطح می شود. همچنین تغییر حجم قسمتهای مختلف لایه رنگ از عمق به سطح در زمان خشک شدن نیز می تواند سبب ایجاد این نوع ترکها باشد.

پوست پرتقالی شدن رنگ نیز ناشی از استفاده نامناسب از حلال و تینر در عملیات رنگ آمیزی می باشد. همچنین شره کردن رنگ نیز ناشی از ضخامت بالای رنگ اعمالی، ویسکوزیته پایین رنگ و آلودگی سطح فلز می باشد.

در صورتی که آماده سازی سطح بصورت مناسب انجام نشود و یا سطح فلز حاوی زنگ و آلاینده های روغنی باشد تاول زدن رنگ ایجاد می شود.

چین و چروک شدن پوشش نیز در زمان اعمال رنگ حادث می شود. کافی نبودن زمان برای خشک شدن لایه زیرین ، قبل از اعمال لایه نهایی دلیل ایجاد این عیب می باشد.

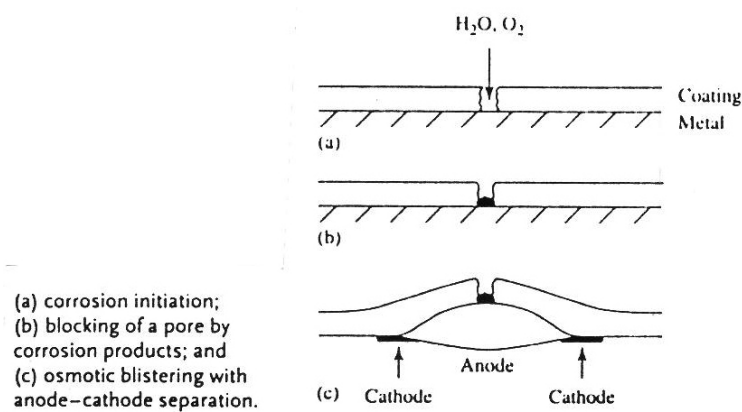
در صورتی که اعمال رنگ در شرایط نامناسب محیطی و جوی انجام پذیرد ممکن است پوشش در زمان تعیین شده خشک نمی شود و عیب دیر خشک شدن پوشش ایجاد خواهد شد.

۱-۸- عیوب ثانویه در پوششها

عیوب ثانویه شامل عیوبی سطحی می باشند که پس از اعمال رنگ ایجاد شده و در نهایت سبب تخریب رنگ می شوند. عیوب سطحی روی پوششها عموماً شروع ایجاد خوردگی در یک سیستم حاوی پوشش می باشد. این عیوب سطحی می تواند در هنگام اعمال رنگ و یا پس از اعمال رنگ توسط عوامل خارجی بوجود آید.

وجود عیوب بر روی سطح و در معرض عوامل محیطی قرار گرفتن آن، سبب تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدها می شود که این موضوع سبب بسته شدن محل عیب توسط محصولات خوردگی می گردد. این محصولات باعث جلوگیری از ورود اکسیژن می شوند ولی در برابر نفوذ آب مقاوم نیستند.

در نتیجه مناطق آندی و کاتدی بصورت مجزا بوجود می آیند و در قسمت داخلی اکسید تشکیل می گردد. در منطقه پایینی واکنش آندی و در کناره ها واکنش کاتدی بوجود می آید. مطابق شکل ۴.



شکل ۴- تشکیل لایه Blister در زیر پوشش رنگ و تاثیر آن بر روی پوشش [۳]

اگر چه خوردگی در این نقاط کوچک و در محل عیوب بوجود می‌آید، ولی در یک پوشش یکنواخت نیز امکان تشکیل این مکانیزیم وجود خواهد داشت.

هنگامیکه یک سطح پوشش داده شده در معرض آب و بخار آب قرار می‌گیرد، نفوذ آب و بخار به داخل پوشش انجام گرفته و در محل بین رنگ و فلز پایه مجتمع می‌گردند. از نظر ترمودینامیکی بدلیل این که فلزات همیشه در برابر آب و بخار ناپایدار می‌باشند، حضور اکسیژن سبب شروع خوردگی در آنها می‌شود. در این حالت واکنش‌های آندی و کاتدی در نقاط مختلف سطح بوجود خواهد آمد.

یونهای فلزی حاصله از واکنش آندی نیروی یونی زیر پوشش را زیاد کرده و با تشکیل تاول‌هایی^۱ پدیده‌ی اسمزی را افزایش می‌دهند. تاولها با روشهای مختلفی مانند جدایش کاتدی و یا Fill form افزایش می‌یابند.

۱-۸-۱- جدایش^۲ کاتدی

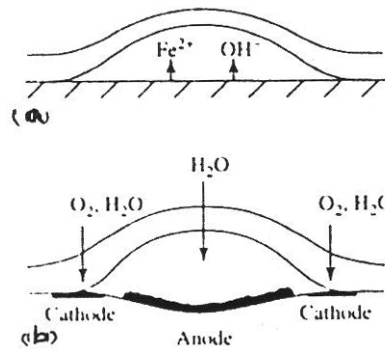
مکانیزم جدایش شدن کاتدی برای فلز آهن در شکل ۵ آورده شده است. پس از مرحله اول شروع خوردگی Fe^{+2} و OH^- که به ترتیب از واکنش‌های آندی و کاتدی حاصل شده‌اند به‌مراه مقداری اکسیژن که از سطح پوشش عبور کرده است، باعث تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌شود. این لایه نسبتاً نیمه تراوا^۳ می‌باشد، که قابلیت عبور آب را داشته ولی از نفوذ اکسیژن جلوگیری می‌کند. در نتیجه در ناحیه زیراکسید واکنش آندی بوجود آمده و واکنش‌های کاتدی به لبه‌های تاول انتقال می‌یابد (جایی که اکسیژن بیشتر می‌باشد).

در نتیجه سطح آند بزرگتر از سطح کاتد خواهد شد. در این صورت چگالی جریان در منطقه کاتدی افزایش یافته و تولید OH^- زیادی می‌کند. این مسئله سبب افزایش pH منطقه بصورت موضعی می‌شود و این شرایط سبب کاهش چسبندگی پوشش به سطح خواهد شد.

¹ - Blister

² - Cathodic Delimitation

³ - Semi permeable



- a) شروع خوردگی
- b) جدا شدن کاتد و آند توسط پدیده اسمزی و رشد اکسید
- شکل ۵- جدایش شدن کاتدی در فولاد رنگ شده [۳]

این مکانیزیم توسط آقایان لیدهیسر و کندیگ^۱ بصورت ذیل ارائه شده است:

- ۱- نفوذ آب، یونها و اکسیژن به داخل پوشش
- ۲- کاهش مقاومت لایه بین پوشش و فلز پایه
- ۳- تشکیل واکنش آندی روی سطح فلز
- ۴- تشکیل واکنش کاتدی روی سطح فلز و جدایش منطقه کاتدی
- ۵- انجام واکنش آندی و کاتدی در یک حجم کوچک، تشکیل یونهای فلزی در فصل مشترک فلز و پوشش و ایجاد محصولات خوردگی بر روی سطح فلز
- ۶- کاهش pH در منطقه خوردگی
- ۷- اختلاف اسیدیتته بین آند و کاتد و افزایش pH در نقاط کاتدی

¹ - Leid heiser & Kendige

جمع بندی و نتیجه گیری

فرآیند خوردگی غالباً الکتروشیمیایی بوده حاصل انجام هم زمان واکنش های آندی (اکسایش) و احیای کاتدی (کاهش) روی سطح فلز است. این واکنش های الکتروشیمیایی در محل آندها و کاتدهای میکروسکوپی که تمام سطح آهن را پوشش نداده اند رخ می دهند. با توجه به آنچه گفته شد می توان نتیجه گرفت که عملکرد خوردگی که در محیط آبی مشابه مکانیزم یک پیل می باشد. بطور کلی برای تشکیل یک پیل الکتروشیمیایی خوردگی به چهار عامل زیر نیازمند می باشیم:

- ۱- آند : جایی که واکنش نیم پیل آندی انجام شود (اکسایش)
 - ۲- کاتد : جایی که واکنش نیم پیل کاتدی انجام می شود (کاهش)
 - ۳- الکترولیت : رسانا برای جابجایی یونها (جریان یونی)
 - ۴- اتصال الکتریکی : بین آند ، کاتد و الکترولیت.
- با توجه به پارامترهای ترمودینامیکی می توان امکان انجام واکنش های آندی و کاتدی و در نتیجه امکان انجام خوردگی را ارزیابی کرد. بدیهی است تحت شرایطی که از نظر پارامترهای ترمودینامیکی امکان انجام واکنشهای آندی و یا کاتدی وجود نداشته باشد خوردگی نخواهیم داشت پس با کنترل واکنش های آندی یا کاتدی در هر سیستم خوردگی می توان از ایجاد خوردگی جلوگیری کرد.

جهت پیشگیری از خوردگی روشهای متفاوتی وجود دارد. در بکارگیری این روشها می بایست ملاحظات لازم را در خصوص قابلیت طراحی، شرایط عملیاتی کارکرد تجهیز، شرایط عملیاتی پروسس تولید، شرایط زیست محیطی و ایمنی را بررسی و رعایت نمود.

روشهای پیشگیری از خوردگی را می توان به شرح ذیل نام برد

- ۱- انتخاب متریال
- ۲- تغییر در نوع محیط یا سیال خورنده
- ۳- تغییر در شرایط محیطی از قبیل دما، فشار و ...
- ۴- تغییر در طراحی
- ۵- استفاده از بازدارنده های خوردگی

۶- استفاده از پوششهای محافظ

۷- استفاده از حفاظت کاتدی

پرسش و پاسخ

پرسش:

جدایش کاتدی جزو کدام دسته از عیوب خوردگی در مباحث پوشش می باشد توضیح دهید.

پاسخ:

جدایش کاتدی از عیوب ثانویه در بحث خوردگی پوششها می باشد از آنجایی که عیوب ثانویه عیوب سطحی می باشند پس از اعمال رنگ ایجاد شده و در نهایت سبب تخریب پوشش می شود. عیوب سطحی روی پوشش عموماً شروع ایجاد خوردگی در یک سیستم حاوی پوشش می باشد این عیوب سطحی می تواند در هنگام اعمال رنگ و یا پس از اعمال رنگ توسط عوامل خارجی بر روی پوشش بوجود آید.

پرسش:

تاثیر آلاینده های موجود در اتمسفر در خوردگی تغییرات را بیان کنید؟

پاسخ:

آلاینده های موجود در اتمسفر یکی از عوامل اصلی در ایجاد محیط خورنده می باشد وجود رطوبت محیط در اتمسفر سبب جذب آلاینده های موجود در اتمسفر شده و با کندانس شدن این رطوبت بر روی سطح می تواند خوردگی های موضعی را در قسمتهای مختلف تبخیر بوجود آورد.

پرسش:

خوردگی های ایجاد شده در خطوط لوله انتقال به چند دسته تقسیم می شوند؟

پاسخ :

خوردگی های بوجود آمده در خطوط لوله انتقال به دو دسته خوردگی های داخلی خطوط لوله و خارج آن تقسیم بندی می گردد. خوردگی های داخلی خطوط لوله ناشی از تاثیر متقابل سیال داخلی لوله و جداره داخلی لوله می باشد. و خوردگی های خارجی مربوط به تاثیر متقابل محیط خاک با سطح خارجی لوله است. خوردگی های رایج در قسمت خارجی لوله مربوط به تخریب پوشش سطوح خارجی لوله می باشد که در نهایت منجر به تخریب لوله خواهد انجامید.

پرسش :

در استفاده از اتصالات در خطوط لوله زیرزمینی و روی زمینی چه نکاتی می بایست از نقطه نظر خوردگی رعایت شود ؟

پاسخ :

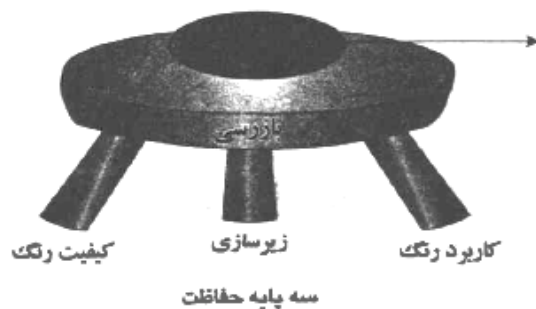
در استفاده از اتصالات به منظور جلوگیری از خوردگی گالوانیک می بایست دقت کافی بعمل آید که متریال بکارگرفته شده در خطوط لوله و اتصالات هم جنس و یا حداقل نزدیک به هم باشند تا از ایجاد این خوردگی جلوگیری بعمل آید همچنین اتصالات زاویه دار مانند T , Elbo سبب افزایش خوردگی سایشی در این نقاط می گردد که این موضوع می تواند در طراحی لحاظ گردد.

فصل دوم

آماده سازی سطح

۲-۱- تمیزی سطح و هدف از آن

امروزه در همه صنایع پوشش های صنعتی از اهمیت بسیاری برخوردارند. کیفیت، دوام و طول عمر موثر پوشش به شرایط سطح مورد نظر بستگی مستقیم دارد. آماده سازی سطح از عواملی است که در عملکرد حفاظتی پوشش دخالت دارد. با جایگزینی سیستم های پوششی پیشرفته نظیر اپوکسی و اتیل سیلیکات به جای روغن ها و رنگ های آلکیدی در دهه ۶۰، به کارگیری روش های دقیق آماده سازی و زدودن کامل آلودگی ها و زنگ زدگی ها از سطح نیز روز به روز اهمیت بیشتری پیدا کرد و حذف کلریدها و سولفات ها حیاتی تر شد. همچنان که قوانین محیط زیست استفاده از رنگدانه های ضد خوردگی سرب و کروم شش ظرفیتی را محدود کرده و رنگدانه های غیر سمی بورات ها، فسفات ها و مولیبدات ها را مجاز دانست، حساسیت این موضوع موجب شده تجدید نظر و نوآوری در انواع روش های فیزیکی و شیمیای آماده سازی انجام گیرد. هرچه اطلاعات ما راجع به ارتباط بین پوشش و سطح بیشتر می شود، نیاز به استفاده از روش های پیشرفته تر بیشتر احساس می شود [۴]. در صورتی که این مسئله با یک دید اقتصادی مورد بررسی قرارگیرد، ملاحظه خواهد شد که برای یک حفاظت دلخواه، ۶۰ تا ۷۰ درصد هزینه صرف آماده سازی و بقیه صرف هزینه های دیگر می شود. نقش حفاظتی یک پوشش، به مثال یک تخم مرغ بی حرکت بر روی سه پایه حاصل از کاربرد رنگ، زیرسازی و کیفیت رنگ شباهت دارد [۴].



شکل ۶ [۴]

همانطور که ملاحظه می شود پایه اصلی و میانی این سه پایه را زیرسازی تشکیل می دهد. بدیهی است که محل و شرایط سطح در انتخاب نوع زیرسازی نقش عمده ای بازی می کند. اگر سطح مورد نظر بتواند در یک خط تولید قرار گیرد، همچون کارخانجات اتومبیل سازی، در این صورت می توان آنرا به صورت اتوماتیک زیرسازی و آماده کرد. اما اگر سطح مورد نظر وسیع باشد و در خط تولید جای نگیرد، روش های مختلف دیگری بایستی اتخاذ گردد. روش آماده سازی به شرایط سطح بستگی دارد، شرایطی از قبیل اینکه آیا سطح قبلاً رنگ شده یا خیر و اگر رنگ شده چه سطحی را رنگ و چه سطحی را زنگ می پوشاند؟ آیا رنگ های قبلی به سطح چسبیده اند؟ وجود لایه های زنگ زدگی در عمق و حجم فولاد که در محیط مرطوب ایجاد می شود باید قبل از اجرای رنگ از سطح برداشته شوند برای این کار می توان از چکشهای مخصوص و یا وسیله ضربه زن دیگر استفاده کرد. حتی فولاد نو و تازه که در کارخانه فولادسازی به طریق گرم نورد شده نیز احتیاج به زیرسازی دارد زیرا در هنگام تولید ورقه های فولادی در حرارت های ۵۷۵ تا ۱۳۷۰ درجه سانتیگراد در مجاورت هوا یک لایه نازک اکسیدی، پولک های آبی مایل به سیاه^۱ به نام (وستیت) روی سطح تشکیل می شود. این پوسته ها پس از سرد شدن تدریجی فولاد در دمای محیط و اکسایش طبیعی سطح فلز حین نورد به وجود می آیند. این پوسته به دلیل ضریب انبساط مختلفی که نسبت به سطح فولاد دارند ترک خورده و به مرور رطوبت محیط در بین ترک ها محبوس شده و زنگ زدگی از زیر پوسته آغاز و پوسته ها از سطح فولاد جدا می شوند. رنگ روی این پوسته ها زنگ زدگی را به تاخیر می اندازد ولی به طور کامل مانع از زنگ زدگی نمی شود و به تدریج رنگ هم ترک می خورد. معمولاً برای جلوگیری از پیشرفت واکنش های خوردگی و زنگ زدگی قبل از تحویل ورقه های فولادی، آنها را با یک پوشش موقت از ترکیبات پارافینی می پوشانند ولی ممکن است سطح در معرض گرد و غبار قرارگیرد و یا در اثر ضربه ناهمواری بر روی سطح ایجاد شود که احتمال خوردگی را افزایش می دهد لذا در هنگام کاربرد پوشش دائمی بر روی فولاد تازه نورد شده نیز ملزم به آماده سازی سطح خواهیم بود. این کار به راحتی با عمل سندبلاست یا اسیدشویی انجام می شود.

¹ - Mill Scale

لایه وستیت در دمای پایین تر از ۵۷۵ درجه سانتیگراد در تماس با اکسیژن به اکسید آهن (مگنتیت) با ضخامت بیشتر تبدیل و پس از این که فلز در معرض اکسیژن و بخار آب قرارگیرد لایه اکسید آهن به لایه ضخیم تری به نام (هماتیت) با فرمول شیمیایی H_2O ، $2Fe_2O_3$ تبدیل می شود. این لایه زنگ زدگی در محیط مرطوب و خورنده شیمیایی در عمق فولاد ایجاد می گردد و بایستی همه زنگ زدگی ها قبل از اجرای رنگ از روی سطح برداشته شود.

۲-۱-۱- اهمیت آماده سازی سطح

آماده سازی سطح به دلایل زیر اهمیت دارد:

- ۱- اطمینان از چسبندگی مناسب رنگ به سطح. (به واسطه از بین بردن و پاک کردن کامل آلودگی ها و مواد خارجی که با گروه های فعال سطح واکنش داده مانع از اتصال کامل رنگ به سطح می شوند).
- ۲- افزایش چسبندگی به علت افزایش سطح و افزایش گروه های فعال سطح در واحد سانتی مترمربع.
- ۳- اطمینان از این که واکنش بین رنگ و سطح در اثر حضور یونهای فعال نظیر کلریدها و سولفات ها شکسته و تخریب نمی شوند.

تمیزکاری و خنثی سازی سطح فلز به این دلیل اهمیت دارد که رنگ از لحاظ تئوری برای کاربرد روی یک سطح خاص فرموله شده است لیکن سازه های فلزی در مکان های مختلف با شرایط مختلف آلودگی های مختلفی دارند. پس سطوح در همه جا یکسان نیستند و لازم است که سطح کاملاً آماده سازی شود تا حداکثر با آنچه در آزمایشگاه فرموله شده مطابقت داشته باشد.

در کاربرد پوشش ها سه انتخاب بسیار مهم وجود دارد:

- انتخاب نوع روش زیرسازی
- انتخاب نوع پرایمر
- انتخاب نوع پوشش یا رنگ رویه

اگر انتخاب اول به خوبی و درستی صورت نگرفته باشد، نقش و عملکرد عوامل بعدی دچار نقص می شود. انتخاب روش صحیح آماده سازی به مشخصات رنگ مورد نظر بستگی دارد. به طور کلی پوشش های سنتزی وینیل ها، اپوکسی ها، سیلیکونی، اتیل سیلیکات، کلروکائوچو و فنولیک ها نیازمند یک آماده سازی بسیار قوی همچون سندبلاست یا اسیدشویی هستند در حالی که پوشش های بر پایه روغن نظیر آلکیدها و اپوکسی استر تا این حد به آماده سازی سطح حساس نیستند.

همچنین نوع سطح (فولاد، گالوانیزه، آلیاژهای فلزی، چوب و بتون) نیز در انتخاب نحوه آماده سازی تاثیر دارد. بعضی از سطوح نظیر چوب و بتون و چدن ذاتاً متخلخل هستند و در نتیجه زبری مورد نیاز را دارند و به آماده سازی قوی احتیاجی ندارند. پاک کننده های شیمیایی و اسیدشویی برای سطوح نرم نظیر آلومینیوم، روی، مس و سرب پیشنهاد می شوند. اما کربن استیل حتماً نیاز به سندبلاست دارد.

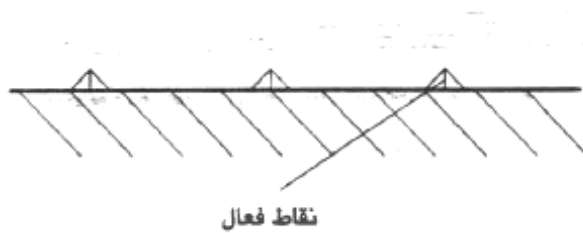
فلز گالوانیزه آهن و یا فولادی است که یک لایه فلز روی با ضخامت حدود ۱۵ تا ۷۵ میکرون روی آن پوشیده شده است. اگرچه گالوانیزه کردن خود یک روش جلوگیری از خوردگی است، زمان و رطوبت محیط باعث تخریب این پوشش و ایجاد زنگ زدگی می شود. چنانچه محیط مناسب باشد کافی است فقط سطح فلز گالوانیزه از ترکیبات نمکی فلز روی پاک شود و پرایمر مناسب اعمال گردد و احتیاجی به شستشوی با مواد شیمیایی و روش های قوی آماده سازی نیست. البته گالوانیزه نو و تازه، پرایمر فلزی را به خود نگه نمی دارد و لازم است عمل اسیدشویی و کاربرد پرایمر مخصوص (واش پرایمر) انجام گیرد. همچنین برخی پرایمرهای لاتکس برای سطح گالوانیزه نو مناسب هستند و نیز پرایمرهای حاوی پودر روی به روی سطح تازه گالوانیزه شده چسبندگی بسیار خوبی دارند و نیازی به اسیدشویی نیست.

مسائل اقتصادی نیز یک عامل مهم در انتخاب روش آماده سازی است. بدیهی است برای یک ساختمان تازه ساز آماده سازی و رنگ آمیزی در کارخانه تولید کننده سازه فولادی در اکثر موارد به صرفه تر از رنگ آمیزی پس از نصب است زیرا روش های آسان آماده سازی نظیر اسیدشویی، سمباده چرخ دوار و دیگر راه های اقتصادی را نمی توان در محل نصب ساختمان انجام داد.

ایمنی افراد و آسیب پذیری دستگاه ها در این مورد مهمترین عامل محدود کننده است. در خیلی از مکان ها به دلیل خطر ایجاد جرقه و محدودیت انفجار اجازه سندبلاست را نداریم. از طرفی استفاده از سمباده دستی با وجود دستگاه های الکتریکی و هیدرولیکی تقریباً منسوخ شده است و امکان دارد درجایی محدودیت اجتناب از آلودگی محیط زیست اعمال شود. به این ترتیب انتخاب بهترین راه آماده سازی سطح نه تنها الزامی بلکه بسیار پیچیده است. آماده سازی سطح شامل دو مرحله آماده سازی اولیه و آماده سازی ثانویه است. آماده سازی اولیه کمک می کند تا قبل از بکارگیری یک آستر ضد خوردگی یا آستر ضد خوردگی یا آستر کارگاهی لایه های اکسید شده، زنگ و مواد خارجی از سطح فولاد برداشته شود. آماده سازی ثانویه سطح کمک می کند تا قبل از بکارگیری سیستم پوششی، کلیه زنگ زدگی ها و آلودگی های خارجی از روی سطح فولاد پوشیده شده با پرایمر در کارگاهی برداشته شود. آماده سازی سطح چسبندگی پوشش را زیاد می کند. مسلم است که این چسبندگی وجود نداشته و یا ضعیف باشد پوشش به صورت لایه ای عمل می کند که با هر عامل فیزیکی یا شیمیایی قابل جابجایی خواهد بود. زمانی که سطح به روش فیزیکی تمیز و آماده شده باشد می توان دو منظور کلی از آن به دست آورد:

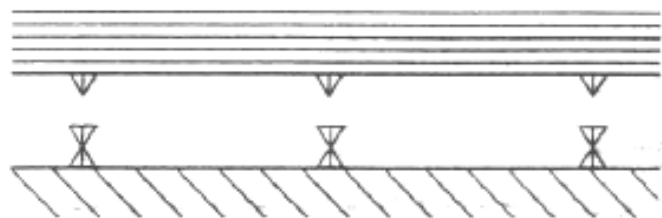
۱- آماده سازی هرگونه آلودگی را از سطح جدا می کند و باعث زدوده شدن اکسیدهای فلزی، لایه های زنگ زدگی، رنگ ها و پوشش های قبلی، مواد شیمیایی، گرد و غبار، روغن و گریس می شود.

سطح یک فلز را می توان مثل طرحی در نظر گرفت که روی آن قسمت های خاصی بر اساس قاعده مشخصی دارای مراکز فعالی است که با مراکز فعال لایه رنگ واکنش می دهد.



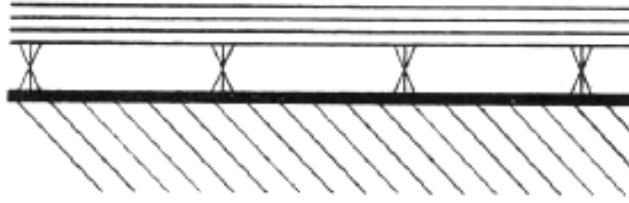
شکل ۷ [۴]

در سطح فولادی که در مقابل شرایط محیط قرار گرفته است این مراکز فعال توسط اکسیدها، آلودگی ها و ذرات زنگ زدگی پوشیده شده، از اتصال رنگ به فلز جلوگیری می کند.



شکل ۸ [۴]

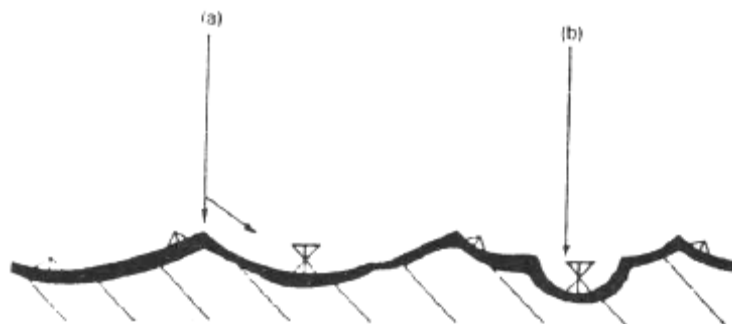
در صورتی که مواد یاد شده در حد فاصل بین پوشش و سطح فلز باقی بمانند سبب جدایی نقاط قطبی مولکول های پوشش و سطوح قطبی فلز می شوند. با تمیز کردن سطح، این زنگ زدگی ها و آلودگی ها از روی مراکز فعال رنگ واکنش شیمیایی و فیزیکی انجام می دهند. زدودن مواد آلاینده به نقاط فعال قطبی سطح این فرصت را می دهد که با پرایمر جاذبه داشته باشند و حداکثر چسبندگی را به وجود آورند.



شکل ۹ [۴]

۲- آماده سازی سبب ایجاد ناهمواری در سطح می شود که این عمل خود سطح تماس واقعی فلز را افزایش می دهد. هر چه سطح تماس بیشتر باشد چسبندگی با پوشش بیشتر خواهد بود.

زدودن مواد آلاینده و افزایش سطح تماس سبب می شود که مقدار زیادی از نقاط فعال سطح فلز نمایان شده و امکان ایجاد پیوندهای قطبی و شیمیایی افزوده شود.



شکل ۱۰ [۴]

آلودگی سطح حتی در کیفیت چسبندگی رنگ های مرغوب نیز تاثیر می گذارد. در گذشته عمل زیرسازی سطح اهمیت نداشته است. رنگ های روغنی به عنوان پرمصرف ترین رنگ با خاصیت نفوذپذیری زیاد روی سطح، جرم مولکولی کم و قابلیت کاربرد با قلم مو قادر بودند مواد آلوده روی سطح را در خود جای دهند و مانع از فعالیت آنها شوند. اما امروزه با پیشرفت و توسعه صنعت رنگ سازی، رزین هایی همچون اپوکسی و اتیل سیلیکات با جرم

مولکولی بالا مواد آلوده را در خود نمی پذیرند و اگر سطح زیرسازی نشود چسبندگی کمی خواهند داشت.

جهت چسبندگی کامل رنگ به سطح، بایستی سطح با رنگ مربوط شود. طبق قانون عمومی مواد، موادی با کشش سطحی کم سطح فلز را بهتر مرطوب می کنند. اما اکثر رنگهایی که امروزه مصرف دارند نظیر اتیل سیلیکات و رنگ های وینیلی کشش سطحی بالایی دارند و بنابراین نمی توانند به خوبی سطح فلز را مرطوب کنند. در حالی که روغنهای و رنگ های آلکیدی لانگ اویل که در گذشته بکار می رفتند کشش سطحی بسیار پایینی داشتند و سطح فلز را به خوبی مرطوب می کردند.

بدیهی است هرچه روش های آماده سازی سطح پیچیده تر شود مقدار آلودگی سطح نیز کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر یک فلز پس از آماده سازی اگر در حد فلز سفید^۱ باشد بهترین امکان را برای چسبندگی دارد. معمولاً برای ایجاد فلز سفید هزینه های زیادی مصرف می شود. اگر سطح تا حد نقره ای یا نزدیک به سفید^۲ آماده شود آلودگی بسیار کمی دارد. سطح آماده سازی شده تا حد تجاری^۳ دارای آلودگی بیشتر و درصد کمتری از نقاط فعال سطح در دسترس ایجاد اتصال هستند. در روش آماده سازی سطح تا حد تمیزکاری با برس^۴ مقدار قابل ملاحظه ای از مواد آلوده روی سطح باقی می ماند که به همان نسبت امکان چسبندگی قطبی یا شیمیایی را کاهش می دهد.

بعضی اوقات سطوح را به روش های شیمیایی تمیز و آماده می کنند. روش های آماده سازی شیمیایی زمانی که به درستی انجام شوند قادرند نقاط فعال روی سطح فلز را آزاد کنند و چسبندگی را افزایش دهند. روش های شیمیایی فقط مواد آلوده کننده را می زدایند و در ناهموار کردن سطح دخالت ندارند. بنابراین در مقایسه با روش های دیگر حداقل نقاط فعال و در نتیجه چسبندگی کمتری ایجاد خواهند کرد.

¹ - White metal

² - Near white metal

³ - Commercial

⁴ - Brush - Off

در این سیستم جریان مواد ساینده که از مرکز نازل به سطح فلز ضربه می زند و باعث تمیزی سطح می شود فوراً پس از برخورد با سطح به وسیله خلاء از اطراف نازل مکیده و جمع آوری می شود. در این سیستم نازل متصل به یک محفظه فنجان‌شکل است که اطراف محیط آن با لاستیک یا برس کاملاً درز بندی شده و نازل در این مرکز این محفظه فنجان‌شکل قرار دارد لذا در این سیستم گرد و غبار به طور کامل حذف می شود.

ساینده‌هایی با میزان شکستگی کم مجدداً تمیز و بازیافت شده و ساینده‌هایی با میزان شکستگی زیاد در کیسه مخصوص جمع می شود. این سیستم در مواردی که درجه بالایی از تمیزی سطح مورد نیاز باشد کاربرد دارد ولی ابزار کار بسیار گران و سرعت عمل بسیار کند است. این سیستم برای قسمت‌هایی با اشکال پیچیده و دور از دسترس کاربرد نداشته و برای کارهای با حجم زیاد نیز استفاده نمی شود.

عدم قابلیت ساینده‌های خشک در پاکسازی سطح از آلودگی‌های یونی البته مهمترین عامل است به ویژه در هنگام ترمیم و نگهداری سطوح قدیمی این مشکل بیشتر مشهود است. در سطح فلز یک پل قدیمی آلودگی یونی بیشتر است و امکان دسترسی به سطح و زدودن کامل آلاینده‌ها از روی سطح کمتر است. وجود چنین آلاینده‌هایی با برخی مواد شیمیایی قابل آشکارسازی است. کاغذ آغشته به پتاسیم فروسیانید یا محلول فنل فتالئین ده درصد حضور آهن را نشان می دهد. نیترات نقره و نیترات جیوه به صورت نقطه‌ای حضور کلریدها را مشخص می کنند.

روش تمیزکاری با پاشیدن ساینده مرطوب یکی از راه‌های حذف این آلودگی‌ها می باشد.

¹ - Vacuum blasting

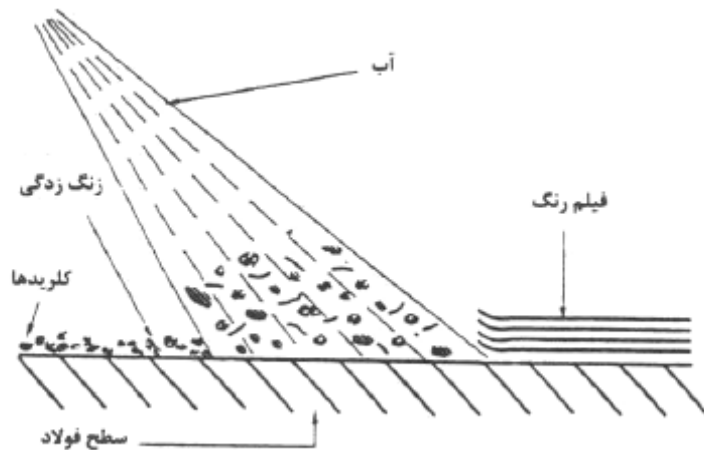
روش تمیزکاری با پاشیدن آب تحت فشار در حقیقت نوعی تمیزکاری مکانیکی و شیمیایی توام است. این روش زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که استفاده از روش‌های دیگر عملی نباشد. به خصوص در جایی که سطح، شکل همواری ندارد و یا در دسترس نیست و یا با ابزار دیگر به خصوص درجایی که سطح، شکل همواری ندارد و یا در دسترس نیست و یا با ابزار دیگر نمی‌توان تمیز کرد. برای مثال برای تمیزکردن سطح ورقه یا دریچه فلزی روی کف زمین که استفاده از ابزار الکتریکی و ابزار دستی مشکل است، این روش بسیار عالی است. همچنین تمیزکاری سطوح ناصاف مثل پمپ‌ها، شبکه‌ها، سطوح داخلی مبدل‌های حرارتی و دیگ‌های بخار، لوله و فلنج‌ها، تانک‌های ذخیره، راکتورهای شیمیایی و سطوح بتونی و سیمانی مناسب است.

با توجه به اینکه آب هیچگونه اثر سایشی روی سطح نمی‌گذارد بنابراین پروفایلی روی سطح ایجاد نمی‌کند.

کیفیت سطح آماده‌سازی شده با این روش نسبت به دو روش قبل بهتر است زیرا اثرات سوء ناشی از ناهمواری‌های نامطلوب را به دنبال ندارد بیشتر برای تمیزکاری سطح رنگ شده توصیه می‌شود و سطوح فلزی که هنوز رنگ نشده معمولاً با این روش تمیز نمی‌شود.

روش پاشیدن آب تحت فشار تقریباً هرگونه آلودگی که کاملاً به سطح نچسبیده تمیز می‌کند. رنگ‌های گچی شده، رنگ‌های ورقه شده، زنگ و پوسته‌ورآمده، گریس، چربی، آسفالت، ماستیک و پوشش‌های قیری و سطح بتون را به خوبی تمیز می‌کند ولی ذرات و رنگ‌های چسبیده به سطح با این روش برداشته نمی‌شود.

¹ - Water Jet Blasting



شکل ۱۱ [۴]

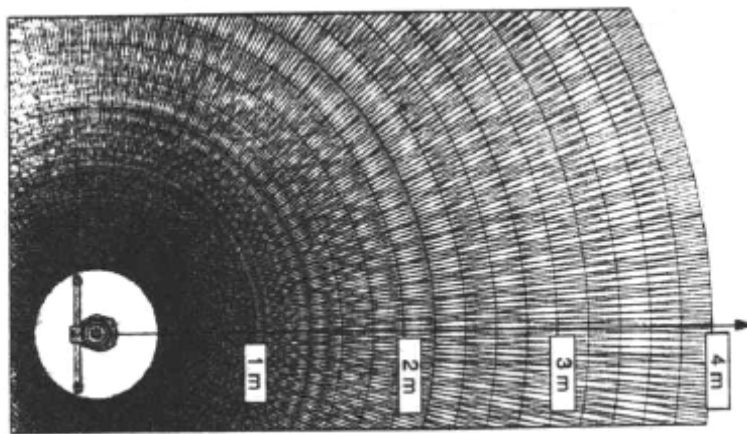
بدیهی است سرعت انجام کار به میزان آلاینده و میزان چسبندگی این مواد به سطح بستگی دارد. پس از اتمام کار آماده سازی با این روش، سطح فعال بسیار مستعد زنگ زدگی است و خیلی سریع یک لایه نازک زنگ زدگی روی سطح پدید می آید که لازم است با استفاده از پارچه خشک یا با فشار هوای خشک تمیز کاری نهایی انجام و سطح کاملاً خشک گردد. بایستی توجه داشت که روی سطوحی که با این روش آماده شده اند هر نوع پوششی را نمی توان اجرا کرد زیرا ممکن است رطوبت آب روی سطح باقی بماند و پس از کاربرد پرایمر از زیر ایجاد خوردگی نماید.

برای پاشیدن آب از پمپ هیدرولیک با فشار قوی استفاده می کنند. انرژی لازم بر حسب نوع آلودگی متفاوت است. برای زدودن حلال ها، لاستیک های مصنوعی، پلاستیک ها، مواد نفتی، نفت خام، زغال سنگ و سوخت های روغنی فشار ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ بار و شدت جریان آب حداکثر ۳۰۰ لیتر در دقیقه لازم است. برای پاک کردن مشتقات نفتی و پلاستیکی فشار تا ۳۰۰۰ بار و شدت جریان آب ۳۰ لیتر در دقیقه نیاز است. تمیزکردن ذرات خشک شده در جدار داخلی یک مخزن به فشار ۱۲۰۰ بار نیاز دارد.

کار در فشارهای بالا خطرناک است زیرا با افزایش فشار آب، کنترل نازل مشکل خواهد بود و به اپراتور فشار زیادی وارد می شود. قطر لوله هیدرولیک بین $\frac{3}{8}$ تا $\frac{1}{2}$ اینچ (۹/۵ تا ۱۲/۵ میلیمتر) مناسب است و در صورتی که فشار آب کاسته نشود طول لوله تا صدمتر

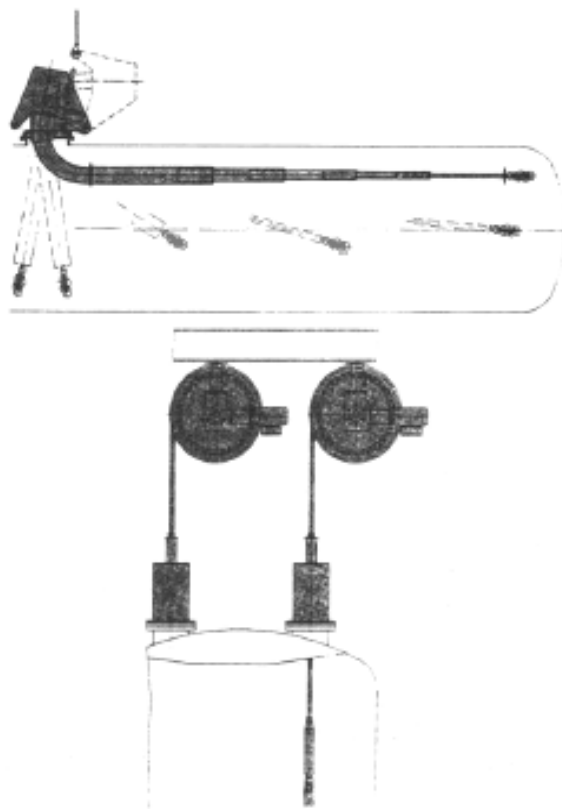
می تواند برسد. معمولاً نازل به فاصله ۶ تا ۱۰ اینچ (۱۵ تا ۲۵ سانتی متر) از سطح کار قرار می گیرد. بدیهی است که هرچه این فاصله کمتر باشد، سرعت آماده سازی بیشتر خواهد شد. زاویه نازل به سطح نوع آلاینده بستگی دارد. برای تمیز کردن مواد شکننده و ترد مثل زنگ زدگی و پوسته های رنگ قبلی، نازل تقریباً عمود بر سطح است. اما برای کندن مواد نرم مثل ماستیک زاویه نازل با سطح بایستی ۴۵ درجه یا کمی بیشتر باشد. این امر سبب می شود که ماستیک به صورت ورقه ورقه از سطح بلند شود.

علاوه بر پمپ، تجهیزات دیگری از قبیل فیلتر آب، فشارسنج، لوله هیدرولیک، تفنگ پاشیدن آب و نازل در اشکال مختلف برای کاربردهای گوناگون در سیستم وجود دارد. برای مثال تجهیزات مورد نیاز برای تمیز کردن مجاری داخلی یک مبدل حرارتی با تجهیزات مورد نیاز برای یک مخزن بسیار متفاوت است. نازلی که از آن برای تمیز کردن داخل مخزن استفاده می شود. به نحوی ساخته شده که در اثر عکس العمل نیروی آب به چرخش در می آید و با این چرخش در دو محور، آب با فشار به همه قسمت ها می رسد.

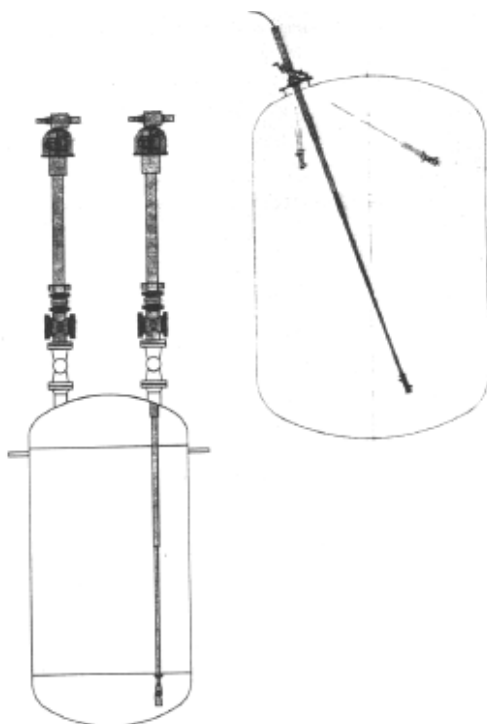


شکل ۱۲ [۴]

همچنین طراحی های جدید روی این ابزار به نوعی است که این امکان را می دهد تا به راحتی همه قسمت های مورد نظر حتی مخازن با اشکال پیچیده تمیز گردد.



شکل ۱۳ [۵]



شکل ۱۴ [۵]

ابزارهایی نیز از این دسته وجود دارند که برای تمیز کردن سطوح بزرگ افقی یا عمودی استفاده می شوند. این ابزار با فشار تا حداکثر ۳۰۰۰ بار حاصل از موتور پنوماتیک برای تمیزکاری سطوح بدنه کشتی ها و سطوح بتونی بسیار مناسب است. شدت جریان آب در این دستگاه تا ۴۰ لیتر در دقیقه افزایش می یابد و با خلاء مکش هوا تا ۰/۸ بار آلودگیهای جدا شده از روی سطح و آب پاشیده شده، مکیده می شود. از نظر اقتصادی، هزینه این روش معادل روش شن پاشی است و در کلیه واحدهای صنعتی، حوضچه تعمیرات کشتی^۱، نیروگاه ها، پالایشگاه ها و صنایع شیمیایی با ضریب اطمینان بالا توصیه می شود.

روش پاشیدن آب تحت فشار برای سطوح غیر فلزی زیان بار است. اشیاء چوبی، اتصالات الکتریکی و دستگاه های برقی بایستی از محیط عمل دور شوند و مسائل ایمنی رعایت شود. آب مورد استفاده بایستی کاملاً تمیز و عاری از هرگونه گل و لای و لجن باشد. در غیر این صورت به اتصالات پمپ صدمه می زند و یا سطح مورد نظر را آلوده می کند. گاهی

^۱ - Dry dock

اوقات بسته به کیفیت سطح کار، مواد پاک کننده به آب می افزایند و یا به منظور صرفه اقتصادی پاک کننده را قبل از پاشیدن آب به سطح اسپری می کنند. قبل از کاربرد رنگ بایستی سطح با آب تمیز کاملاً شسته و خشک شود.

موادی به نام بازدارنده خوردگی نیز برای جلوگیری از اکسایش و زنگ زدگی فلز به آب افزوده می گردد که بایستی با سیستم پوششی بعدی سازگار باشد. برای این منظور عموماً از محلول ۲٪ دی کرومات یا فسفات سدیم و پتاسیم و یا محلول ۳۲٪/۰ نیتريت سدیم و ۱/۲۸٪ فسفات آمونیوم در آب استفاده می شود. بعضی از بازدارنده های تجارتي قادرند سطح فولاد را تا هفت روز محافظت نمایند.

۲-۳-۱- تمیز کاری با بخار آب تحت فشار^۱

روش تمیز کاری با بخار آب تحت فشار نیز در حقیقت نوعی تمیز کاری مکانیکی و شیمیایی توام است که با استفاده از حرارت و نیروی حاصل از بخار تحت فشار زیاد، سطح تمیز می شود. بخار آب با دمای حدود ۱۴۹ درجه سانتیگراد و فشار ۱۰۰ تا ۱۳۰ بار به سطح پاشیده می شود. میزان مصرف آب در این روش تقریباً ۷۵۷ لیتر در هر ساعت است. بخار آب می تواند حاوی سود باشد که آلودگی ها، گریس، مواد روغنی، دوده و قیر را پاک کند و یا با یک شوینده همراه باشد که آلودگی ها را بشوید. این روش بیشتر برای تمیز کردن سطوحی استفاده می شود که به دلیل شکل، اندازه و موقعیت ممکن نیست با حلال تمیز شود. این روش زنگ زدگی ها را بر نمی دارد ولی بواسطه حضور سود در محیط ممکن است رنگ های قبلی را پاک کند. بعد از این عمل باید از ابزارهای مکانیکی برس سیمی یا سمباده برای تمیزی بیشتر استفاده کرد.

عیب این روش این است که آلودگی سخت به هم چسبیده را از سطح فلز پاک نمی کند، پولک های اکسیدی، ورقه های زنگ زده و نیز رنگ های چسبیده به سطح را بر نمی دارد. همچنین وقتی از یک شوینده همراه با بخار آب استفاده شود در صورتی که سطح با آب تمیز به حد کافی شسته نشود یک لایه مواد قلیایی روی سطح باقی مانده که ممکن است

¹ - Steam blasting

با رنگ مورد نظر ناسازگار بوده و یا از اتصال دقیق پیوندهای بین رنگ و سطح جلوگیری کند.

اقتصادی بودن روش و عدم ایجاد آلودگی در محیط از مزایای استفاده از بخار آب تحت فشار است. به علاوه هیچ تخریبی در ابعاد و خصوصیات فلز ایجاد نمی شود. امکان حمل و نقل وسایل وجود دارد و هزینه خرید ابزار پایین است. ابزار این روش شامل محفظه آب جوش، محفظه اسپری کننده با فشار کم، پمپ انتقال مواد و یک موتور گازوئیلی است. این وسایل روی یک ریل یا چرخ سوار و قابل حمل هستند.

نازل های بخار انواع مختلفی دارند که برحسب میزان درجه آماده سازی مورد نظر انتخاب می شوند. برای سطوح بزرگ یک نازل پره ای و برای سطوح کوچکتر و سطوحی که دردسترس نیست یا سطوحی که به تمرکز بیشتری نیاز دارد یک نازل دوار مناسب است. مکانیسم عمل دستگاه اسپری بخار نیز به دو طریق تزریقی و مکشی است.

این امر بسیار هم است که در هیچ نقطه ای از سطح، مواد شوینده یا سود باقی نماند. لذا در مرحله آخر به طور سیستماتیک بایستی سطح با آب تیمز از بالا به پایین شسته شود. پس از اتمام کار، اپراتور بایستی سعی کند تا جایی که ممکن است سطح را خشک نماید و گاهی مهلت ۲۴ ساعت لازم است تا سطح کاملاً خشک شده و رطوبت آن از بین برود. در قسمت هایی چون پل ها و ریل ها بهتر است پس از تمیز کاری با بخار آب، با استفاده از ابزار دستی تمیز کاری سطح تکمیل گردد.

برای تعیین میزان تمیزی سطح، تجربه اپراتور نقش بسیار عمده ای دارد. اگر سطح تمیز نباشد سیاه و اگر سطح تمیز و مرطوب باشد لغزنده است که با حرکت خیلی نرم نوک انگشت روی سطح قابل احساس خواهد بود. اگر سطح کاملاً تمیز و خشک باشد، سطح خشن است اما گرد و غبار نخواهد داشت و اثر نوک انگشت روی سطح نمی ماند.

شرایط کار در این روش و شستشو با آب تحت فشار در جدول ۱ مقایسه شده است:

جدول ۱ [۴]

شرایط کار	تمیزکاری با پاشیدن آب تحت فشار	تمیزکاری با بخار آب تحت فشار
فشار	۷۰۰ تا ۹۰۰ بار	۱۰۰ تا ۱۲۰ بار
میزان مصرف آب	۳۰۰۰ لیتر در ساعت	۷۵۰ تا ۸۰۰ لیتر در ساعت
سرعت تعیز کاری	۵ متر مربع در ساعت	۵ مترمربع در ساعت

۲-۴- مواد ساینده

انتخاب نوع و تعیین میزان سرعت پرتاب ساینده به سطح، دو عامل مهم در میزان و کیفیت سطح آماده شده می باشند. با انتخاب صحیح این دو عامل می توان یک زیرسازی مناسب را انتظار داشت. کیفیت پوشش رنگ مورد نظر، سختی رنگ، میزان تمیزی مورنیاز سطح و عمق پروفایل مورد نیاز از جمله نکاتی هستند که در انتخاب نوع مناسب ساینده بایستی مورد توجه قرار گیرند. همچنین عواملی مانند فاصله نازل از سطح، زاویه نازل نسبت به سطح و سختی سطح از عوامل موثر در پروفایل ایجاد شده روی سطح هستند که باید در انتخاب ساینده مناسب مورد توجه قرار گیرند.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ساینده ها که مطابق با استاندارد SSPC AB-1 به هنگام انتخاب ساینده مناسب باید در نظر داشت عبارتند از:

۲-۴-۱- اندازه

ذرات ساینده توسط نیروی حاصل از هوای فشرده یا نیروی گریز از مرکز چرخ های دوار به سطح فلز پرتاب می شوند. اگر ذرات بسیار بزرگ باشند سرعت آنها در جریان خروجی کاهش می یابد و ضربه کمتری به سطح فلز وارد می شود. بهترین اندازه ذرات با قطر متوسط ۰/۳ تا ۰/۵ میلیمتر، سطح مناسبی برای یک سازه فلزی صنعتی فراهم می آورد. از

ذراتی با قطر تا حداکثر ۵ میلیمتر نیز استفاده می شود ولی در صورتی که ساینده کوچکتر بتواند عمل آماده سازی سطح را به نحو دلخواه انجام دهد، از نظر اقتصادی و مهندسی بهتر خواهد بود. یکنواختی اندازه دانه های ساینده نیز اهمیت بسزایی دارد. با توجه به این که دانه ها به اندازه حجم خود روی سطح اثر می گذارند در صورتی که دانه های کوچک و بزرگ به طور یکنواخت با هم مخلوط باشند پروفایل حاصل نیز یکنواخت خواهد بود.

۲-۴-۲- شکل

چون ساینده شکلی مشابه شکل خود بر روی سطح ایجاد می کند، بنابراین شکل ساینده نیز همچون اندازه آن در طرح و میزان عمق پروفایل سطح فلز بسیار موثر است. ذرات ساینده اگر گرد و ساچمه ای شکل باشند (کروی)^۱ و اگر زاویه دار و بی شکل باشند (نوک تیز)^۲ نامیده می شوند. ساینده کروی چکش وار به سطح ضربه می زند و پروفایل مقعر در سطح ایجاد می کند ولی به طور معمول به تنهایی یک نقش پروفایل مناسب را روی سطح ایجاد نمی کند. اگرچه اکثر ساینده های فلزی می توانند به صورت کروی باشند ولی عمده‌تاً ساینده های کروی از جنس فولاد هستند. در روش تمیزکاری با استفاه از نیروی گریز از مرکز (چرخ دوار) معمولاً از ساینده های کروی استفاده می شود. ساینده کروی در مقابل شکستگی مقاوم تر است ولی فقط لایه های نازک اسیدی و ورقه های زنگ زدگی کمی ضخیم را از روی سطح تمیز می کند.

ساینده های نوک تیز که شکل مشخصی ندارند پروفایل ناهموار و نامنظم در سطح ایجاد می کنند. ساینده نوک تیز زودتر شکسته و خرد می شود و بیشتر برای تمیزکاری سطوحی که زنگ زدگی شدید است و حتی به مرحله خوردگی و ایجاد حفره^۳ رسیده، استفاده می شود و پولک های اکسیدی، ورقه های زنگ زدگی ضخیم، رنگ های چسبیده به سطح و هرگونه آلودگی را از سطح می زداید.

^۱ - Shot

^۲ - Grit

^۳ - Pitting

۲-۴-۳- ترکیب شیمیایی

جنس ساینده در میزان پاکیزگی سطح دخالت مستقیم دارد. باید توجه داشت که در هر حال ذراتی از ساینده بر روی سطح باقی می ماند که به چشم نمی آید اما باقی ماندن این ذرات چندان مهم نیست بلکه ترکیب شیمیایی ذرات باقیمانده اهمیت دارد زیرا کانون مناسبی برای آغاز خوردگی سطح خواهد بود. به طور کلی ساینده ها بایستی فاقد مواد محلول (در آب، حلال و اسید) باشند. این موضوع به ویژه وقتی حائز اهمیت است که سطح فولاد آماده سازی شده بعد از رنگ آمیزی در محیط های شیمیایی غوطه ور باشد. به ویژه کلریدهای موجود در ساینده که روی سطح باقی می ماند باعث خوردگی زود هنگام از زیر پوشش رنگ خواهد شد. سرب یکی از مواد سمی است که اگر غلظت آن بیش از ۵ در واحد PPM باشد، ترکیب شیمیایی ساینده خطرناک محسوب می شود.

۲-۴-۴- pH

pH ماده ساینده بایستی به دقت مورد توجه قرارگیرد زیرا pH اسیدی با قلیایی خوردگی فلز را تسریع می کند. pH ساینده مطلوب باید تقریباً خنثی باشد.

۲-۴-۵- درصد رطوبت موجود

رطوبت موجود در ساینده خشک نبایستی بیش از ۰/۵ درصد وزنی باشد.

۲-۴-۶- درصد روغن موجود

در صورتی که نمونه ساینده به مدت نیم ساعت در آب گرم قرارگیرد نباید هیچ اثری از روغن به صورت امولسیون یا روی سطح آب مشاهده شود.

۲-۴-۷-رنگ

رنگ ماده ساینده در کیفیت آماده سازی سطح دخالت ندارد لیکن اگر پس از پایان کار ذرات ساینده روی سطح باقی بماند می تواند رنگ سطح را تغییر دهد.

۲-۴-۸- ثبات وزن در اثر حرارت

میزان کاهش وزن ساینده در حرارت تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه نباید بیشتر از ۱٪ و میزان افزایش وزن آن نباید بیش از ۵٪ باشد.

۲-۴-۹- وزن مخصوص

هرچه وزن مخصوص ذرات ساینده بیشتر باشد، در حرکت با سرعت ثابت، با شتاب زیادتری به سطح برخورد کرده و بیشتر در سطح فرو می روند و اثر سایشی بهتری به جای می گذارند و برای صیقل دادن سطح مناسب تر هستند. درعین حال ذرات سنگین تر برای ایجاد به یک سطح آماده سازی شده مطلوب، به فشار هوای کمتری نیاز دارند. حداقل وزن مخصوص ساینده باید ۲/۵ باشد.

۲-۴-۱۰- قابلیت تهیه

ساینده مورد استفاده بایستی به راحتی قابل تهیه باشد و بسته بندی و حمل ساینده از مسائلی است که باید مورد توجه قرار گیرد.

۲-۴-۱۱- قیمت

قیمت ماده ساینده بایستی با کل هزینه آماده سازی سطح تناسب داشته باشد. چنانچه ساینده قابل بازیافت باشد در هزینه کل آماده سازی سطح تاثیر مثبت خواهد داشت لیکن هزینه مربوط به بازیافت ذرات ساینده را نیز بایستی در محاسبات هزینه در نظر داشت. از

آنجایی که ساینده های فلزی گرانتر هستند برای این کار از نظر اقتصادی به صرفه باشد باید بازیابی شوند. گاهی ۵۰ تا ۵۰۰۰ مرتبه بازیافت می شوند. ساینده های نوک تیز زمانی غیر قابل استفاده خواهند بود که بر اثر ضربه تقریباً گرد شوند. ساینده های سیلیسی نظیر ماسه ساینده های نیمه تیز هستند که به دلیل ارزانی و میزان شکست بالایی که دارند معمولاً بازیافت نمی شوند.

۲-۴-۱۲- سختی

ساینده سخت عمق بیشتری از سطح را می برد و سطح را بهتر و سریع تر تمیز می کند. اما سختی باعث شکننده بودن آنها می شود که خود سبب فرورفتن و به جای ماندن ذرات ساینده در عمق پروفایل می گردد. سختی ساینده باید حداقل ۶ واحد Mohs باشد.

۲-۴-۱۳- طبقه بندی ساینده ها

ساینده های متداول برحسب ماهیت، ساختار شیمیایی و عمق پروفایلی که ایجاد می کنند به دو نوع، سه رده و پنج درج طبقه بندی می شوند:

۲-۴-۱۴- انواع ساینده ها

۱- ساینده های معدنی (طبیعی) غیر فلزی از جمله ماسه، شن، کوارتز، براده های زنگ چخماق، گارنت، ستارولیت، مگنتیت، اولیوین، انواع اکسیدهای طبیعی و مصنوعی، زغال سنگ، سیلیکون کار باید، دانه های شیشه و پوست سخت گیاهان و جانوران.

۲- ساینده های سرباره فلزی از جمله فولاد، چدن، آهن، روی، آلومینیوم، مس و نیکل.

در مقام مقایسه با ساینده های غیر فلزی، ساینده های فلزی مزایایی دارند از جمله:
- قابل استفاده مجدد هستند. سرباره آهن ۵۰ مرتبه و سرباره چدن ۲۰۰ مرتبه بیش از ماسه قابلیت استفاده مجدد را دارند.

- ساینده های فلزی دانسیته بیشتری دارند و در نتیجه ضربه موثرتری به سطح وارد می کنند .
- گستره وسیعی از ساینده های فلزی بر حسب اندازه، شکل، سختی و نوع در دسترس است.
- گرد و غبار کمتری ایجاد می کنند که اولاً اثرات مخرب زیست محیطی کمتری دارد و ثانیاً دید اپراتور را هنگام انجام کار دچار مشکل نمی کند.
- از آنجایی که شکننده نیستند معمولاً کمتر از ساینده های غیر فلزی درون پروفایل سطح باقی می مانند.

- از نکات با اهمیت در استفاده از ساینده های فلزی نیز می توان به موارد زیر اشاره کرد:
- لازم است بهترین راه جهت بازیافت ساینده اتخاذ شود.
- جهت حفظ کیفیت ساینده های فلزی در محیط خورنده و مرطوب بسته بندی خاصی مورد نیاز است.
- در سالهای اخیر سازمانهای محیط زیست برای استفاده از انواع مختلف ساینده ها قوانین و محدودیت های خاصی را الزامی کرده اند و در این راستا استفاده از ساینده های مضر نظیر ماسه، کوارتز و ساینده های مسی مجاز نمی باشد.

۲-۴-۱۵- رده بندی ساینده ها

- ساینده با درصد بلور سیلیکا کمتر یا مساوی یک درصد.
 - ساینده با درصد بلور سیلیکا کمتر یا مساوی پنج درصد.
 - ساینده با درصد بلور سیلیکا نامحدود.
- درصد بلور سیلیکا در ساینده با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز یا اشعه X معین می گردد.

۲-۴-۱۶- درجه بندی ساینده ها براساس عمق پروفایل

- درجه ۱: ساینده ای که پروفایل با عمق ۱۲/۵ تا ۳۷/۵ میکرون روی سطح ایجاد می کند.
- درجه ۲: ساینده ای که پروفایل با عمق ۲۵ تا ۶۲/۵ میکرون روی سطح ایجاد می کند.
- درجه ۳: ساینده ای که پروفایل با عمق ۵۰ تا ۸۷/۵ میکرون روی سطح ایجاد می کند.
- درجه ۴: ساینده ای که پروفایل با عمق ۷۵ تا ۱۲۵ میکرون روی سطح ایجاد می کند.
- درجه ۵: ساینده ای که پروفایل با عمق ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون روی سطح ایجاد می کند.

به طور معمول باید استفاده کننده انواع، رده ها و درجات مورد نیاز را تشخیص دهد. اگر نوع خاصی مشخص نشده، باید از ساینده های طبیعی استفاده شود. اگر رده خاصی تعیین نشده، تمامی رده ها مورد قبول است و اگر درجه معینی مورد نظر نیست، ساینده باید تمامی دامنه های درجات فوق را در بر گیرد. ساینده سیلیسی اگر تمیز باشد در مکانیسم استفاده از جریان هوای متراکم بهترین نتیجه را می دهد^۱. البته شن سیلیسی به صورت کلوخه هیچ مناسب نیست زیرا باعث تمیزی آلودگی ها نمی شود. ساینده های سیلیسی در اثر ضربه می شکنند و در حین کار گرد و غبار زیادی ایجاد می کنند و باعث بروز بیماری ریوی (Silicosis) در اپراتور خواهد شد. در اثر این بیماری با سخت شدن و از بین رفتن خاصیت ارتجاعی بافت ریه، تنگی نفس و در نهایت سرطان ریه بروز خواهد کرد. بنابراین اپراتور بایستی هنگام کار حتماً ماسک، لباس و عینک ایمنی داشته باشد. به منظور کاهش اثرات نامطلوب ساینده های سیلیسی، می توان از مخلوط سیلیس با سرباره های فلزی استفاده کرد. این ساینده ها که البته کمی گران تر هستند ولی گرد و غبار کمتری منسوخ شده است.

گارنت با ساختار شیمیایی اکسید سیلیکون، آهن و آلومینیوم در حال حاضر بهترین ساینده ای است که برای تمیزکاری سطح می توان استفاده نمود. این ساینده با شکل کریستالی بیست وجهی و سختی ۸ واحد mohs مزایای زیادی دارد از جمله:

¹ - Sand blasting

- عدم ایجاد آلودگی زیست محیطی

- سرعت زیاد در سند بلاست

- ایجاد سطح تمیز در حد استاندارد Sa 3 - Sa 2.5

- مصرف کم و قابلیت استفاده مجدد

ساینده های طبیعی حاصل از پوست سخت گیاهان (همچون پوست نارگیل) و جانوران (همچون صدف) البته گران هستند و خیلی تمیز نخواهند بود لذا کاربردهای خاصی دارند. ساینده های شیشه ای و ساینده های پلاستیکی می توانند بدون ایجاد جرقه در تمیزکاری سطوح حساس، از بین بردن زوائد پتک کاری سطوح آلومینیومی و تمیزکاری سطوح پلاستیکی قالب ریزی شده و زدودن آلودگی های بسیار سبک نظیر دوده از روی سطح بکار روند و نقش پروفایل ایجاد شده بر روی سطح در حد اقل میزان (با عمق کمتر از ۲۵ میکرون) خواهد بود.

اخیراً استفاده از پولک های دی اکسید کربن جامد با قطر حدود ۱۱ میلیمتر نیز برای تمیز کاری سطح پیشنهاد شده است.

در اجرای عملیات سندبلاست همواره امکان ایجاد زنگ زدگی مجدد در فاصله زمانی بین سندبلاست و اجرای اولین لایه پرایمر وجود دارد و می تواند هزینه را چند برابر اضافه کند. به ویژه در محیطی با رطوبت هوای زیاد و یا در حضور الکترولیت خورنده که سرعت خوردگی مجدد، زیاد است و یا در قسمت هایی از سطح فلز که به واسطه خوردگی حفره هایی ایجاد شده، بایستی برنامه زمان بندی کار سندبلاست و اجرای پرایمر با دقت تنظیم شود. در این موارد بهتر است از ساینده های کرومی فلز روی و ساینده هایی که با فلز روی پوشیده و یا با آن مخلوط هستند استفاده شود تا زمان ایجاد خوردگی مجدد طولانی تر شود.

مقدار فلز روی باقیمانده می تواند به میزان جزئی روی سطح، حفاظت کاتدیک ایجاد نموده و برای مدت چند روز سطح فولاد آماده سازی شده را از خوردگی حفظ نماید. چسبندگی رنگ نیز به این سطح خوب خواهد بود. تنها محدودیت استفاده از ساینده های اصلاح شده با فلز روی، گرانی آنها است که در واقع با مزیت کاربرد آن جبران می شود.

ساینده های مس کمترین مصرف را دارند و علت اثر عکس حفاظت کاتدیک (مقاومت کاتدیک فولاد از مس بیشتر است) احتمال خوردگی افزایش می یابد. مزیت ساینده های مس این است که به واسطه اسیدی بودن به مقدار جزئی تاثیر اسیدشویی را نیز بر روی سطح دارند.

سرباره زغال سنگ یکی از مهمترین ساینده های مورد استفاده است. این ساینده نوک تیز سوزنی شکل، سطحی بسیار بی قاعده تر از ساینده نوک تیز فولادی به دست می دهد.

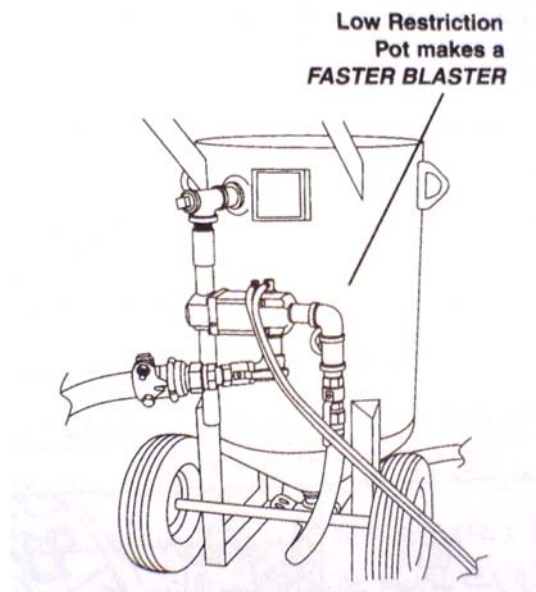
باید توجه داشت که در یک سطح فلز آماده سازی شده با ساینده های فولادی، براده های سوزنی شکل شانه مانند روی سطح باقی می ماند که به طرف بالا قرار دارد و لازم است حتماً پس از اتمام کار، با برس تمیز و فشار هوای خشک، سطح کار از این براده ها پاک گردد. ساینده های غیر فلزی چنین براده هایی را ایجاد نمی کنند.

۲-۵- بررسی دیگ ماسه

می دانید که قلب کار سندبلاست کاری دیگ ماسه است. شما باید خیلی دقیق به موارد زیر توجه داشته باشید بخاطر اینکه خیلی از دیگهای ماسه که در بازار هستند از لحاظ مهندسی ساخت خیلی ضعیف می باشند و می توانند به مرور زمان ایجاد هزینه بری زیاد و اصطکاک فراوان و مصرف زیاد داشته باشند.

آیا دیگ ماسه شما لوله کشی روباز دارد؟ هوا از طریق یک شیلنگ ۲ اینچی وارد دیگ می شود و با ماسه با هم مخلوط و از یک خروجی به قطر $1\frac{1}{4}$ اینچ خارج می شود. اتصالات، در پشت دیگ چه اندازه و چه قطری دارند؟ آیا به دستگاه خود فشار می آورید که از لوله های $\frac{3}{4}$ یا یک اینچ استفاده بشود؟ یک دیگ خوب باید طوری باشد که اتصالات آن با قطر داخلی بالاتر از ورودی و یا حداقل خم و زانو باشد. برای تست دیگ، یک دستگاه اندازه گیری سوزنی در ابتدای ورودی و انتهای خروجی دیگ ماسه قرار داده

و دیگ را امتحان کنید. حداکثر اختلاف فشار از ورود تا خروج باید ۳ در واحد PSI باشد. بعضی از دیگ های ساخته شده اختلاف فشاری تا ۱۰ در واحد PSI دارند بدلیل وجود همین لوله ها و اتصالاتشان. اما بخاطر داشته باشید که هر واحد PSI افت فشار، ۱/۵ درصد کارآیی را کمتر می کند و با افت فشار ۱۰ در واحد PSI، ۱۵ درصد از کارآیی و اجرا افت می کند. یعنی اگر شما بتوانید ۳۰ مترمربع در ساعت با فشار ۱۰۰ در واحد PSI کار کنید، همان کار را با ۲۵ متر مربع در ساعت با فشار ۹۰ در واحد PSI انجام خواهید داد.



شکل ۱۵ [۶]

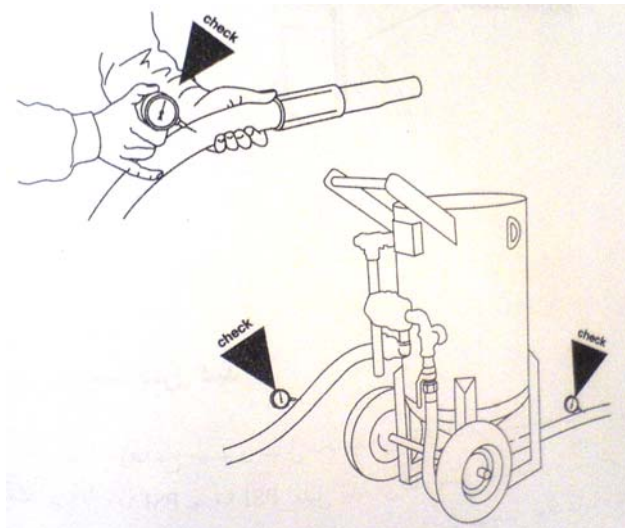
آیا طراحی دیگ شما هندسی است و براحتی قابل حمل می باشد؟
 حتماً نمی خواهید وقتی دیگ را جابجا می کنید سر آن را بطرف خود گرفته و یا بعد از آن بخاطر درد کمر به بیمارستان بروید. دیگ هایی که طراحی مهندسی خوبی دارند کاملاً بالانس و در حالت تعادل هستند و بعد از کمی خم کردن، تمام نیروی وزن آنها روی چرخها قرار می گیرد و حمل آن خیلی راحت می باشد. بلندی آن هم به اندازه ای است که در حمل آن مشکلی ایجاد نمی کند و بهنگام کار، دیگ روی چرخهای خودش استوار می باشد.



شکل ۱۶ [۶]

۲-۶- فشار کار دستگاه

فشار نازل موضوع مهم و قابل بحث می باشد. اگر فشار نازل دستگاه شما از ۹۰ تا ۱۰۰ در واحد PSI تقلیل پیدا می کند، بدلیل افت فشار نازل، شیئی را که می خواهید سندبلاست کنید ۱۵ درصد زمان بیشتر و همچنین مواد ساینده بیشتر نیاز دارند. در واقع با هر واحد افت فشار، فشار دستگاه ۱۵ درصد افت کیفی تولید داشته و به ماسه و زمان کناری بیشتر نیاز دارید. پس بنابراین بهتر است که همیشه فشار دو سرشیلنگ را به وسیله یک گیج اندازه گیری کنترل کنید. توصیه می شود که دو گیج اندازه گیری یکی روی شیلنگ ورودی دیگ ماسه و دیگری روی شیلنگ خروجی دیگ ماسه همزمان تعبیه شود.



شکل ۱۷ [۶]

رطوبت گیرها ممکن است خوب کارکنند ولی فقط در موقعی که نو هستند کارآیی خوب را دارند. اگرچه آنها فیلتر بسیار خوبی برای رطوبت گیری درداخل خود دارند. اگرچه آنها فیلتر بسیار خوبی برای رطوبت گیری درداخل خود دارند ولی فیلترها خیلی سریع توسط خاک و یا روغن و چربی آلوده می شوند و دیگر کارآیی نخواهند داشت و مانع اصلی در مسیر انتقال فشار و بعبارت دیگر باعث افت فشار می شوند. مثلاً ممکن است که فشار کمپرسور ۱۰۰ در واحد PSI باشد ولی بعد از عبور از این رطوبت گیر فشار کمپرسور ۹۰ در واحد PSI خواهد بود که این یک مشکل عادی و روزمره است.

بجای رطوبت گیرهای قدیمی شما می توانید از HVMS^۱ استفاده کنید که این دستگاه افت فشار ندارد و مقدار زیادی از رطوبت را می گیرد. یک مدل آن (MS 800) اجازه می دهد که هوا را گسترده کرده و آب از آن خارج شود و از طریق شبکه های فولادی به هم چسبیده شده، رطوبت هوا گرفته شود. در مجموع (HVMS) (جدا کننده زیاد رطوبت) بهتر از رطوبت گیرهای معمولی است و آب شیرین را از هوا می گیرد و فشار هوا را هم کم نمی کند.

¹ - High Volume Moisture Separator

از کمپرسور خودتان اطمینان حاصل کنید که به اندازه کافی قدرت تولید فشار را داشته باشد. به کمک جدول ۲ شما قادر خواهید بود تا اطلاعاتی درمورد کمپرسور و قدرت و فشار آن را بدست آورید. این جدول نشان می دهد میزان فشار هوا برای هر نازل بشرط این که نازل نو باشد چه مقدار باید باشد. برای نازلی که کثیف شده است (جرم گرفته) چه باید کرد؟ شما برای اینکه فشار نازل تقلیل پیدا نکند به هوای بیشتری احتیاج دارید. وقتی شما یک کمپرسور با تمام لوازمات سندبلاست تهیه می کنید نباید به این نکته توجه کنید که هوای کمپرسور نسبت به نازلی که دارید چقدر باید باشد. سپس به آن 20 CFM¹ هم برای کلاه در نظر بگیرید و ۵۰ درصد هم برای اینکه افت فشار نازل کهنه را برطرف کند. با این حساب اگر مثلاً نازل شما نو و شماره آن ۷ باشد بنابراین طبق جدول، مقدار فشار لازم عبارت خواهد بود از 20 CFM + 270 CFM (برای کلاه) بانضمام ۵۰ درصد برای گرفتگی نازل و مجموعاً 425 CFM یعنی شما کمپرسوری را باید انتخاب کنید که حداقل 425CFM باشد.

جدول ۲ [۶]

How much air do you need to run a blast machine ?

AIR CONSUMPTION (CFM) PER BLAST NOZZLE							
Nozzle Size		Nozzle pressure					
		70 psi	80 psi	90 psi	100 psi	120 psi*	140 psi*
No. 2	1/8"	16	18	20	22	26	30
No. 3	3/16"	36	41	45	49	58	66
No. 4	1/4"	65	72	80	90	105	121
No. 5	5/16"	101	113	125	150	160	185
No. 6	3/8"	145	163	182	200	235	270
No. 7	7/16"	193	215	240	270	315	360
No. 8	1/2"	260	290	320	350	410	470
No.10	5/8"	406	454	500	550	640	740
No. 12	3/4"	585	652	720	790	925	1060
Efficiency		55%	70%	85%	100%	130%	160%
*ENSURE EQUIPMENT IS RATED FOR THESE PRESSURES							

¹ - Cubic Feet per minute

۲-۷- استانداردهای درجات آماده سازی سطح

برای این که مشخص باشد که سطح مورد نظر تا چه میزانی تمیز شده است، چهار موسسه استاندارد بین المللی سعی کرده اند معیاری برای میزان تمیزی سطح ارائه دهند که در این صورت بین کارفرما و پیمانکاری که مسئولیت آماده سازی را می پذیرد زبان واحدی وجود خواهد داشت:

- ۱- انجمن ملی مهندسی خوردگی NACE
- ۲- مجمع رنگ آمیزی سازه های فولادی SSPC
- ۳- موسسه استاندارد سوئد SS
- ۴- موسسه استاندارد بریتانیا BS

استانداردهای منتشر شده این موسسات به صورت ادواری هر ۵ سال یک بار تجدید چاپ می شود و ممکن است در هر دوره روشی از روش های آماده سازی سطح اصلاح یا رد شود لذا لازم است کاربران آخرین ویرایش این استانداردها را داشته باشند. بی گمان متداول ترین و بهترین استاندارد مجمع رنگ آمیزی سازه های فولادی منتشر شده است. مجمع رنگ آمیزی سازه های فولادی عکس های شفاف و اسلایدهایی را نیز می فروشد که معیاری برای مقایسه درجات مختلف تمیزی سطح هستند. انجمن ملی مهندسی خوردگی نیز مشابه مجمع رنگ آمیزی سازه های فولادی برای استانداردهای آماده سازی سطح تعاریفی دارد. به علاوه این موسسه صفحات فلزی با پوشش پلاستیکی می فروشد که با انواع ساینده تمیز شده اند تا به عنوان مرجع استفاده شوند.

استانداردهایی نیز به صورت عکس و اسلاید در دسترس می باشند که توسط انستیتو استاندارد سوئد در استکهلم منتشر شده و در سطح جهانی متداول هستند .

مراجع دیگری نیز تالیف و نشر استانداردهای تخصصی را به عهده دارند. از جمله دپارتمان حمل و نقل در مریلند یک سری عکس های آماده سازی را استاندارد نموده و انجمن

مهندسين و معماران دريائي يك سري عكس هاي رنگي به عنوان استاندارد و هر کدام از اين استانداردها روش هاي مختلف آماده سازي سطح و درجات آماده سازي را نشان مي دهد.

بر اساس استاندارد لازم است سطحی به ابعاد حداقل ۸۰ میلیمتر در ۸۰ میلیمتر (مربعی به مساحت ۹ اینچ مربع) از سطح مورد نظر با این مقیاس ها مطابقت شود.
جدول ۳ خلاصه این استانداردها را در کنار هم و در مقایسه با هم نشان می دهد.

البته هر کشوری بر حسب میزان توسعه علم و دانش فنی و براساس معیارهای خود، استانداردهای داخلی تنظیم نموده که تاحدی در مطابقت با این استانداردهای بین المللی است. برای مثال ممکن است در اسناد و مدارک کدهای Pt-1 ، Pt-2 ، Pt-3 ، (SD2) ، (SD1) و (SH2 ، SH3) معرفی شوند. این کدها معرف استانداردهای ژاپنی آماده سازي سطح می باشند.

جدول ۳ [۵]

استاندارد در ژاپن	استاندارد دسوند	استاندارد NACE	استاندارد SSPC	شرح استاندارد
---	---	---	SSPC-via-1 67T	استانداردهای تصویری برای مقایسه میزان تمیزی سطح در استانداردهای SP2,3,5,6,10
---	---	---	SSPC-via-2 68T	عکسهای رنگی یا دیگرگرامهای نقاط سیاه و سفید برای مقایسه میزان آلودگی سطح
---	---	NACE 5	SSPC SP-1	شستشو با حلال، بخار، قلیا و پاک کنندهها برای زدودن گریس، روغن، گرد و غبار و نمکهای رسوبی
---	---	---	SSPC SP-4	تمیزکاری فلز نو و زدودن همه آلودگیها و زنگ زدگیها با استفاده از شطه و برس کاری پس از آن
کیفیت درجه یک	A,B,C,D Sa 3	NACE 1	SSPC SP-5	تمیز کاری سطح به روش پاشیدن ساینده خشک یا اثر تا حد فلز سفید و زدودن همه زنگ زدگیهای قابل مشاهده و رنگهای قبلی و آلودگیها برای محیطهای با خوردنگی شدید و با بیشترین تضمین
کیفیت درجه دو	B,C,D Sa 2.5	NACE 2	SSPC SP-10	تمیزکاری سطح به روش پاشیدن ساینده تا حد فلز نزدیک به سفید تا حداقل ۹۵٪ سطح عاری از هرگونه آلودگی قابل مشاهده باشد برای محیطهای با رطوبت بالا و حضور مواد شیمیایی، محیط دریایی و محیطهای خورنده
		NACE 3	SSPC SP-6	تمیز کاری سطح به روش پاشیدن ساینده تا حد تجاری تا حداقل دو سوم سطح عاری از هرگونه آلودگی قابل مشاهده باشد (برای شرایط نسبتاً سخت)
کیفیت درجه سه	B,C,D Sa 1	NACE 4	SSPC SP-7	تمیزکاری تا حد تمیزی با استفاده از برس بییمی که سطح کاملاً تمیز شود و فقط زنگ زدگیها و رنگهای قبلی کاملاً چسبیده روی سطح باقی بمانند
		NACE 7	SSPC SP-3	تمیز کاری با ابزار مکانیکی و زدودن زنگ زدگیها، آلودگیها و رنگهای جدا شده قبلی
---	B,C,D St-2	NACE 6	SSPC SP-2	تمیز کاری با ابزار دستی و زدودن پولکهای اکسیدی، زنگ زدگیهای جزئی و رنگهای جدا شده
---	---	---	SSPC SP-8	تمیزکاری سطح با مواد شیمیایی، اسیدشویی و استفاده از الکترولیت

۲-۷-۱- طبقه بندی میزان آلودگی سطح

براساس استاندارد مجمع رنگ آمیزی سازه های فولادی میزان زنگ زدگی، آلودگی و خوردگی روی سطح فلز نو فلز رنگ شده به شرح مندرج در جدول زیر است:

۱- فلز رنگ نشده

جدول ۴ [۵]

درجه بندی	میزان آسیب سطح	استاندارد
Grade A	سطح فولاد کاملاً با پولک‌های سیاه اکسیدی چسبیده به سطح پوشیده شده است و وجود زنگ زدگی احتمال بسیار کمی دارد.	SSPC-vis-1
Grade B	زنگ زدگی در سطح فولاد شروع شده و پولک‌های اکسیدی سیاه رنگ از سطح فلز جدا شده است.	SSPC-vis-1
Grade C	زنگ زدگی در تمام سطح فلز گسترش یافته و پولک‌های سیاه اکسیدی تبدیل به زنگ زدگی شده‌اند و شروع خوردگی حفره‌ای به مقدار کم مشاهده می‌شود.	SSPC-vis-1
Grade D	زنگ زدگی و خوردگی در سطح فولاد بسیار مشاهده می‌شود.	SSPC-vis-1

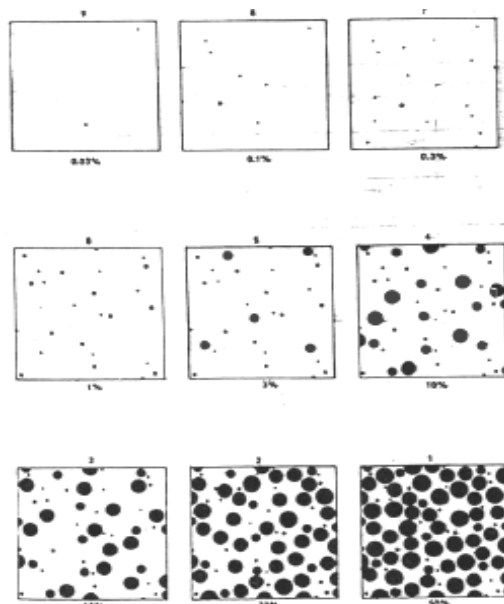
۲- فلز رنگ شده

در این درجه بندی لکه و زنگ زدگی های سطحی ناشی از گرد و غبار و ترکیبات آهن آلودگی های سطحی را نباید با زنگ زدگی واقعی اشتباه کرد .

جدول ۵ [۵]

درجه بندی	میزان آسیب سطح	استاندارد
Grade E	میزان آسیب‌های رنگ روی سطح فلزات جمله ناول زدگی، زنگ زدگی، طبله کردن و جدا شدن رنگ از روی سطح کمتر از یک درصد است.	SSPC-vis-2 grade 8-10
Grade F	رنگ در بعضی قسمت‌ها از روی سطح بلند شده ناول زدگی و زنگ زدگی کمتر از ۱۰٪ است.	SSPC-vis-2 grade 6-8
Grade G	رنگ از روی سطح جدا شده ناول زدگی، کیک و زنگ زدگی یعنی از ۱۰٪ است و حفرات خوردگی در سطح پدید آمده و آستری از زیر رنگ قابل مشاهده است.	SSPC-vis-2 grade 4
Grade H	بیشتر سطح از زنگ زدگی پوشیده شده، رنگ از سطح جدا شده زنگ زدگی و حفرات ناشی از خوردگی قابل مشاهده است.	SSPC-vis-2 grade 0-4

استاندارد SSPC-vis-2 با شرح کامل تری درجات زنگ زدگی سطح را کمتر از ۰.۳٪ تا ۱۰۰٪ زنگ زدگی در ده گروه تعریف می کند که شکل زیر نمادی از این طبقه بندی است .



شکل ۱۸ [۷]

۲-۷-۲- طبقه بندی میزان تمیزی سطح

مجمع رنگ آمیزی سازه های فولادی استاندارد برای آماده سازی سطح ارائه داده که با توجه به روش آماده سازی و میزان تمیزی حاصله تعاریف و درجه بندی هایی به شرح زیر دارد:

۱- فلز سفید (SP-5)

به سطح فلز تمیزی گفته می شود که با بررسی سطح بدون ذره بین آثاری از چربی، گریس، آلودگی، گرد و غبار، پولک های اکسیدی، رنگ قبلی، ضایعات ناشی از خوردگی و ترکیبات نمکی، زنگ زدگی یا مواد خارجی دیگر دیده نشود. ظاهر فلز

سفید مایل به خاکستری با جلای یکنواخت فلزی و با زبری بسیار کم حاصل از پروفایل سطح خواهد بود.

۲- فلز نزدیک به سفید (SP-10)

تا حدی تمیز شده است که در انتهای کار بدون استفاده از ذره بین، ظاهر سطح عاری از روغن، گریس، آلودگی، پولک های اکسیدی، زنگ زدگی و رنگ قبلی بوده فقط مقداری تغییر رنگ ناشی از زنگ وجود داشته باشد. این زنگ نبایستی به طور متوسط از ۵ درصد کل سطح بیشتر باشد و یا به عبارت دیگر حداقل ۹۵ درصد سطح باید عاری از آلودگی باشد.

۳- سطح تمیز شده در حد تجاری (SP-6)

تمیزی فلزی تا حدی است که در پایان کار بدون استفاده از ذره بین سطح عاری از گریس، روغن، آلودگی، پولک های اکسیدی و سایر عوامل آلوده کننده باشد. اگر سطح خورده و حفره دار شده ممکن است مختصری از رنگ یا زنگ زدگی و تغییر رنگ جزئی ناشی از زنگ زدگی در عمق حفرات باقی بماند. حداقل $\frac{2}{3}$ سطح باید عاری از هرگونه آلودگی باشد و به عبارت دیگر زنگ زدگی ها و لکه ها نباید بیشتر از ۳۳ درصد سطح را بپوشاند. در این استاندارد بعضی تفاوت ها و نواقص در سطح ناشی از نوع فولاد، ضخامت فولاد، قطعه فلز جوشکاری شده و موارد مشابه که در تمیزی سطح تاثیری ندارد مورد توجه نیست.

۴- سطح تمیز شده تا حد تمیزکاری با برس (SP-7)

تمیزی سطح تا حدی است که هرگونه روغن، گریس، آلودگی، گرد و غبار، پولک های اسیدی جدا شده، لایه رنگ تاول زده و طبله کرده از بین رفته باشد اما ورقه های زنگ زدگی و رنگ کاملاً چسبیده به سطح ممکن است روی سطح باقی بمانند.

۵- سطح تمیز شده تا حد استفاده از ابزار مکانیکی (SP-11)

تمیزی سطح تا اندازه ای است که بدون ذره بین عاری از هرگونه گریس، روغن، چربی، پولک های اکسیدی و زنگ زدگی دیده شود. اگر سطح دارای خوردگی حفره ای^۱ باشد قسمتی از زنگ زدگی در عمق فرورفتگی ها باقی می ماند. در این درجه از تمیزکاری عمق پروفایل سطح نباید از ۲۵ میکرون کمتر باشد.

بسته به روش آماده سازی و میزان زنگ زدگی و خوردگی فلز، ظاهر سطح تمیز شده متفاوت است. برای مثال سطحی با میزان خوردگی تا درجه C اگر تا حد SP-5 تمیز شود یعنی (C SP-5) ظاهر آن با سطح فلز درجه A که تا همان میزان استاندارد تمیز شده (A SP-5) متفاوت است. بدیهی است که هرچه روش انتخابی پیشرفته تر باشد سطح تمیزتر خواهد بود. به علاوه هرچه سطح مورد نظر اهمیت بیشتری داشته باشد درجه آماده سازی بالاتری و روش بهتری برای آماده سازی به کار خواهد رفت. میزان تمیزی سطح ارتباط مستقیم با نوع پوشش دارد. هرچه پوشش مقاوم تری انتخاب گردد ضرورت دارد که سطح بیشتر تمیز شود.

مهمتر از همه این استانداردها و شواهد و عکس هایی که در بالا توضیح داده شد حضور مهندسین، کارشناسان و بازرسان با تجربه بهترین و اساسی ترین عامل در انجام صحیح عملیات آماده سازی سطح خواهد بود. حضور متخصصین با تجربه این امکان را می دهد در شرایط مختلف آب و هوایی و عملیاتی و خوردگی ها و زنگ زدگی های موجود با انواع ابزار و وسایل در دسترس بهترین روش انتخاب و تا مناسب ترین حد ممکن، سطح تمیز و آماده رنگ آمیزی گردد.

¹ - Pin hole

۲-۸- حداقل آماده سازی مورد نیاز برای پوششها

انتخاب یک روش به خصوص به عوامل مختلفی بستگی دارد. شرایط سطح، وسعت کار، جنس و شکل سطح، میزان خوردگی سطح، موقعیت سطح و شرایط محیط همچون میزان رطوبت نسبی و شرایط جوی، سرعت باد، باران، میزان تابش نور مستقیم خورشید، گرد و غبار محیط و دمای محیط عوامل هستند که در انتخاب روش آماده سازی سطح موثرند. موقعیت کار اگر چه اغلب مورد توجه قرار نمی گیرد، ولی پارامتر مهمی در انتخاب روش مناسب آماده سازی است. اگر کار روی یک خط تولید باشد یک روش خودکار از جمله پاشیدن ساینده با استفاده از ماشین چرخ دوار را باید در نظر گرفت.

اگر در یک منطقه مانند یک محیط صنعتی آلودگی محیط اهمیت داشته باشد از روش پاشیدن ساینده مرطوب استفاده می شود. کارهای تعمیر و نگهداری به طور معمول توسط ابزار دستی انجام می گیرد.

بدیهی است که اگر سطح آماده شده و فعال در معرض آب و هوای مرطوب، بخارات و یا عوامل خوردنده محیط قرار گیرد دوباره زنگ خواهد زد. سرعت زنگ زدگی از یک دقیقه تا چند روز بسته به محل و شرایط جوی متفاوت است لذا سطح زیرسازی شده بایستی قبل از اینکه دوباره زنگ بزن با رنگ پوشیده شود.

اگر دمای سطح فلز پایین تر از نقطه شبنم محیط باشد بخارات آب روی سطح فلز متراکم و قطرات تشکیل شده، سطح زیرسازی شده را آلوده می کند. برای اجتناب از این امر پیشنهاد می شود که عمل زیرسازی در محیطی انجام گیرد که دمای سطح فلز حداقل سه درجه سانتیگراد بالای نقطه شبنم محیط باشد.

قبل از انجام عملیات زیرسازی، سطح نبایستی در معرض بخارات حاوی کلرور و سولفات قرارگیرد زیرا در این صورت حفره هایی روی سطح به وجود آمده و از بین بردن این حفره ها کار آماده سازی را دشوارتر خواهد کرد. همچنین زدودن تمامی نمک های تشکیل شده از روی سطح بسیار مشکل است و احتمال باقی ماندن مقداری از این نمک ها روی سطح و خرابی زودرس سطح وجود دارد.

روش های مختلف زیرسازی و آماده سازی سطح را می توان به چهار بخش کلی تقسیم نمود. هریک از این بخش ها از زاویه مشخصی به زیرسازی توجه دارد. روش های آماده سازی مناسب آنهایی هستند که چهار هدف عمده زیر را تامین نمایند:

- خنثی سازی سطح
- لایه برداری و زدودن آلودگی ها از سطح فولاد فعال
- افزایش سطح تماس واقعی فولاد
- از بین بردن مواد غیر آلی

جدول زیر ارتباط بین روش و میزان تمیزی سطح و میزان دستیابی به این چهار هدف را نشان می دهد .

جدول ۶ [۵]

روش تمیزکاری	خنثی سازی سطح	لایه برداری و زدودن آلودگی ها	افزایش سطح تماس	از بین بردن مواد غیر آلی
تمیزکاری با ابزار دستی	ضعیف	متوسط	متوسط	ضعیف
تمیزکاری با ابزار مکانیکی	متوسط	متوسط	متوسط	ضعیف
سندبلاست و تمیزکاری تا حد استفاده از برس	متوسط	متوسط	خوب	متوسط
سندبلاست و تمیزکاری تا حلقه جبری	خوب	خوب	عالی	خوب
سندبلاست و تمیزی سطح تا نزدیک به فلز سفید	خیلی خوب	خیلی خوب	عالی	خوب
سندبلاست و تمیزی سطح تا فلز سفید	عالی	عالی	عالی	خوب
تمیزکاری سطح با فشار آب	خوب	خوب	ضعیف	عالی
تمیزکاری سطح با ساینده مرطوب	خیلی خوب	خیلی خوب	عالی	عالی

بطور کلی روش های آماده سازی سطح عبارتند از:

- روش های مکانیکی

- روش های شیمیایی

- روش های انرژی

گاهی در یک عملیات زیرسازی یک یا چند روش با هم انجام می گیرد.

۹-۲-۱ ایمنی

دستور العمل سازمان NIOSH برای کاهش سیلیکا در محیط کار و جلوگیری از فوت کارگران به علت ابتلا به تنگی نفس شامل موارد زیر می باشد:

۱- جایگزین کردن استفاده از سیلیکا و شن ماسه با سایر موادی که یک درصد سیلیکا در آن وجود داشته باشد. خطر ابتلا به کارگرانی که از سیلیکا در عملیات بلاستینگ استفاده می کنند بسیار بالاست و کنترل آن هم مشکل به نظر می رسد برای این منظور سازمان NIOSH پیشنهاد کرده که از سال ۱۹۷۴ به بعد مصرف موادی که دارای سیلیکا و ماسه بیشتر از یک درصد هستند ممنوع می باشد.

۲- برای کنترل عوارض بیماریهای مربوط به سیلیس از سیستم تهویه موضعی و عمومی طبق متد NIOSH 7500,7602 استفاده شود.

۳- استفاده از روشهای کاهش آلودگی مانند تعمیر و نگهداری به موقع ماشین آلات، تمیز کردن ادوات وسایل مربوطه، استفاده از کابینت های بسته برای کاهش پراکندگی سیلیس ماشینهای تمیز کننده در کارگاههای که عملیات بلاستینگ انجام می شود باید بکار گرفته شود. افرادی که با سیلیس کار می کنند باید از پوششهای مناسب و PPE مناسب این کار استفاده نمایند. اطاقهای بلاستینگ باید دارای سیستم تهویه مناسب بوده و روشنایی لازم نیز لحاظ شود ضمناً تمامی افراد با وجود سیستم تهویه باید از وسایل حفاظت فردی مناسب PPE در حین کار استفاده نمایند.

۴- رعایت موارد بهداشتی حین کار و هر چه در معرض بودن کمتر. تمامی افرادی که با سیلیس سر و کار دارند باید قبل از غذا دستهای خود را کاملاً با آب و صابون بشویند و در حین کار هر گونه خوردن، آشامیدن و سیگار کشیدن ممنوع است. کارگران باید پس از اتمام روزانه کار حمام کرده و سپس با لباسهای پاک محل کار خود را ترک نمایند. خودروهای این افراد نیز باید در محل دورتری از محوطه عملیات پارک شود.

۵- استفاده از لباسهای یکبار مصرف و قابل شستشو در محل کار-استفاده از لباسهای بلاستینگ در منزل یا محل کار به هیچ عنوان جایز نیست.

۶- دوش گرفتن روزانه بعد از اتمام کار و تعویض لباس بعد از ترک محل کار بدین معنی که از انتقال آلودگی به منزل، خودرو و.. جلوگیری شود.

۷- استفاده از ماسکهای تنفسی مناسب تایید شده توسط مراکز مجاز-استفاده از وسایل حفاظت فردی به تنهایی برای عملیات بلاستینگ کافی نیست و باید از تهویه مناسب نیز بهره گرفت.

- آموزش نحوه کار درست با ابزار وسایل درحین کار
- استفاده درست از ماسک و وسایل حفاظت فردی
- بازرسی مرتب روزانه از وسایل و ادوات کار
- آزمایش صحت وسایل حفاظت فردی
- بازرسی نگهداری و تعمیر درست وسایل
- انبار داری ایمن سیلیس
- PPE باید دارای استاندارد لازم باشند .

۸- معاینات منظم دوره ای برای کارگران و افراد در معرض سیلیکا

- آزمایشات قبل از استخدام ودوره ای حداقل هر سه سال

- افراد مشکوک بلافاصله به مراکز درمانی اعزام شوند
 - بررسی سوابق شغلی و مدارک پزشکی کارکنان و نیز بیماریهای ریوی پرسنل
 - اسپیرومتری و رادیولوژی و آزمایشات خون
 - بررسی بیماری سل در این افراد
- ۹- نصب تابلوهای هشداردهنده و بهداشتی در محلهایی که افراد در معرض سیلیس هستند.
- ۱۰- آموزش مداوم به کارگران در مورد شناخت علائم، نشانه ها و عوارض مربوط به سیلیکا.
- ۱۱- گزارش سریع موارد مشکوک ابتلا به سیلیکوزیس و بیماریهای مربوطه به مراکز درمانی.
- ۱۲- وسایل و تجهیزات کار با سیلیس چون با سیستم هوای فشرده کار می کنند باید رعایت شود .

۲-۱۰- درجات زنگ

- چهار درجه زنگ زدگی که با حروف D,C,B,A مشخص شده اند، درجات زنگ بر روی سطح را بصورت زیر نشان می دهند.
- (A) سطوح فولادی که عمدتاً با لایه اکسیدی چسبنده حاصل از نورد پوشیده شده، اما زنگ زدگی آن، در صورت وجود بسیار اندک می باشد.
- (B) سطوح فولادی که شروع به زنگ زدگی کرده است و در نتیجه آن لایه اکسیدی حاصل از نورد شروع به ورآمدن ورقه ای شدن نموده است.
- (C) سطوح فولادی که لایه اکسیدی حاصل از نورد روی آن در اثر زنگ زدگی کاملاً از بین رفته و یا این که قابل جدا کردن از سطح می باشد، اما بر روی آنها حفره های جزئی ایجاد شده که با چشم غیر مسلح نیز قابل دیدن می باشد.

D) سطوح فولادی که لایه اکسیدی حاصل از نورد روی آنها در اثر زنگ زدگی کاملاً از بین رفته و حفره های گسترده بر روی آنها که با چشم غیر مسلح قابل رویت می باشد، وجود دارد.

جمع بندی و نتیجه گیری

تمیزی و آماده سازی سطح قبل از عملیات رنگ آمیزی از اهمیت خاص در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی و همچنین دیگر صنایع برخوردار می باشد. آماده سازی سطح از عواملی می باشد که در عملکرد حفاظتی پوشش دخالت دارد. با جایگزینی سیستم های پیشرفته به جای پوشش های قدیمی، بکارگیری روش های دقیق آماده سازی سطح روز به روز اهمیت بیشتری پیدا کرده است. همچنین قوانین زیست محیطی در خصوص بکارگیری از رنگ های غیرمضر و همچنین عدم استفاده از ماسه های سیلیسی دستورالعملهایی را نیز مشخص کرده است. به طور کلی آماده سازی سطح جهت افزایش باند بین فلز و پوشش انجام گرفته و چسبندگی بین لایه اول با فلز و در صورت وجود سیستم رنگ چسبندگی بین فلز و کل سیستم رنگ را به عهده دارد. میزان درجات آماده سازی سطح مطابق استانداردهای رایج می تواند در کیفیت چسبندگی لایه اولیه نقش به سزایی ایفا کند. در این راستا پروفایل سیطح فلز از اهمیت خاصی برخوردار است.

پرسش و پاسخ

پرسش:

هدف از آماده سازی سطح در هنگام رنگ آمیزی تجهیزات چیست؟

پاسخ :

به منظور چسبندگی هرچه بهتر پوشش اعمال شده بر روی سطوح فلزی آماده سازی سطح مطابق استانداردهای مختلف و رایج انجام می پذیرد از آنجایی که چسبندگی پوشش به دو عامل اصلی ۱- نیروهای کووالانسی بین انتهای پوشش و سطح فلز و ۲- باند مکانیکی بین آن دو بستگی دارد هرچه سطح تمیز و دارای پستی و بلندی های بیشتر (زبری) باشد میزان باند مکانیکی بین پوشش و سطح فلز افزایش می یابد.

پرسش:

در استفاده از مواد ساینده چه نکاتی را می بایست رعایت نمود.

پاسخ:

استفاده از مواد ساینده می بایست با دقت خاصی انجام پذیرد، براساس نوع ساینده که استفاده می شود موارد از قبیل اندازه دانه ها، شکل ظاهری، ترکیب شیمیایی، pH، میزان رطوبت و میزان آلایندگی موجود از قبیل چربی و روغن، وزن مخصوص، ثبات در اثر درجه حرارت های بالا و در نهایت قیمت می بایست رعایت گردد بطور مثال در استفاده از مواد ساینده می بایست دقت کافی در خصوص میزان مس آزاد در مواد ساینده کنترل گردد چرا که در صورت وجود مس آزاد در عملیات **Blasting** سبب چسبیدن فلز مس بصورت موضعی در خلل و فرج سطح نمونه شده و ایجاد پیل های گالوانیک موضعی می کند که سبب خوردگی در سطح نمونه و بصورت موضعی می شود.

پرسش:

در هنگام عملیات **Blasting** جهت آماده سازی سطح، فشار دستگاه چه تاثیری در کیفیت عملیات مذکور را دارد.

پاسخ :

عملیات **Blasting** معمولاً با استفاده از تجهیزات تولید فشار و محفظه ای محتوی ذرات ساینده انجام می پذیرد که با استفاده از تامین فشار لازم از طرف کمپرسور و برخورد مواد ساینده عملیات **Blasting** انجام می شود در صورتی که فشار سیستم از حد مشخص پایین تر

باشد زمان عملیات **Blasting** افزایش می‌یابد و همچنین پروفایل سطحی بوجود آمده کافی نبوده و چسبندگی پوشش را کاهش می‌دهد و در صورتی که فشار سیستم از حد مشخص بالاتر باشد امکان آسیب رسیدن به تجهیزات **Blasting** وجود خواهد داشت و همچنین ذرات ساینده در زمان کوهتاهتری قابل استفاده می‌باشند. همچنین ممکن است آسیب‌های بر روی سطح قطعه نیز ایجاد شود (قطعات با ضخامت پایین).

پرسش:

تفاوت ذرات ساینده از نوع ماسه سیلیس و گریت‌های بکار گرفته شده در عملیات آماده سازی سطح چیست؟

پاسخ:

هر دو ساینده ذکر شده کاربرد فراوانی در عملیات آماده سازی سطح داشته ولی بدلیل موارد ایمنی و زیست محیطی استفاده از ماسه‌های سیلیسی توصیه نمی‌شود چرا که ذرات سیلیس پس از برخورد با سطح شکسته شده و بصورت پودر در محیط قرار می‌گیرد و بدلیل همین تیز و برنده بودن آن در صورتی که وارد دستگاه تنفسی شخص گردد احتمال بروز عوارض از قبیل تب و ناراحتی‌های ریوی وجود خواهد داشت ولی بدلیل ارزان بودن آن هم اکنون در برخی از مراکز از این ساینده استفاده می‌شود. استفاده از ذرات ساینده گریت با رعایت آنالیز مواد موجود کاربرد فراوانی داشته و خطرات ایمنی و زیست محیطی وجود ندارد. در مواردی می‌توان از مخلوط ماسه ساینده و گریت استفاده نمود بشرطی که مواد ایمنی و محیط زیست بطور کامل رعایت گردد.

فصل سوم

مبانی پوشش

لغت رئولوژی از ریشه کلمه یونانی رئوس^۱ به معنی جریان می باشد و علم رئولوژی روی چگونگی جریان یافتن سیالات و واکنش آن ها در برابر نیروی مکانیکی بحث می کند. بررسی رئولوژی و کنترل آن در ساخت محصولات تولیدی در صنایعی مانند رنگ سازی، مواد غذایی، مواد پلاستیکی و لوازم آرایشی اهمیت بسزایی دارد. در پروسه هایی مثل اختلاط، فیلتراسیون، انتقال، ته نشینی یا رسوب کردن این گونه محصولات، خواصی وجود دارند که بستگی به خاصیت رئولوژی آن ها دارد. علم رئولوژی شاخه ای از علوم ریاضی و فیزیک محسوب می شود و کلیه متغیرهای مربوط به آن از روابط ریاضی به دست می آیند [۷].

مواد مختلف در برابر نیروی مکانیکی خارجی یا همان تنش^۲ سه واکنش متفاوت نشان می دهند:

۱- جریان برگشت ناپذیر که ویژه مواد غیر قابل انعطاف یا غیرالاستیک^۳ می باشد.

۲- جریان برگشت پذیر که ویژه مواد انعطاف پذیر یا الاستیک^۴ می باشد.

۳- مخلوط دو جریان که ویژه مواد نیمه منعطف یا ویسکو الاستیک^۵ می باشد.

برای مثال اگر با چکش به یک قطعه فولاد ضربه وارد شود در اثر این تنش در قطعه تغییر شکلی ایجاد می گردد که برگشت ناپذیر است و در نتیجه فولاد را می توان در گروه مواد ویسکوز قرار داد. یا برای مثال آب پس از بهم زدن به حالت اولیه خود باز می گردد بنابراین آب یک سیال الاستیک می باشد.

ولی بسیاری از مواد در بین این دو گروه قرار می گیرند و چنانچه نیروی خارجی به آنها وارد گردد، تنها بخشی از تغییر شکل به حالت اولیه خود باز می گردد. این مواد جزو گروه مواد ویسکو الاستیک قرار می گیرند که رنگ ها در این گروه می باشند.

¹ - Rheos

² - Stress

³ - Viscouse

⁴ - Elastic

⁵ - Viscoelastic

سیالات بر اساس رفتارشان در برابر جریان به پنج گروه تقسیم می شوند:

۱- سیالات نیوتونی: سیالاتی هستند که با تغییر سرعت برشی اعمال شده بر آنها، ویسکوزیته شان تغییر نکرده و ثابت می ماند.

۲- سیالات منبسط شونده: سیالاتی هستند که ابعاد مولکول و ویسکوزیته آنها با افزایش تنش، افزایش می یابد مانند رنگ های **High Solid** ، مواد سرامیکی، نشاسته و پلاستیزو ها، جابجایی این سیالات از آنجا مشکل است که در هنگام پمپ کردن گرانروی آن ها افزایش یافته و حرکت آن ها سخت صورت می گیرد.

۳- سیالات شبه پلاستیک: سیالاتی هستند که با افزایش سرعت برشی اعمال شده، گرانروی آنها کاهش می یابد. اغلب رنگ ها در این گروه قرار دارند.

۴- سیالات پلاستیک: این گروه همان سیالات شبه پلاستیک هستند با این تفاوت که این سیالات دارای نقطه تسلیم می باشند. نقطه تسلیم حداقل میزان تنش برشی است که در سیال ایجاد جریان می کند. مانند کرم های دست که تا حد مشخصی از تنش را تحمل کرده و کاهش ویسکوزیته ندارند و زمانی که تنش از آن حد افزایش یافت، گرانروی کاهش خواهد یافت.

۵- سیالات تیکسوتروپیک: موادی هستند که ساختمان داخلی آنها بر اثر تنش خرد شده و ویسکوزیته شان کاهش می یابد و وقتی که تنش قطع شد، پس از مدتی ساختمان داخلی سیال ترمیم شده و به شکل اولیه باز می گردد. لذا گرانروی به مقدار اولیه بر خواهد گشت.

۳-۱-۲- کاربرد رئولوژی در رنگ

یک رنگ بسته به نوع کاربرد باید قابلیت قلم خوری، هم خوردن، مخلوط شدن، پمپ شدن، اسپری شدن و لخته زدایی را داشته باشد. به طور کلی برای اعمال رنگ روی خودرو با سه بخش متوالی روبرو هستیم:

۱- انتقال رنگ از مخزن به دستگاه پاشش رنگ

۲- انتقال رنگ از دستگاه به سطح مورد نظر

۳- ایجاد فیلم یکنواخت روی سطح و تبخیر حلال ها

در هرکدام از این مراحل، رئولوژی رنگ ها اثر کنترل کنندگی مهمی دارد. اغلب رنگ ها رفتار شبه پلاستیک از خود نشان می دهند یعنی ویسکوزیته آن ها با افزایش تنش برشی کاهش می یابد که به آن " رقت برشی " می گویند. در صنعت رنگ برای بررسی و اصلاح خواص رئولوژیکی محصول از یک مرجع استفاده می کنند، یعنی رنگی را که دارای خواص رئولوژیکی مناسبی است به عنوان مرجع یا شاهد قرار داده و هم زمان با نمونه رنگ مربوطه، آزمایش می کنند و سپس با مقایسه نمودارهای جریان اقدام به اصلاح نمونه رنگ می نمایند [۶].

۳-۱-۳- رفتار رئولوژیکی رنگ قبل از اعمال

برای انتقال رنگ به ابزار رنگ آمیزی، لازم است که ساختمان رئولوژیکی رنگ در اثر تنش کم به سرعت خرد شود که این تنش توسط غوطه ور کردن قلم مو در رنگ یا کشیدن غلطک در سینی حاوی رنگ یا حتی پمپ کردن آن ایجاد می شود. خرد شدن ساختمان رنگ به نفوذ آن در سطح کمک می کند. ویسکوزیته مناسب رنگ با توجه به روش اعمال آن متفاوت است. برای اغلب رنگها قابلیت نگهداری در انبار برای مدت طولانی و عدم ته نشینی بسیار مهم است. هرچه مخلوط رنگ هموزن تر باشد، پایداری آن در برابر ته

نشینی بیشتر است. همچنین هرچه شبکه ساختمانی یک رنگ قوی تر باشد، نقطه تسلیم آن افزایش یافته و در نتیجه مقاومت آن در برابر ته نشینی افزایش می یابد.

۳-۱-۴- رفتار رئولوژیکی رنگ بعد از اعمال

پس از اعمال یک رنگ روی سطح بدنه، با استفاده از خواصی مانند یکنواختی سطح، براقیت، چسبندگی، ضخامت و عدم شره می توان کیفیت پوشش را مشخص نمود. به این جهت، پس از اعمال رنگ ساختمان داخلی آن باید در مدت زمان مناسبی شکل گیرد و این مدت زمان باید برای خروج حباب های هوا از داخل لایه رنگ کافی باشد.

۳-۲- شیمی سطح

طرح ناهمواری یا پروفایل سطح تمیز شده به نوع ساینده مورد استفاده و نیروی ضربه زننده ساینده ها بستگی دارد. فاصله بین پایین ترین عمق فرورفتگی و بالاترین قله برآمدگی روی سطح را درجه ناهمواری یا عمق پروفایل می نامند. بدیهی است درجه ناهمواری، شکل و عمق پروفایل بایستی با کیفیت پوشش یا پوشش های بعدی هماهنگی داشته باشد. برای مثال ویسکوزیته رنگ یکی از عواملی است که بایستی با توجه به میزان ناهمواری سطح کنترل شود و طوری تنظیم گردد که رنگ بتواند به راحتی تا عمق پروفایل جریان یابد. در صورتی که ویسکوزیته رنگ تا حدی زیاد باشد که پوشش یا رنگ نتواند عمق پروفایل را پر کند پس از خشک شدن یک حفره خالی در عمق پروفایل باقی می ماند که محل مناسبی برای آغاز خوردگی فلز خواهد شد. از طرف دیگر چنانچه برای رفع این مشکل با افزایش حلال زیادی ویسکوزیته رنگ کاهش یابد، باید دقت شود که عمق پروفایل و همچنین ضخامت رنگ و زمان خشک شدن پوشش چنان باشد که فرصت کافی برای تبخیر حلال از عمق ناهمواری و از ضخامت قشر رنگ وجود داشته باشد [۷].

ناهمواری سطح می تواند دارای عمق های متفاوتی باشد. به طور معمول یک نقش دندانانه ای بسیار عمیق فرورفتگی ها و برجستگی هایی خواهد داشت که هرگز نوک و یا عمق آنها با

رنگ پوشش نخواهد یافت و در نتیجه از این نقاط خوردگی زودتر آغاز می شود. درجه ناهمواری یکی از عوامل تعیین کننده ضخامت پوشش است. در صورتی که عمق پروفایل بیشتر از ضخامت پوشش باشد، یقیناً در نقاطی از سطح، قله بالاترین برآمدگی پروفایل از پوشش بیرون مانده و در معرض محیط اطراف قرار می گیرد و نقطه شروع خوردگی خواهد بود.

در ارتباط با ضخامت قشر رنگ و درجه ناهمواری سطح نظرات متفاوتی وجود دارد و به صورت یک قانون کلی نیست.

برخی پیشنهاد می دهند که ضخامت لایه پوشش بایستی ۷۵ تا ۱۰۰ میکرون بیشتر از میزان عمق ناهمواری سطح باشد. برخی نظر دارند که بایستی درجه ناهمواری در ضریبی (مثلاً سه) ضرب شود. گروهی دیگر از جمله متخصصین مجمع رنگ آمیزی ساختمان فولادی^۱ بر این عقیده هستند که ضخامت لایه پوشش نسبت به درجه ناهمواری سطح خیلی اهمیت ندارد بلکه مهم است که:

- سطح فولاد به ویژه قله برجستگی ها با یک ضخامت قابل اطمینان از رنگ پوشیده شود تا از خوردگی حفاظت گردد.

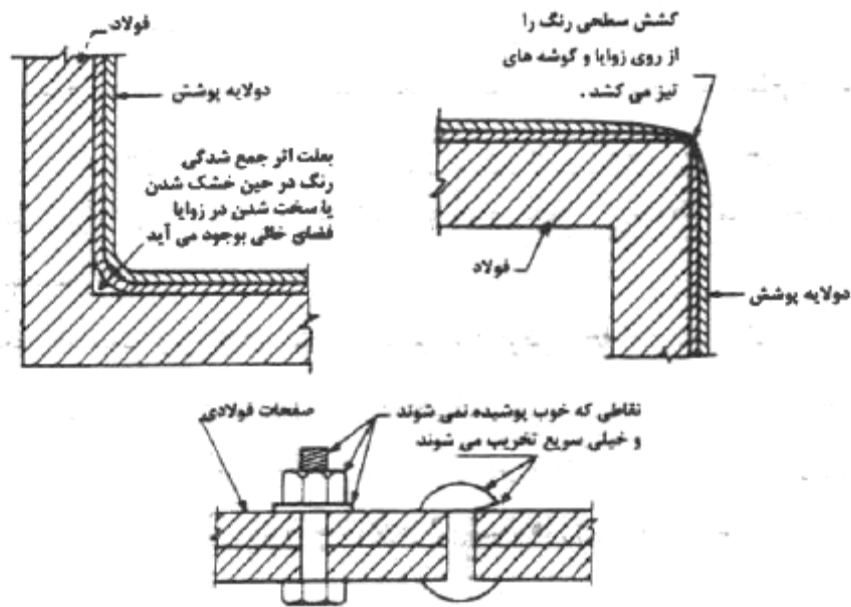
- ضخامت لایه پوشش نباید خیلی بیشتر از میزان عمق ناهمواری سطح باشد زیرا چسبندگی رنگ به سطح و مقاومت لایه در برابر تنش های داخلی سطح و تنش های محیطی کم می شود.

- عمق پروفایل سطح آنقدر کم نباشد که رنگ روی آن به خوبی نچسبد.

به طور کلی پروفایل با عمق ۳۸ تا ۹۰ میکرون برای سطوح صنعتی بهترین میزان است که پوشش ضخیم تر، با عمق بیشتر و پوشش نازکتر، پروفایل با عمق کمتر نیاز دارد. با توجه به میزان قدرت چسبندگی نسبتاً ضعیف بعضی از رزین های آلی و محدودیت در ضخامت لایه پوششی مورد نظر، میانگین عمق ناهمواری های پروفایل تا ۵۰ میکرون مناسب خواهد بود.

¹ - sspc

در این رابطه نوع پوشش رنگ، زمان خشک شدن و ویسکوزیته رنگ، نوع رزین و قدرت جاذبه آن با سطح زیرین، دانه بندی و درشتی و ریزی ذرات رنگدانه موجود در رنگ، و ضخامت رنگ نیز مورد دقت و توجه قرار می گیرند. گاهی اوقات با وجود آن که سطح کاملاً تمیز شده اما ناهمواری هایی در سطح وجود دارد که اگر با روش معمولی رنگ آمیزی پوشیده شود زنگ زدگی زودرس را به دنبال خواهد داشت. برای مثال پوشش آلی در زمان کاربرد تمایل دارد که از لبه های تیز به اطراف کشیده شود که ضخامت بسیار کم بر روی لبه باقی می ماند. گوشه های تیز و اتصالات لوله ها مشکل ترین قسمت پوشانیدن با آستر هستند. در نتیجه این قسمتها اولین نقاطی هستند که در آن زنگ زدگی شروع می شود. بنابراین باید دقت شود تا یک قشر یکنواخت از پوشش بر روی همه قسمت های سطح ایجاد گردد.



نقاط مشکل هنگام رنگ آمیزی سطوح

شکل ۱۹ [۴]

زوایای تیز نظیر خمیدگی های سازه ها و جوش ها باید به وسیله سمباده به دایره ای به شعاع $\frac{1}{8}$ اینچ گرد شوند. شکستگی های تیز ناشی از خوردگی و درزهای عمیق در فلز با جوش دادن یا نصب یک قطعه فلز نو ترمیم شود. ناهمواری های مختلف ایجاد شده در سطح ناشی از خوردگی و اتصالات ورقه های فلزی و قسمتهای مختلف جوش خورده باید از سطح حذف شوند.

نقاط دیگری مثل شکاف ها و سطوح متخلخل به سختی پوشانیده می شوند. منظور از تخلخل ناهمواری های میلیمتری همچون حفره های عمیق ناشی از خوردگی است و با پروفایل حاصل از آماده سازی متفاوت است و برای رفع این ناهمواری ها بایستی تدابیری اندیشید. ناهمواری های ناشی از ذرات جوش ممکن است هنگام آماده سازی و یا با استفاده از چکش یا چاقوی کوچک یا کاردهای مخصوص زدوده شوند، لبه های تیز ناشی از برش، شعله و جوشکاری معمولاً با روش سوهانکاری، سمباده کاری و یا روش مناسب دیگر برطرف می شوند. در موقع حذف چنین لبه هایی بایستی دقت مبذول گردد تا لبه های جدید پدید نیاید. حفره های عمیق ناشی از خوردگی ها و خراش ها نیز بایستی ساییده و مسطح شوند.

۳-۴- خواص پوشش بعد از اعمال

۳-۴-۱- چسبندگی مناسب

پوشش مقاوم به خوردگی باید چسبندگی خوبی داشته باشد، زیرا چسبندگی در کاهش اثر آب روی عمر پوشش و نیز در جلوگیری از مشکلاتی که بوسیله شیب حرارتی در عرض پوشش، خواص اسمز و الکترواند اسمز ایجاد می شود، تاثیر مهم دارد. وقتی چسبندگی پوشش به سطح قوی باشد، برای مدت طولانی تری نسبت به پوششی که چسبندگی ندارد، اما خواص خوب دیگری دارد، بدون عیب باقی می ماند.

«چسبندگی» از اثر متقابل فیزیکی و شیمیایی در فصل مشترک پوشش و سطح زیرین بوجود می آید. پوششهای اولیه وینیل از ترکیب کوپولیمهای وینیل کلراید- وینیل استات، دارای چسبندگی کمی به سطح بوده و فقط در جایی که سطح بسیار متخلخل می باشد، کاربرد دارد. با این حال اضافه کردن مقدار بسیار کمی از یک منومر سوم در طی

فرآیند پلیمریزاسیون رزین وینیل، باعث ایجاد تعداد محدودی از رادیکالهای اسید آلی روی پلیمر می شود. این عمل، جاذبه شدیدی را برای سطوح فلزی بوجود می آورد و پیوند بین پلیمر و سطح فلز تولید می کند. اپوکسی ها درون مولکول، رادیکالهای شیمیایی دارند که جاذبه شدیدی برای سطوح فلزی دارد. اینها اغلب «مولکولهای قطبی» نامیده می شود (مولکولهای قطبی قوی، اغلب خواص مورد نیاز برای چسبندگی را دارد).

از دیدگاه مهندسی خوردگی، چسبندگی ذاتی پوشش باید کاملاً برآورده گردد. این کار شامل اعمال پوشش روی یک سطح تمیز با زبری مناسب و اطمینان از اینکه پوشش کاملاً سطح را خیس می کند، می باشد. اعمال این فیلم خیس، آنچنانکه پوشش مایع بتواند در تماس با سطح زیرین قرار بگیرد، لازم است.

زبری فیزیکی، می تواند فاکتور مهمی در چسبندگی باشد. سطوح Shot Blast شده، مثال خوبی است. یک سطح Shot Blast شده در مقایسه با یک سطح صاف نورد سرد، علاوه بر زبری فیزیکی، دارای سطحی است که مساحت آن برای چسبیدن، چند برابر سطح صاف است. این عامل می تواند تفاوت برجسته در چسبندگی یک پوشش در همه شرایط باشد. هر یک آزمایش، چهار صفحه با یک نوع پوشش، پوشیده شد، سه تا از صفحات فولادی، نورد سرد و چهارمی نورد سرد و Shot Blast شد. پوششهایی با ضخامت های مساوی روی همه صفحات اعمال گردید. همگی حکاکی شده و درون آب غوطه ور شد. پوشش توأم با بهترین چسبندگی یا به عبارت دیگر پوششی که روی سطح با مساحت بیشتر و زبری فیزیکی مناسب بکار رفته بود، هیچ جدایشی از فولاد نشان نداد. دیگر سطوح که Shot Blast نشده بود در ناحیه حکاکی از سطح جدا شد.

۳-۴-۲- مقاومت شیمیایی

مقاومت به عبور یون، عاملی است که به مقاومت شیمیایی کمک می کند و لزوماً این دو خاصیت یکسان نیستند. برای مثال یک پوشش فنولیکی که پیوند عرضی قوی دارد و به عبور یونی مقاوم است، حتی در محلولهای قلیایی خیلی رقیق نیز مقاومت نمی کند. اگرچه این پوشش، در برابر عبور یونی مقاومت می کند، اما به علت واکنش پذیری آن با قلیاها به سرعت زوال می یابد.

«مقاومت شیمیایی»، توانایی پوشش و بویژه رزینها به مقاومت در مقابل مواد شیمیایی تعریف می شود. پوششهای وینیل، دارای محدوده بسیار وسیعی از مقاومت شیمیایی است. در حقیقت احتمالاً وسیعترین محدوده را در میان تمام رزینهای پوششی دارد. این پوششها در مقابل اغلب اسیدها، قلیاها و نمکها و شرایط اکسیدکننده و نیز نسبت به بسیاری از حلالها از قبیل الکل مقاوم است. از طرف دیگر به سهولت بوسیله دیگر مواد شیمیایی حل می شوند. اختلاف اینجاست که در حالی که پوششهای وینیل معمولاً نسبت به واکنشهای غیر آلی مقاوم است، در عین حال نسبت به فعالیت مواد آلی مقاومت کمتری دارد.

مواد فوران که به عنوان سیمان برای مخازن و دیواره های آجری استفاده می شود، نیز دارای محدوده وسیعی از مقاومت شیمیایی نسبت به اسیدها، بازها و نمک است، اما به سرعت توسط مواد اکسید کننده مورد هجوم واقع می شود. اپوکسی ها مقاومت عالی در برابر اسیدها، قلیاها و معمولاً آب دارند. اپوکسی ها نسبت به وینیلها در برابر حلالها مقاومترند.

بنابراین، مقاومت شیمیایی، هم به فرمول بندی پوشش و هم رزینهایی که پوشش از آنها تولید می شود بستگی دارد. مقاومت شیمیایی پوشش وینیلی، بر اثر ترکیب با رنگدانه های فعال کمتر می شود. از طرف دیگر، وقتی پوشش با رنگدانه های بسیار خنثی، فرمول بندی شود، مقاومت شیمیایی آن بهبود می یابد. معمولاً پوششی که به عنوان مقاوم شیمیایی در نظر گرفته می شود و برای مقاومت شیمیایی در یک اتمسفر شیمیایی استفاده می شود، باید در مقابل نمکها، اسیدها و بازهای با محدوده نسبتاً وسیع pH مقاومت کند. همچنین باید در مقابل مواد آلی از قبیل سوخت دیزل، بنزین، روغن موتور و مواد مشابه مقاومت کند، زیرا این مواد تقریباً در تمام عملیات صنعتی یافت می شوند. البته در یک پوشش مقاومت به قلیا بسیار مهم است. زیرا یکی از واکنشهای شیمیایی در فرآیند خوردگی، موجب پیدایش قلیائیت قوی در کاتد می شود و هر پوشش که به خوبی در مقابل قلیا مقاوم نباشد، در ناحیه کاتدی از کار می افتد و خوردگی زیر پوشش گسترش می یابد.

پوشش مؤثر باید مقاومت قوی در مقابل مکانیزم عبور یونی داشته باشد. اگر سولفیدها، کلریدها، سولفات‌ها یا یونهای مشابه به سهولت از میان پوشش انتقال یابند، مقاومت به خوردگی کم خواهد بود. این یونها همچنین مقاومت دی الکتریک پوشش را پائین می آورد و آن را رساناتر می سازد، بنابراین مقاومت به خوردگی کاسته می شود. متداول ترین حالت، وقتی است که پوشش تحت جریان کاتدی اعمالی باشد و آهک یا دیگر رسوبات نمکی، روی سطح بیرونی پوشش تشکیل شود. تنها راهی که رسوبات می توانند روی سطح خارجی یک پوشش سالم تشکیل شوند، وقتی است که الکترون‌ها از میان پوششها، از سطح زیرین عبور کرده و باعث رسوب نمکهای آهکی روی سطح پوشش شود.

پوششی که دارای وزن مولکولی بسیار زیاد و ساختمان مولکولی فشرده است، دارای بیشترین مقاومت در برابر انتقال یونی از میان پوشش است. واضح است که همین حالت برای عبور الکترون‌ها برقرار است. مثالی از این نوع ماده، پوشش فنولیکی می باشد که دارای پیوند عرضی خیلی قوی به همراه مقاومت عالی در برابر اسید و آب است. این چنین پوششهایی سالها به عنوان آستر مخزن و آستر برای تیوبینگ چاه نفت که در آن محلولهای خورنده ای وجود دارد، استفاده شده است. رزینهای پوششی، درجه های مختلفی از مقاومت به عبور یونی و الکترونی دارد. ترکیبات منحصر به فرد پوشش، حتی در جایی که همان رزین استفاده شود، می تواند مقاومت منحصر به فرد و خواص کاملاً متفاوتی داشته باشد. جذب رطوبت و سرعت انتقال بخار رطوبت نیز روی این خاصیت پوشش مؤثر است. ترکیبات مناسب پوششهای وینیل و اپوکسی، دارای مقاومت خوبی نسبت به عبور یونی است. پوششهای اپوکسی تمایل اندکی به عبور الکترون‌ها دارد. از طرف دیگر، آلکیدیها ممکن است در ابتدای عمر، مقاومت خوبی در برابر عبور یونی داشته باشند، اما پس از مدتی بر اثر واکنش در هوا نفوذپذیرتر شوند.

۳-۴-۴- مقاومت به خوردگی سایش

پوشش لوله ها، سکوه‌های دریایی، کشتی ها و قایق ها افزون بر مقاومت به خوردگی، باید مقاومت به سایش نیز داشته باشند. در این صورت پوشش برای دوام علاوه بر مقاومت به خوردگی، باید خاصیت چقرمگی، چسبندگی عالی، سختی و مقاومت به شوک داشته باشد. پوششهای آلی که از نمونه های نرم و لاستیکی تا نمونه های بسیار سخت بادوام گسترده است، دارای محدوده وسیعی از مقاومت به سایش است. با این همه سختی، معیارهایی از مقاومت به سایش نیست. پوششهای پلی اورتان، مؤثرترین پوششهای آلی مقاوم به سایش می باشد. این پوششها، مقاومت استثنایی به ضربه، خراش و سایش را دارد. به هر حال پوششهای اپوکسی، به علت چسبندگی خوب به سطح فولاد دارای مقاومت به خوردگی سایش در سطح داخلی لوله ها می باشند.

۳-۴-۵- مقاومت به گذشت زمان (Aging)

پوشش باید برای مدت زمان قابل توجهی حفاظت ایجاد کند، تا امکان مقاومت به خوردگی حفظ شود. اگر پوشش مدت زمان مناسبی بطور سالم کار نکند، بی ارزش است. بنابراین پوششهای مقاوم به خوردگی باید توانایی نگهداری مؤثر قدرت حفاظتی را برای سالها، در شرایط مختلف خوردگی داشته باشد. اگر پوششی حتی در یک خاصیت، مانند مقاومت به شرایط جوی یا سایش نامؤثر باشد، ممکن است قابل استفاده نباشد. بنابراین برای داشتن خاصیت مقاومت به گذشت زمان، تمامی خواصی که قبلاً توصیف شد، باید به صورت بهینه به کار برده شود.

۳-۴-۶- مقاومت دمایی

جدول ۶ مقاومت دمایی برخی از انواع پوششهای معمول را نشان می دهد. هر نوع پوششی بر اساس ترکیب ممکن است به طور قابل ملاحظه ای خواص دمایی اش بالا یا پایین باشد.

جدول ۷: مقاومت دمایی برخی از انواع پوششهای معمول [۶]

پوشش	غوطه وری	غیر غوطه وری
کوپلیمر وینیل	۳۸°C	۶۵°C
لاستیک کلردار	۳۸°C	۶۰°C
قطران زغال سنگ	۵۰°C	۶۵°C
اپوکسی قطران زغال سنگ	۵۰°C	۹۵°C
اپوکسی	۵۰°C	۹۵°C
اورتان	۳۸°C	۱۲۰°C
اپوکسی فنولیک	۸۲°C	۱۲۰°C
فنولیک پخته	۸۲°C	۱۲۰°C
روی معدن	-	۳۷۰°C
سیلیکون	-	۳۷۰°C

۳-۴-۷- مقاومت به رطوبت

پوشش مقاوم به خوردگی برای عملکرد مناسب، باید ویژگیهای ضروری بسیاری داشته باشد که با توجه به استفاده خاص از پوشش ممکن است تغییر کند. اما همه پوششها چند مشخصه اصلی را دارا می باشند. با توجه به اینکه همه پوششها در تماس با رطوبت می باشند، لذا شاید مقاومت به رطوبت مهمترین مشخصه پوشش باشد. رطوبت که تقریباً بر روی تمام مواد آلی اثر می گذارد، نزدیکترین ماده به یک حلال است. بنابراین مقاومت به آن بسادگی قابل حصول نمی باشد. حتی سنگ و بتن، در تماس با آب به تدریج خورده و یا سائیده می شوند. هم آهن و هم فولاد، حتی تحت شرایط آب اسیدی معمولی بسرعت اکسید می شوند.

رطوبت سولفیدی که در بسیاری شرایط متداول است، آمادگی واکنش با اغلب فلزها (مثل آهن، فولاد، برنج و مس) را دارد. رطوبت منجر به تشکیل نواحی آندی- کاتدی روی فولاد می شود که در نتیجه خوردگی حفره ای شدیدی ایجاد می شود. مولکول بسیار کوچک آب، توانایی نفوذ به درون اغلب ترکیبات را دارد. معمولاً رطوبت به تعادل می رسد. چون

بسیاری از مولکولهای آب به صورت تبخیر سطحی به درون مواد آلی می رود. با توجه به فشار بخار آب در آن زمان، مقدار نسبتاً ثابتی آب در مواد آلی باقی می ماند. به خاطر این خواص نفوذی شدید، آب اثری بیشتری روی ترکیبات آلی نسبت به سایر مواد دارد. چون بیشتر پوششهای موجود، به صورت آلی است، پس باید بیشترین مقاومت رطوبتی ممکن را داشته باشد تا سایر خواص حفظ شود و برای مدت طولانی مؤثر باشد.

همچنین آب می تواند بر روی نفوذپذیری سایر مولکولها با توجه به اندازه آنها اثر بگذارد. برخی مولکولهای بسیار کوچک (مانند دی اکسید کربن، اسید سولفیدریک H_2S) نیز به شدت نافذ اند و همراه بخار آب به درون ترکیبات آلی نفوذ می کنند. اسید سولفیدریک H_2S نیز بسیار نافذ است، زیرا هم یک گاز و هم مولکولی کوچک است. همچنین دارای میل ترکیبی شدیدی با آب است و در پوشش های نامناسب در نواحی با چسبندگی ضعیف (حتی با مولکولهای آستر آلی بسیار سنگین) نفوذ خواهد کرد و زیر آستر تجمع کرده و موجب خوردگی شتاب یافته ای می شود.

دی اکسید کربن نیز خیلی نافذ است. در اتومبیل های جدید به عنوان گاز ایده ال برای باد کردن لاستیک ها در نظر گرفته می شود، اما به علت اندازه کوچک مولکول، نگهداری آن دشوار است، زیرا به بیرون نفوذ می کند و تایر در عرض چند ساعت تخلیه می شود. برای اینکه یک پوشش مقاوم به خوردگی پربازده، مقاومت بسیار خوبی نسبت به آب داشته باشد، باید بدون تاول زدن، ترک خوردن، نرم شدن، باد کردن یا کاهش چسبندگی دوام بیاورد. همچنین باید در شرایط تر و خشک شدن سیکی مقاومت کند.

۳-۴-۸- جذب کم آب

جذب آب به مقدار آبی اطلاق می شود که درون فضاهای مولکولی پوشش جمع شده و باقی می ماند. همین که پوشش تشکیل شد، محتوای آب با اتمسفر به تعادل می رسد و در شرایط خشک، تبخیر و در رطوبت زیاد یا شرایط غوطه وری جذب می شود.

همچنین هر پوششی دارای سطح جذب آب مخصوصی می باشد. چون آب درون پوشش در تماس با رطوبت موجود در اتمسفر قرار دارد به تنهایی در شرایط بحرانی خوردگی قرار ندارد. اگر پوشش به خوبی چسبندگی داشته باشد و جدایشی بین پوشش و سطح زیرین وجود نداشته باشد، رطوبت جذب شده درون پوشش به حالت نسبتاً خنثی باقی خواهد

ماند. در هر فشاری بخاری بسیاری از مولکولها همانگونه که وارد پوشش شده است، آنرا ترک می کند، بنابراین برای هر پوششی، مولکولهای جذب شده در نواحی درون مولکولی، ثابت باقی می ماند.

۳-۴-۹- توانایی انبساط و انقباض

هر ماده پوششی دارای ضریب انبساط مخصوصی است. هر پوششی که در شرایط خورنده قرار می گیرد، باید انقباض و انبساط همراه با سازه را داشته باشد. برای پوششهای پلاستیک گرمانرم یا ترمو پلاستیک، معمولاً مشکل خاصی وجود ندارد. از آنجا که این پوششها نسبت به دما حساسند، وقتی گرم می شوند، خاصیت پلاستیکی بیشتری می گیرند و به سهولت با انبساط و انقباض سطح زیری مطابقت می کنند. به دلیل اینکه این پوششها معمولاً چسبندگی خوبی دارند، ترکیب این دو خاصیت طبیعی ترین انبساط و انقباض را بدون مشکل بوجود می آورد. پوششهای پلاستیک گرما سخت یا ترموست یا پوششهای با پیوند عرضی، از قبیل آلکیدیها ممکن است، پس از سپری شدن زمان شکننده شده و انقباض و انبساط آنها با سطح زیرین متوقف شود. این عمل به سبب تغییر دما ممکن است ترکدار شدن و پوسته ای شدن از سطح منجر شود.

سیکل دمایی، منحصر به مخازن واکنش که گرم و سرد می شود، نیست بلکه معمولاً در نتیجه تغییر دما در سطوحی است که در معرض نور مستقیم خورشید قرار دارد. دمای پوششهای تیره روی سطوح فولادی می تواند تا 150°C (۶۵۰ $^{\circ}\text{F}$)، در روز آفتابی بالا برود و تحت شرایط خاصی در شب به دمای یخ زدگی برسد. یک پوشش با مقاومت به خوردگی مناسب، باید در چنین تغییرات دمایی، بدون از دست دادن چسبندگی و بدون شکاف برداشتن، یا ترک دار شدن مقاومت کند.

۳-۴-۱۰- مقاوم به شرایط جوی

سیکل دمایی همچنین قسمتی از مقاومت به شرایط جوی است. پوششهای مقاوم به خوردگی باید کاملاً مقاوم به شرایط جوی باشد، زیرا بسیاری از سطوحی که نیاز به حفاظت از خوردگی دارد، بدون حفاظ در معرض هوا قرار دارد. مقاومت به شرایط جوی نیاز به ترکیبی از یک سری خواص بسیار متفاوت دارد. پوشش مقاوم به شرایط جوی باید در برابر

آفتاب، باران، برف، شبنم، تگرگ، یخ زدن و آب شدن، انقباض و انبساط سطح زیری، دوده‌های شیمیایی، گرد و غبار، ذرات رادیو اکتیو و نیز تر و خشک شدن سیکلی مقاومت کند.

مقاومت به شرایط جوی، تقریباً تمام خواص مورد نیاز پوشش را در خود دارد. برای اینکه یک پوشش به طور اقتصادی، سالها در برابر هوا مقاومت کند، باید در شرایط فوق بدون گچی شدن، شیار شیار شدن، ترک برداشتن، لایه ای شدن، تاول زدن، از دست دادن چسبندگی یا تغییر رنگ یا تغییر ظاهر قابل توجه مقاومت کند.

۳-۴-۱۱- مقاومت به تشعشع

پوششها با گسترش انرژی اتمی به طور گسترده برای حفاظت سطوحی از قبیل فولاد، بتن، فولاد زنگ نزن و غیره، در مقابل آلودگی رادیواکتیوی استفاده شده است. پوشش برای استفاده مؤثر باید که در مقابل مقادیر مختلف تشعشع مقاومت کند. برخی از پوششها تحت مقادیر زیاد دوز تشعشع، بسیار شکننده، چروکیده و ترک دار می شود، دیگر پوششهای تمایل به تجزیه دارد و نرم و چسبناک می شود، در عین حال، پوششهای دیگر تاول می زند و چسبندگی خود را از دست می دهد. واضح است که این پوششها برای استفاده در این شرایط، مناسب نیست. به هر حال، پوششهای آلی با داشتن پیوند عرضی قوی، پایدارتر و مقاوم تر است. پوششهای ترموست، مقاومت به تشعشع بهتری نسبت به پوششهای ترموپلاستیک می دهد.

۳-۵- تستهای چسبندگی

از روشهای متداول اندازه گیری چسبندگی پوشش استفاده از استاندارد ASTM D 3359 می باشد.

برای اطمینان از اعمال پوشش رنگ به طور مناسب بر روی سطح فلز باید چسبندگی رنگ به روی سطوح اعمال شده را مورد بررسی و آزمایش قرار داد.

روشهای متفاوتی جهت بررسی چسبندگی رنگ به سطح مورد نظر مورد استفاده قرار می گیرد که متداول ترین آنها روش تست با چاقو (Knife Test)، تست چسب نواری (Tape Test) و Pull-Off Test می باشند.

در این قسمت روش تست چسب نواری که یکی از رایج ترین تستهای چسبندگی می باشد، شرح داده می شود.

در این روش بوسیله اعمال و جدا نمودن چسب نواری (حساس به فشار) بر روی بریدگی یا چاک ایجاد شده بر سطح فیلم، چسبندگی فیلمهای پوشش رنگ بر سطح فلز مورد ارزیابی قرار می گیرد.

برای انجام این تست دو متد A و B وجود دارد. روش تست A بیشتر جهت سایتهای کاری (job sites) و روش تست B بیشتر مناسب آزمایشگاه ها می باشد. همچنین از روش تست B برای فیلم های با ضخامت های بالای ۵ میلز یا ۱۲۵ میکرون استفاده نمی شود.



شکل ۲۰ [۸]

روش تست A

در این روش یک بریدگی X در فیلم روی سطح فلز ایجاد می گردد و سپس چسب نواری حساس به فشار را بر روی بریدگی اعمال و سپس از روی آن برمی دارند. چسبندگی بصورت کیفی از مقیاس ۰ تا ۵ مورد ارزیابی قرار می گیرد.

روش تست B

یک مدل شبکه ای با ۶ یا ۱۱ شکاف در هر جهت روی فیلم ایجاد شده و چسب نواری بر روی شبکه اعمال و سپس از روی آن برداشته می شود و چسبندگی بر اساس مقایسه همراه با شرح و تفسیر ارزیابی می گردد.

وسایل مورد نیاز جهت تست A

۱- ابزار برش

تیغ تیز، چاقوی جراحی، چاقو و یا هر وسیله برنده. باید توجه داشت که لبه های تیغ حتما شرایط خوب و مناسبی داشته باشد.

۲- خط کش برش

خط کش فولادی (یا از جنس فلز سخت) با لبه های صاف برای اطمینان از برش صاف و مستقیم

۳- چسب نواری با پهنای یک اینچ، نیمه شفاف

توجه: چسب نواری متداول جهت این کار بنام پرماسل ۹۹ (Permacel 99) می باشد که در بازار نیز با همین نام موجود است.

۴- پاک کن

می توان از پاک کنی که در انتهای مداد وجود دارد استفاده نمود.

۵- روشنایی

یک منبع نور برای حصول اطمینان از اینکه برشهای ایجاد شده بر روی فیلم تا به سطح فلز کشیده شده باشد، مورد نیاز خواهد بود.

روش

سطحی را انتخاب نمایید که عاری از خدشه و زنگار بوده و کمترین عیوب سطحی را داشته باشد. مطمئن شوید که سطح تمیز و خشک باشد. توجه نمایید که دماهای بالا و رطوبت نسبی زیاد (بخصوص در سایت ها) بر چسبندگی فیلم تاثیر می گذارد.

دو برش بطول تقریبی $1/5$ اینچ (۴۰ میلیمتر) بر روی فیلم ایجاد نمایید بطوریکه از وسط یکدیگر بگذرند و زاویه حاده بین آنها 30 تا 45 درجه باشد. اینکار را با استفاده از ابزار برش و خط کش در یک حرکت ثابت انجام دهید.

بریدگی و شکاف ایجاد شده را به لحاظ رویت انعکاس نور از سطح فلز مورد بازرسی قرار دهید تا مطمئن شوید که فیلم پوشش رنگ کاملاً نفوذ کرده است. اگر سطح فلز رویت نشد، برش X جدیدی در محل دیگری ایجاد نمایید.

توجه: اعمال برش باید در یک مرحله صورت گیرد و عمیق تر نمودن شکاف قبلی صحیح نمی باشد و چسبندگی را متاثر می سازد.

دو دور کامل از چسب نواری را جدا کنید و یک تکه 3 اینچی (۷۵ میلیمتر) را از آن ببرید. وسط چسب را در نقطه برخورد برشها قرار دهید و سپس با انگشت آنرا روی برش بمالید و نیز با استفاده از پاک کن ته مداد آنرا کامل بر سطح بچسبانید.

رنگ زیر نوار شفاف نشانه مفیدی است تا مطمئن شوید چسب بخوبی به سطح چسبیده است. پس از سپری شدن زمان به مدت 30 ± 90 ثانیه از اعمال چسب، نوار را به سرعت از روی سطح بکنید. این کار تا جایی که ممکن است باید بدون تکان اضافه دست انجام شود و همچنین نوار بر روی خودش هنگام کندن زاویه 180 درجه داشته باشد.

حالا محل برش X را از لحاظ جدایش هر گونه پوشش از سطح فلز با استفاده از مقیاس های زیر مورد بازرسی قرار دهید:

A5: بدون هیچ گونه جدایش

A4: مقدار کمی کنده شدن یا جدایش در امتداد بریدگی ها و یا در محل برخوردشان

A3: جدایش ناصاف و بریده بریده در امتداد بریدگی ها تا $1/6$ میلیمتر در طرف دیگر

A2: جدایش ناصاف و بریده بریده در امتداد بیشتر بریدگی ها تا $3/2$ میلیمتر در طرف دیگر

A1: جدایش در اکثر نواحی برش X در زیرنوار

A0: جدایش در آنسوی ناحیه X

برای اطمینان از چسبندگی سایر نقاط، به تعداد کافی در محل های دیگر از سطح، تست را تکرار کنید.
تعداد تستها را با نتایج آن گزارش دهید.

۳-۶- روشهای تشخیص عیب

امروزه پوشش در بسیاری صنایع از جمله صنایع خودروسازی، صنایع هوایی، صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع الکتریکی و بسیاری موارد دیگر از اهمیت بسیاری برخوردار است. به همین دلیل بازرسی پوشش به منظور کنترل کیفیت پوشش ها در حین تولید و نیز بازرسی سریع پوشش ها در حین سرویس بسیار ضروری می باشد. روش های غیر مخرب بازرسی پوشش ها این امکان را می دهد که بدون تخریب و آسیب زدن به پوشش، به تشخیص عیوبی چون ترک، عدم چسبندگی پوشش، لایه لایه شدن، خوردگی زیرلایه ای و همچنین تعیین ضخامت پوشش چه در مرحله تولید و چه در مرحله حین سرویس پرداخته شود. دیده می شود که روش های جدیدی با توانمندی های ویژه در حال ورود به عرصه بازرسی پوششها می باشند. در زمینه ضخامت سنجی نیز پیشرفت های چشمگیری به منظور تعیین ضخامت انواع مختلف پوشش ها شامل پوشش های فلزی، غیرفلزی، هادی، غیر هادی، مغناطیسی و غیر مغناطیسی بر روی مواد زیر لایه گوناگون و نیز ساخت ابزارهایی با کارایی و دقت بالا انجام گرفته است. در این تحقیق مطالعه ای بر روی روش های غیرمخرب بازرسی پوشش ها و بویژه روش های اندازه گیری ضخامت که یک عامل کلیدی در ایجاد کیفیت مناسب پوشش می باشد- انجام گرفته است.

۳-۷- علل عدم چسبندگی پوشش

چسبندگی یکی از عوامل تعیین کننده عملکرد پوشش بر روی سطح فلز است. در صورتی که پوشش مورد استفاده بر روی سطح فاقد چسبندگی باشد همانند لایه ای پلاستیکی است که روی سطح قرار گرفته باشد. اگر رنگ به صورت لایه با سطح اتصال محکم به وجود آورد می تواند بسیاری از خواص فیزیکی سطح را حفظ و به صورت یک محافظ دائمی عمل کند.

دو عامل مهم چسبندگی رنگ را به سطح تضمین می کنند:

- آماده سازی خوب

- وجود جاذبه شیمیایی بین پوشش و سطح

یک سیستم رنگ چند لایه در حقیقت از چند واحد مستقل و مجزا تشکیل شده است که با اتصال به یکدیگر و ایجاد نیروهای چسبندگی در مجموع تشکیل یک لایه را می دهند. از آنجایی که پرایمر لایه ای است که به سطح فلز می چسبد پس سطح فلز را نیز می توان جزء این مجموعه محسوب نمود. خصوصیت لایه های رنگ با سطح بسیار متفاوت است ولی در هر صورت خصوصیات کلی و کیفیت این لایه ها در مجموع خاصیت سیستم رنگ را تشکیل می دهد.

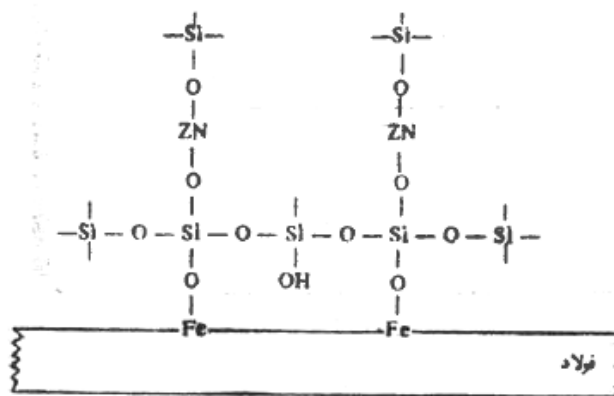
در چسبندگی بین پوشش های آلی و سطوح فولادی اصولاً سه نوع پیوند دخالت دارند:

پیوندهای شیمیایی ، پیوندهای قطبی و پیوندهای مکانیکی.

بیشتر اوقات حداقل دو نوع پیوند در یک پوشش وجود داشته و اتصال پوشش به سطح را عملی می سازد.

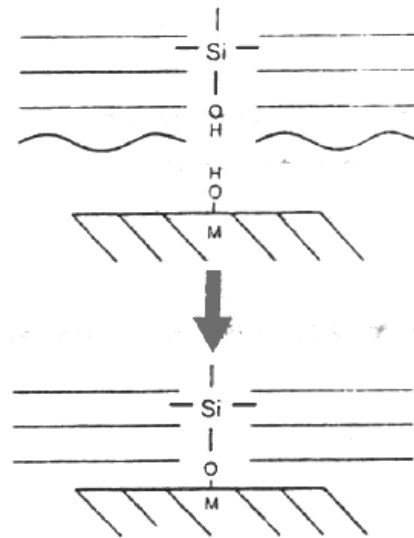
۳-۷-۱- پیوندهای شیمیایی

بدون شک پیوندهای شیمیایی موثرترین پیوندها هستند. این پیوند زمانی تشکیل می شود که رزین و سطح فلز با هم ترکیب شوند و پیوند شیمیایی ایجاد کنند. تحت این شرایط چسبندگی پوشش بسیار عالی خواهد بود. یکی از متداولترین پیوندهای شیمیایی، پیوند بین پرایمر زینک ریج استیل سیلیکات بر فولاد است. اتم Si در زنجیره این رزین با اتصال پلی اکسیژنی -O- با اتم Fe در فولاد واکنش می دهد.



شکل ۲۱ [۴]

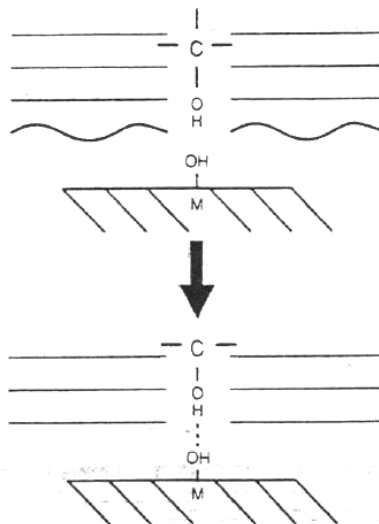
مثال دیگر واکنش شیمیایی بین گروه -OH در زنجیره اپوکسی و اتم Fe در فولاد است. پیوند شیمیایی بین رنگ و فلز که به نام اتصال نوع اول معروف است یک پیوند کووالانسی است که بر پایه تبادل الکترونیکی بین اتم ها استوار است و نیروی جاذبه در این نوع پیوندها ۱۰ تا ۱۰۰ کیلوکالری بر مول است. این پیوندها همانند فلز اتم ها را در فاصله یک الی دو انگستروم نسبت به هم نگه می دارد. بدیهی است وجود مواد خارجی و آلوده کننده فاصله بین پوشش و سطح فلز را زیاد می کند و امکان انجام پیوندهای کووالانسی نخواهد بود.



شکل ۲۲ [۴]

۳-۷-۲- پیوندهای قطبی

چسبندگی بیشتر پوشش های آلی به وسیله پیوندهای قطبی صورت می گیرد. نیروی جاذبه پیوندهای قطبی تقریباً بین دو الی ۳ کیلوکالری بر مول است. در واقع پیوندهای قطبی زمانی ایجاد می شوند که پوشش آلی و سطح فلز به اندازه کافی هر یکدیگر نزدیک باشند به عبارت دیگر نیروی جاذبه این پیوند با افزایش فاصله بین اتمها طبق رابطه $S \approx R^6$ افزایش می یابد که در این رابطه R فاصله بین اتم ها است. اما این رابطه برقرار نیست مگر آنکه R کوچکتر از ۵ آنگستروم باشد. بنابراین هرچه سطح فلز تمیزتر باشد فاصله مولکولهای رزین و اتم های آهن به ۵ آنگستروم نزدیکتر می شود و جاذبه بیشتری خواهند داشت.



شکل ۲۳ [۴]

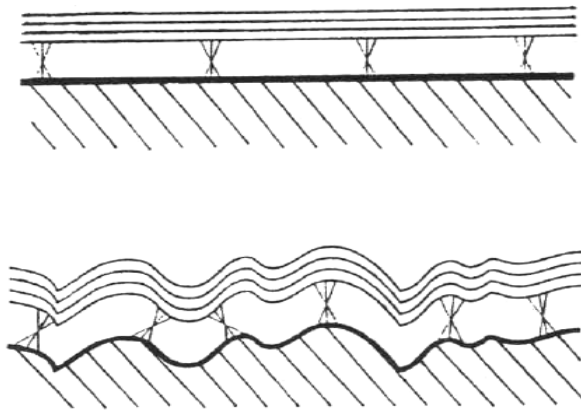
پیوندهای هیدروژنی و اندروالسی در این محدوده قرار می گیرند و جزء پیوندهای قطبی (اتصال نوع دوم) محسوب می شوند. این نیرو همان است که اجازه نمی دهد دو سطح شیشه ای روی هم کشیده شود.

نمونه این پیوندها را می توان توسط رزین های وینیلی به خوبی نشان داد. رزین های کوپلیمر وینیل کلراید - وینیل استات به فلز چسبندگی کمی داشته و به صورت یک پوشش موقت بدون چسبندگی کافی روی سطح قرار می گیرند اما با افزایش مقدار کمی اسید مالئیک اشباع نشده به واکنش پلیمریزاسوین، گروه های اسیدی قطبی به وجود می آیند و چسبندگی بسیار خوبی را سبب می شوند. چسبندگی رزین های اپوکسی نیز می تواند حاصل جاذبه قطبی گروه های هیدروکسیل باشد.

ذرات گرد و غبار و یا زنگ زدگی های روی سطح و مولکول های چربی (حتی چربی دست) قشری را روی سطح به وجود می آورند که بیش از ۵ آنگستروم ضخامت دارد و به همین سبب که مقدار قابل توجهی در کاهش چسبندگی رنگ به سطح فولاد نقش دارند.

۳-۷-۳- پیوندهای مکانیکی

پیوندهای مکانیکی یا به عبارت دیگر پیوندهای حاصل از ناهمواری های سطح نیز می توانند در چسبندگی دخالت داشته باشد. استفاده از بعضی از روش های آماده سازی از جمله پاشیدن ساینده به سطح یا سندبلاست ایجاد ناهمواری روی سطح فلز را به دنبال دارد که در اصطلاح (پروفیل سطح) نامیده می شود. با ایجاد پروفایل روی سطح، سطح تماس واقعی و به طبع آن تعداد نقاط فعالی قطبی و احتمال ایجاد پیوند افزایش می یابد. به عبارت دیگر با ایجاد ناهمواری عملاً در هم رفتگی پوشش و فلز بیشتر شده و سبب افزایش نیروهای جاذبه گروههای قطبی در نتیجه افزایش چسبندگی می شود. بنابراین هرچه عمق پروفایل و ناهمواری سطح بیشتر باشد چسبندگی بیشتر خواهد بود. به همین جهت به منظور آماده سازی سطح بیشتر از روش هایی استفاده می کنند که بتواند پروفایل ایجاد کند.



شکل ۲۴ [۴]

۳-۸- انواع خوردگی زیر پوشش

خوردگی فولاد و فولاد زنگ نزن در زیر پوشش در سالهای اخیر قابل توجه شده است. این پدیده در صنایع نفت و گاز و صنایع نفت و گاز و صنایع شیمیایی اهمیت پیدا کرده است.

خوردگی در زیر پوشش می‌تواند از پوشش یا بواسطه کاربرد نادرست عملیات پوسس دهی ناشی شود. این مشکل معمولاً از طریق نفوذ آب به داخل پوشش ایجاد می‌شود. پوشش مانند یک اسفنج آب را در تماس با سطح فلز قرار می‌دهد. آب می‌تواند از باران، نشتی آب ناشی از طغیان، آب شستشو یا نهمزدگی ناشی از سیکل دمایی یا عملیات درجه حرارت پائین نظیر سرماسازی ناشی شود. در این مسئله هفت متغیر کنترل شناخته شده است:

- (۱) طراحی دستگاهها
- (۲) درجه حرارت عملیاتی
- (۳) انتخاب عایق
- (۴) رنگ کاری و پوشش فلز
- (۵) هوابندها
- (۶) آب و هوای محیط و
- (۷) برنامه‌های تعمیرات و نگهداری

سه نوع خوردگی در زیر پوشش وجود دارد: خوردگی اسیدی یا قلیایی، خوردگی کلریدی و خوردگی گالوانیکی. محدوده درجه حرارت این نوع خوردگی از صفر تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد برای فولاد و از ۶۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد برای فولاد زنگ نزن می‌باشد. در فولاد کربنی خوردگی به شکل از دست دادن موضعی یا یکنواخت ضخامت دیواره ظاهر می‌شود. در فولاد زنگ نزن این خوردگی معمولاً به شکل حفره‌دار شدن و ترک خوردگی تنشی می‌باشد.

جمع بندی و نتیجه گیری

خواص پوشش از نقطه نظر ژئولوژی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد که بخشی از آن مربوط به مرحله ساخت رنگ شامل تنش سطحی، میزان جذب سطحی، ویسکوزیته، قابلیت نگهداری در انبار و عدم ته‌نشینی رنگ بوده و بخش دیگر مربوط به مرحله اعمال و پس از اعمال رنگ است که شامل یکنواختی سطح، براقیت، چسبندگی، ضخامت یکنواخت و عدم

شده رنگ می‌باشد. همچنین نوع عملیات انجام گرفته بر روی سطح می‌تواند در کیفیت سطحی پوشش تأثیر به‌سزایی داشته باشد. به طوری که یکی از علل عدم چسبندگی پوشش می‌تواند ناشی از عدم کیفیت سطح فلز و کثیفی سطح می‌باشد. خوردگی‌هایی که در سیستم‌های حاوی پوشش رخ می‌دهد اکثراً زیر لایه بوده و در زمانی که پوشش رطوبت محیط را از خود عبور دهد در زیر لایه پوشش خوردگی به وجود آمده و سبب تخریب رنگ می‌گردد.

پرسش و پاسخ

پرسش:

خصوصیات پوشش را از دیدگاه رئولوژیک رنگ بیان نمایید.

پاسخ:

بطور کلی خصوصیات پوشش از دیدگاه رئولوژیک رنگ به دو دسته تقسیم می‌شود دسته اول قابلیت رنگ و زمان ساخت و اعمال آن از جمله سیالیت، کشش سطحی، قابلیت جذب هموزن و یکنواخت بدون و پایداری آن در اثر عوامل محیطی از جمله دما و رطوبت دسته دوم قابلیت‌های از رنگ است که پس از اعمال رنگ مورد بررسی قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به یکنواختی سطح، براقیت، چسبندگی، ضخامت، عدم شده و ... اشاره نمود.

پرسش:

پروفایل سطحی چه نقشی در کیفیت پوشش اعمال شده دارد.

پاسخ:

پروفایل سطحی عامل جهت چسبندگی بهتر رنگ بر روی سطح فلز می‌باشد هرچه پروفایل سطح بیشتر باشد میزان باند مکانیکی بین رنگ و فلز بهتر انجام می‌گیرد و در نتیجه چسبندگی رنگ افزایش می‌یابد البته این میزان حد مشخص دارد در صورتی که پروفایل سطحی بیش از حد باشد نقاط قله بر روی سطح رنگ شامل فلز مربوطه بیرون زده می‌شود و سبب ایجاد ارتباط مستقیم فلز با محیط خواهد شد که منجر به ایجاد خوردگی و در نتیجه

تخریب رنگ می‌شود در صورتی که میزان پروفایل ایجاد شده کمتر از حد مجاز باشد با کاهش چسبندگی مواجه می‌شویم.

پرسش:

مقاومت در برابر رطوبت در پوششها چه نقشی در تخریب پوشش دارد.

پاسخ:

رطوبت عامل اصلی خوردگی در محیط می‌باشد در صورتی که میزان جذب رطوبت پوشش افزایش یابد و پوشش مقاومت مناسبی در برابر نفوذ رطوبت نداشته باشد، سبب ارتباط بین فلز با رطوبت شده و رطوبت موجود در زیر لایه رنگ سبب خوردگی فلز در زیر لایه رنگ می‌شود این موضوع در ابتدا قابل دیدن نیست چرا که منافذ روی رنگ با چشم غیر مسلح قابل شناسایی نمی‌باشند. به مرور زمان سبب جدایش رنگ از روی فلز و در نهایت طبله شدن رنگ می‌شود که در این حالت با کوچکترین تماسی ممکن است رنگ شکاف خورده و خوردگی نمایان گردد.

پرسش:

در صورت افزایش ضخامت رنگ جهت بررسی وضعیت چسبندگی از چه متدی استفاده می‌شود.

پاسخ:

چسبندگی رنگ و ارزیابی استاندارد ASTM D3359 انجام می‌پذیرد و در این استاندارد روشهای مختلفی با توجه به ضخامت رنگ جهت اندازه گیری چسبندگی رنگ ارائه شده است.

در این استاندارد چنانچه ضخامت رنگ تا ۷۵ میکرون باشد از روش مدل شبکه ای با فاصله یک میلی متر و در صورتی ضخامت تا ۱۲۵ میکرون باشد از همان روش با فاصله ۲ میلی متر استفاده می‌شود در صورتی که ضخامت رنگ مذکور بالای ۱۲۵ میکرون باشد می‌توان از روش X Cut و یا Pull off Test استفاده نمود.

همچنین معیارهای پذیرش یا عدم پذیرش نیز در این استاندارد آورده شده است.

فصل چهارم

انتخاب پوششی

۴-۱- محیط پوشش

با بررسی محیطی که پوشش در آن قرار می‌گیرد می‌توان نوع پوشش مناسب آن محیط را انتخاب نمود. به طور مثال پوششهایی که برای حفاظت سطوح فلزی در برابر خوردگی بکار می‌روند پوششهای ضد خوردگی نامیده می‌شوند. این نوع پوششها دارای مقاومت بالا در برابر واکنشهای شیمیایی و الکتروشیمیایی می‌باشند و در شرایط آب و هوایی آلوده و حتی محیط‌های اسیدی نیز مقاوم هستند.

پوشش‌ها برای جلوگیری از برخورد مستقیم مواد شیمیایی با بدنه تجهیز قرار می‌گیرند. و اجازه عبور مایع و گاز را نمی‌دهند. و به عنوان آخرین لایه مقاوم عمل می‌کند و باید به صورتی عمل کند که مواد خورنده به بدنه و سطح اصلی نرسند. زمانی که روی سطح سوراخ‌های ریز وجود داشته باشد یا بر اثر تنشهای حرارتی و غیره دچار ترک و از بین رفتگی اتصال بین آنها شود این لایه باید به عنوان آخرین محافظ کار خود را انجام دهد.

انتخاب نوع پوشش بستگی به مواد شیمیایی و نوع نکه دارنده‌ها دارد. پوشش باید مقاوم به موادی که حمل می‌شود باشد. پوشش مناسب برای هر ماده وجود دارد. هر پوشش برای سیال خاص باید مورد استفاده قرار گیرد. لاستیک و مواد مرتجع کاربرد فراوانی در برج دارند. تمام این پوشش‌ها نفوذ ناپذیر، ارتجاعی و نصب آسانی دارند. در ضخامتهای ۳/۳۲ تا ۳/۸ اینچ و دمای ۱۶۰ درجه فارنهایت کاربرد دارند. برای نصب این پوشش‌ها سطح باید عاری از کثیفی و زنگن باشد و زبری مشخص داشته باشد که معمولاً سطح را شن پاشی می‌کنند. سطح پوشش نصب شده باید عاری از سوراخ و ترک باشد که این کار با عملیات تست جرقه انجام می‌شود.

۴-۲- طول عمر

طول عمر مفید یک پوشش به وسیله رنگ آمیز شدن بر روی تجهیزات در داخل سرویس مشخص می‌گردد. شرایط محیطی در زمانی که در سرویس بودن تجهیزات مشخص

می گردد. بسته به کیفیت پوشش این ارزیابی ممکن است سال ها طول بکشد به هر حال کوتاهترین روش می باشد.

روش های تسریع شده آزمایشگاه وجود دارند که روش تجزیه کردن در طول جنگ جهانی دوم به کار رفت. این روش شامل شرایط جوی نمکی در مورد تجهیزات نیروی دریایی می شد. به هر حال شرایط تسریع شده ساخته می شوند اما نتایج با آزمایشات در طول زمان مطابقت کامل ندارند. بنابراین روش آزمایش پنل بهترین ارزیابی از کیفیت پوشش را ارائه می نماید. این روش در آمریکا به وسیله موسسه M/S. Kenneth Tator صورت گرفت و امروزه به روش K.T.A شهرت یافته است.

روش K.T.A

مطالعه تطبیقی برای انتخاب پوشش به وسیله پنل آزمایش K.T.A صورت می گیرد که دارای ابعاد چهار در شش اینچ از صفحه فولادی با ضخامت معمولی می باشد. این پنل دارای ۱۰ نوع از سطح که به طور مرسوم در سطوح فولادی یافت می شود است که عبارتند از :

- ۱- لبه ها
- ۲- برجستگی ها
- ۳- جوش ها
- ۴- خراش ها
- ۵- ضربه ها
- ۶- گوشه های داخلی
- ۷- شکافها
- ۸- پاکت ها
- ۹- چاله ها
- ۱۰- سطح صاف

خراش T شکل باید به وسیله ضربه زدن بعد از رنگ آمیزی و خشک شدن پوشش ایجاد و آزمایش گردد. رنگ آمیزی باید بعد از تمیزکاری صفحه آزمایش صورت گیرد که می توان از سندبلاست استفاده کرد. پوشش باید یکدست و با ضخامت مطلوب باشد. خود شکل گویا می باشد قطعه U شکل باید طبق شکل به صفحه جوش داده شود.

پنلها بعد از رنگ آمیزی باید بدون حفاظ در معرض شرایط خوردگی قرار گیرند . هیچ شرایط مصنوعی در شرایط محیطی یا طراحی نباید وجود داشته باشد. نامنظمی سطح و شرایط محیطی باید نظیر شرایط واحد و محیط اطراف آن باشد. تنها تفاوت توجه به نقاط

اولیه تخریب رنگ بر روی پنل بر طبق تناوی آن بر روی تجهیزات و سازه های واحد می باشد.

این تست هم چنین نسبت خطاها بر روی ۱۰ سطح غیر منظم رنگ آمیزی شده را مشخص می کند.

اگرچه تمامی رنگ از این الگو پیروی نمی کنند. اما دیده می شود که لبه ها و برجستگیها ابتدا دچار تخریب می شوند سپس جوش ها و خراش ها و بعد نقاط ضربه پذیر. به طور معمول پاکت ها، گوشه های داخلی و شکاف ها همزمان دچار تخریب می شوند و چاله ها در آخر دچار این تخریب می شوند.

زمان مورد نیاز برای کامل شدن این تخریب پوشش اغلب مورد توجه تحقیقاتی واقع می شود. زمان مورد نیاز عبارت است زمان بهینه برای تعمیرات که به عنوان زمان تخریب ۵ نقطه یعنی لبه ها، برجستگی ها و جوش ها، خراش ها و نقاط اثر ضربه می باشد. اما اغلب قسمت سطح پوشش داده شده نظیر سطوح، گوشه های داخلی و غیر هنوز دارای پوشش مناسب می باشند.

الگو کل تخریب پوشش ها همچنین می تواند مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

۱- سیستم رنگ آمیزی نامناسب در یک دوره چهار تا هشت هفته تخریب می شود.

۲- تعداد کمی از سیستم های پوششی مناسب تا ۲۵ هفته و بدون هیچ گونه نشانه ای از تخریب در شرایط محیطی دوام می آورند.

۳- انواع و تناوب تخریب های پوشش که بر روی پنل ایجاد می شود یک نمونه تسریع شده از انواع و تناوب تخریب های واقعی در واحد می باشد.

تخمین طول عمر در شرایط کارکرد واحد به وسیله تعیین نسبت زمان تخریب در محیط مناسب پنل به زمان اولین تخریب در شرایط واحد صورت می گیرد. یک دوره شش ماهه برای ارزیابی طول عمر رنگ کفایت می کند.

با تحت نظر گرفتن پنلی که پوشش محافظ بر روی آن باقیمانده و پنلی که اولین تخریب بر روی آن صورت گرفته است هر پوشش را می توان از نظر نفوذ رطوبت، دوام دسته بندی کرد. این مشخصات اغلب در بهبود ترکیب با سیستم ها به کار می روند.

پنل های K.T.A به طور موفقی در کارخانجات کود شیمیایی در **Tennessvally** استفاده شده اند. یک فرم نمونه برای تخمین هزینه محافظت سطح عبارت است از:

$$C=P+L+R (P+Lr)$$

R = تعداد دفعاتی که سطح در طی ه سال رنگ آمیزی می شود

C = هزینه ۱۰ سال محافظت به ازاء فوت مربع

P = هزینه کل رنگ آمیزی (پوشش پرایمری و نهایی) برای یک فوت مربع

L = هزینه کل کارگری به ازاء یک فوت مربع

P = هزینه رنگ برای رنگ آمیزی مجدد یک فوت مربع

Lr = هزینه کارگری برای رنگ آمیزی مجدد یک فوت مربع

$$P = \frac{\text{costc / gallon}}{\text{Coveragesq}} \text{ foot / gallon}$$

میزان پوشش، یک عامل تئوری است که از مباحث اولیه مشخص می شود. نتایج به دست آمده برای هر کارخانه به علت های زیر خاص می باشد.

۱- این نتایج فقط برای هر کارخانه به طور خاص و در شرایطی که آزمایش صورت گرفته است کاربرد دارد زیرا ممکن است شرایط محیطی تغییر کند.

۲- برای هر سازنده ای پذیرفته نمی باشد که نتایج آزمایش یک واحد را برای انتخاب رنگ جهت سایر واحدها مورد توجه قرار دهد.

به هر حال پنل K.T.A امکان یک ارزیابی مطمئن و سیستم رنگ آمیزی مناسب برای نگهداشت واحد در مدت زمان کوتاه و هزینه کم را محیا می سازد.

انتخاب یک پوشش فقط براساس هزینه آن به ازاء هرگالن عاقلانه نمی باشد، فلسفه های موجود در خصوص انتخاب عبار تند از:

- ۱- پوشش ممکن است نامناسب و در نتیجه سریع تخریب شود.
 - ۲- ظرفیت قابل پوشش ممکن با توجه به هزینه آن کامل نشود و طول عمر پوشش بر روی تجهیزات ممکن است با توجه هزینه آن ها برآورد نشود.
 - ۳- رنگ آمیزی مجدد ممکن است ارزان تر یا گرانتر انجام شود.
- بنابراین انتخاب مناسب یک سیستم پوشش از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است.

۴-۳- هزینه

یک معیار مهم جهت مقایسه و انتخاب روش مطلوب از بین روشهایی که همگی خواسته های ما را از سطح برآورده می کنند، بررسی اقتصادی و تعیین هزینه می باشد. بطور کلی تحلیل اقتصادی به منظور تصمیم گیری جز جدایی ناپذیر طرح های مهندسی می باشد و هنگامی که تولید مقدار ثابتی از محصولات یا خدمات مورد نظر باشد، معیار مناسب در این حالت، حداقل رسانیدن هزینه است.

هزینه باید بعنوان وزنه ای در برابر کیفیت مورد نیاز در عملیات سطحی به تعادل برسد. یک عملیات سطحی با هزینه پایین که به خواص مطلوب نرسد بعنوان یک هزینه هدر رفته محسوب می شود از طرفی آنالیز اقتصادی نباید تنها بر پایه هزینه عملیات صورت گیرد. هنگامی که مقایسه ای بین روشهای مختلف عملیات سطحی صورت می گیرد، میزان هزینه نسبت به طول عمر اهمیت می یابد.

هزینه بازای طول عمر سیستمهای پوششی شامل کلیه هزینه ها در طول مدت سرویس دهی پوشش می باشد. این هزینه ها معمولاً شامل هزینه عملیات اولیه، ترمیم، نگهداری، پوشش مجدد و فاکتورهای اقتصادی دیگر می گردد.

هر چه مقدار نرخ بهره بیشتر باشد، هزینه اولیه کمتر، بیشتر مورد توجه قرار می گیرد. اما نرخ تورم بالا باعث می گردد که هزینه های نگهداری بعدی افزایش نسبی پیدا کنند. هزینه نگهداری پوشش ها در کارگاه معمولاً بین ۳ تا ۱۰ برابر هزینه اولیه می باشد. این اختلاف زیاد بدلیل تاثیر پارامترهای متنوع می باشد. هزینه نگهداری می تواند شامل موارد ذیل گردد:

- هزینه جابجایی و حمل و نقل تجهیزات و نفرات
- هزینه ایجاد دسترسی (مانند داربست بندی و ...)
- هزینه مواد
- هزینه خدمات
- هزینه مدیریت محیطی (مانند کنترل آلودگی، محیط زیست و ...)
- هزینه نفرات
- هزینه ناشی از توقف تولید

علاوه بر موارد مطرح شده، هنگام استفاده از تکنیک هزینه طول عمر، تعیین میزان قابلیت اعتماد کارآیی پوشش بسیار مهم است چرا که زوال زودرس پوشش می تواند با کاهش طول عمر پیش بینی شده و افزایش فرآیندهای تعمیراتی و ترمیمی میزان هزینه را بمقدار بسیار زیادی تغییر دهد.

۴-۴- نگهداری و تعمیرات

نگهداری و تعمیرات پوشش تجهیزات از مسائل مهم در هر صنعتی می باشد. اصولاً راهبردهای تعمیر و نگهداری دارای چهار نوع کلی هستند که عبارتند از: اصلاحی، پیشگیرانه، پیشگویانه یا مبتنی بر شرایط و پایایی محور. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در سالهای اخیر بیشترین رشد را داشته است. در عمل همه این راهبردها در سیستمهای تعمیر و نگهداری مهندسی مورد استفاده قرار می گیرند. چالش موجود، بهینه سازی تعادل میان راهبردهای انتخابی برای سودآوری حداکثر می باشد. به طور کلی هنگامی که نیازهای تعمیر و نگهداری زیاد باشد، روش اصلاحی پرهزینه ترین انتخاب می باشد.

نگهداری و تعمیرات در پوششها به دو بخش تقسیم می شود: نگهداری متریکال پوشش و تعمیرات پوشش تجهیزات پوشش داده شده.

با استفاده و بکار گیری دستورالعملهای سازندگان پوشش می توان به اصول و شرایط نگهداری پوششها پی برد. این دستورالعملها اطلاعات جامعی را در خصوص نحوه نگهداری پوششها شامل: دما و رطوبت مناسب، نحوه انبارداری، تاریخ تولید، تاریخ انقضاء و غیره را به کاربران ارائه می دهد.

تمامی تاسیسات صنعتی جهت حفاظت نیاز به پوشش و یا رنگ آمیزی دارند و طبیعی است که پس از مدتی، که عمر این مدت در ایران در مقایسه با کشور های صنعتی بسیار اندک است، پوشش اعمال شده از بین می رود و باید جهت نگهداری آن واحد، تعمیرات و رنگ آمیزی مجدد انجام گیرد.

اصولاً میزان و مقدار تخریب پوششها بستگی به روش آماده سازی اولیه سطوح، نوع پوشش، روش اعمال و شرایط جوی منطقه دارد. در یک برنامه ریزی تعمیراتی خوب می بایست دو فاکتور حفاظت از خوردگی و نمای ظاهری مناسب را در نظر گرفت. بازرسیهای منظم همیشه از خطرات بزرگ جلوگیری می کند و تعمیرات ساده جلوی هزینه های زیاد را می گیرد.

جمع بندی و نتیجه گیری

جهت انتخاب پوشش مناسب در ابتدا می بایست شناخت کافی در خصوص نوع رنگها و پوششهای موجود در صنعت به دست آورد که این امر نیازمند تحقیق و بررسی لازم دارد همچنین با شناخت انواع رنگهای موجود و بررسی خواص آنها می توان به نحوه عملکرد هر پوشش را در محیطهای خورنده مختلف پی برد.

همچنین عمر مفید یک پوشش رابطه مستقیم در هزینه های جاری یک واحد صنعتی دارد چرا که هرچه عمر مفید پوشش بیشتر باشد از نظر هزینه های جانبی مربوط به تعمیرات و تعویض کاسته می شود.

پرسش و پاسخ

پرسش:

در انتخاب نوع پوشش مصرفی که در یک تجهیز چه پارامترهایی می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

پاسخ:

انتخاب نوع پوشش یکی از دغدغه‌های طراحان در صنایع مختلف می‌باشد. از آنجایی که شرایط کارکرد تجهیز و شرایط محیطی متفاوت می‌باشد از آن رو انتخاب پوشش در شرایط محیطی هر کارکرد مربوطه به آن بسیار مشکل می‌باشد.

جهت انتخاب پوشش مناسب اطلاعاتی می‌بایست از طرف طراح مورد بررسی قرار گیرد که از آن جمله می‌توان با سرویس کارکرد تجهیز، دمای کارکرد، فشار کارکرد، نوع پروسه تولید و ارتباط تجهیز با آن، شرایط آب و هوای منطقه، شرایط محیطی و ... همچنین طراح می‌بایست اطلاعات جامعی در خصوص انواع رنگها و مشخصات فنی رنگها از نقطه نظر مقاومت شیمیایی، مقاومت فیزیکی، مقاومت در برابر دما و رطوبت، جذب آب، نحوه خشک شدن رنگ و ... داشته باشد.

همچنین موارد اقتصادی و هزینه‌های مربوط به خرید و اجراء پوشش نیز می‌بایست لحاظ گردد.

فصل پنجم

انواع پوشش

۵-۱- پوششهای فلزی

پوششهای فلزی از نوع فدا شونده بوده و کاربرد وسیعی در صنعت دارند. در انتخاب پوششهای فلزی باید دقت کرد که فلز پوشش از پتانسیل منفی تری نسبت به فلز پایه برخوردار باشد. چرا که با داشتن پتانسیل منفی تر پوشش نقش آند را بازی کرده و از فلز پایه که کاتد است محافظت می کند و این موضوع زمانی آشکار می گردد که قسمتی از پوشش از بین رفته باشد.

بطور کلی هزینه استفاده از پوششهای فلزی ۲ تا ۳ برابر پوششهای آلی می باشد. جدول ۸ میزان سرعت خوردگی فولاد بدون پوشش و فولاد پوشش داده شده با پوششهای فلزی را نشان می دهد.

جدول ۸- مقایسه خوردگی اتمسفری فولاد و فولاد با پوشش در محیط اتمسفر [۹]

Atmospheric main parameters					Others sources of pollution
Annual average Temperature (°C)	Annual average Relative Humidity (%)	Precipitation (mm/yr)	Solar radiation (hr/yr)	Annual average concentration of SO ₂ (mg m ⁻³ /yr)	
16.4	70	704	3032	0.075	Fertilizers plant, oils plant, foundry plant, North Tague
Corrosion rate (g dm ⁻² /yr)				Location	
Steel	Cooper	Aluminium	Zinc	Latitude	Longitude
20.4	1.08	1.08	0.91	38° 41'N	9° 03'W

از آنجایی که این پوششها می‌بایستی بعنوان آندهای فداشونده عمل کنند بنظر می‌رسد دو فلز روی و آلومینیم جهت این امر مناسب باشند. فلز روی در صنعت از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. این فلز بدلیل نقطه ذوب پایین و سهولت در عملیات پوشش دهی کاربرد وسیعی را دارا می‌باشد. هرچند میزان خوردگی روی با افزایش میزان رطوبت بیشتر می‌شود ولی پوشش مناسبی جهت حفاظت فولاد می‌باشد. جدول ۹ میزان خوردگی فولاد و فلز روی را در محیط‌های مختلف اتمسفری نشان می‌دهد.

جدول ۹- میزان سرعت خوردگی روی و آهن در محیط‌های مختلف [۱۰]

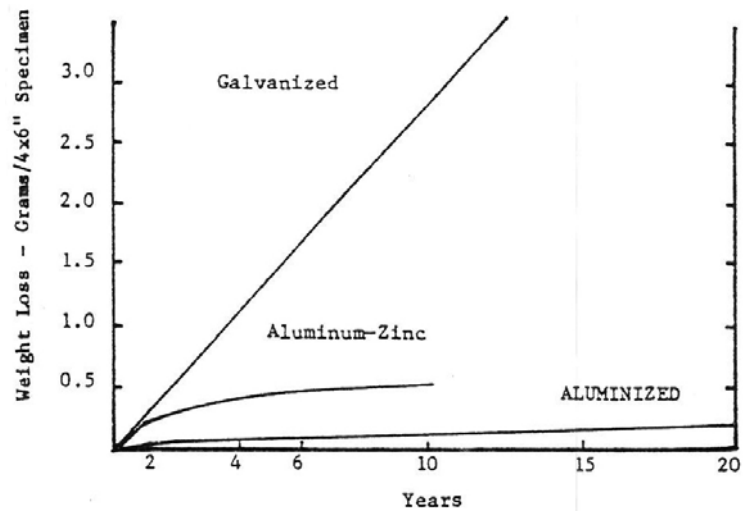
Location	Type	Weight ⁽²⁾ Loss, g		Steel: Zinc Loss Ratio
		Steel	Zinc	
Phoenix, AZ	Desert	2.2	0.13	17:1
State College, PA	Rural	11.2	0.51	22:1
Monroeville, PA	Semi-Industrial	23.8	0.84	28:1
East Chicago, IN	Industrial	41.1	0.79	52:1
Kure Beach, NC	Marine	71.0	0.89	80:1

(1) From *Metal Corrosion in the Atmosphere*, H. Guttman, ASTM STP 435, Copyright, American Society for Testing and Materials (ASTM), 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103. Reprinted with permission.

(2) Weight loss of 4 in. by 6 in. plate in a 2-year exposure.

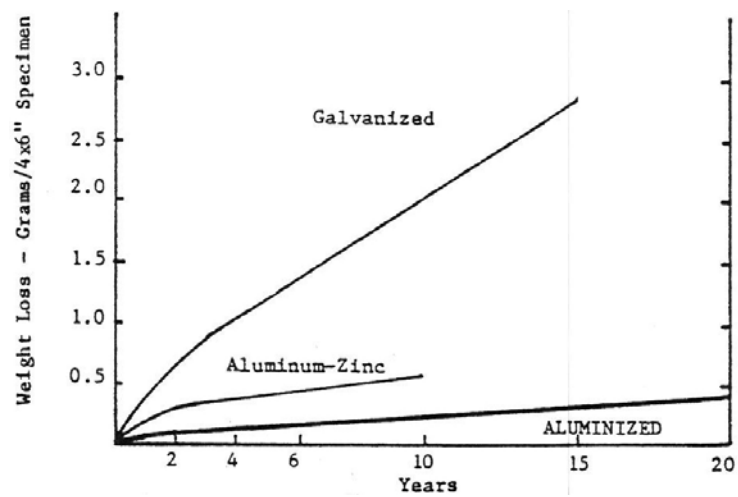
در پوششهای فلزی از آلیاژهای دو فلز آلومینیم و روی نیز می‌توان استفاده کرد. که بطور مثال 55% Al - 45% Zn که با نام گالوالوم^۱ معروف می‌باشد. مطابق بررسی‌های انجام گرفته میزان مقاومت به خوردگی اتمسفری پوشش گالوانیزه نسبت به پوششهای آلیاژی Al-Zn و پوششهای آلومینیمی پایین‌تر می‌باشد. این موضوع در شکل‌های ۲۵ و ۲۶ آورده شده است.

1- Galvallum



شکل ۲۵- میزان کاهش وزن با زمان پوششهای مختلف در اتمسفر منطقه

[۱۱] Middletown



شکل ۲۶- میزان کاهش وزن با زمان پوششهای مختلف در اتمسفر منطقه

[۱۱] Kure beach

۱- پوششهای کادمیم^۱

این پوششها بیشتر در ساخت پیچ و مهره ها استفاده می شود. این پوششها همانند پوششهای گالوانیزه عمل نمی کند و به خاطر همین کوچکترین عیب بوجود آمده در این نوع پوششها سبب تخریب پوشش می شود.

پوششهای کادمیم مقاومت خیلی زیادی در برابر پاشش نمک نسبت به پوششهای روی دارند و همچنین مقاومت به خوردگی بالایی در محیط های اتمسفری از خود نشان می دهند. این پوششها در برابر محیط های حاوی آمونیاک مقاوم نبوده و همچنین در صنایع غذایی مورد مصرف قرار نمی گیرند چرا که نمکهای کادمیم برای بدن انسان مسمومیت تولید می کند.

۲- پوششهای فلزی نجیب^۲

در اتمسفر طبیعی فلزات نجیب مانند کرم و نیکل و آلیاژهای آنها پوششهای مناسبی جهت جلوگیری از خوردگی اتمسفری بحساب می آیند. این پوششها با تشکیل فیلم و یا لایه رویین بر روی فولاد از خوردگی فولاد جلوگیری می کنند. این پوششها شامل یک پوشش نهایی ضخیم از کرم و سپس پوششی از نیکل، مقاومت به خوردگی فولاد را در اتمسفرهای طبیعی تا مقدار قابل توجه ای بالا می برد.

۵-۱-۱- روشهای اعمال پوششهای فلزی

۱- روش پاشش فلزی

در این روش فلز بصورت مذاب بر روی سطح پاشیده می شود و معمولاً از فلزاتی استفاده می شود که نقطه ذوب پایین دارند (مانند : مس، نقره، آلومینیم، روی و...) در این روش پس از آماده سازی به دو روش فلز مذاب پاشیده می شود. پودر فلز مورد نظر توسط یک پمپ وارد پیسوله می گردد. در این قسمت فلز توسط حرارت ایجاد شده در نازل مربوطه ذوب شده و به سطح فلز پایه پاشیده می شود.

1- Cadmium Coating
2- Noble Metal Coating

در روش دوم از مفتول و یا سیم به جای پودر فلز استفاده می شود و مفتول با عبور از منطقه احتراق نازل و توسط فشار هوا، ابتدا ذوب شده و سپس به سطح فلز پایه می چسبد.

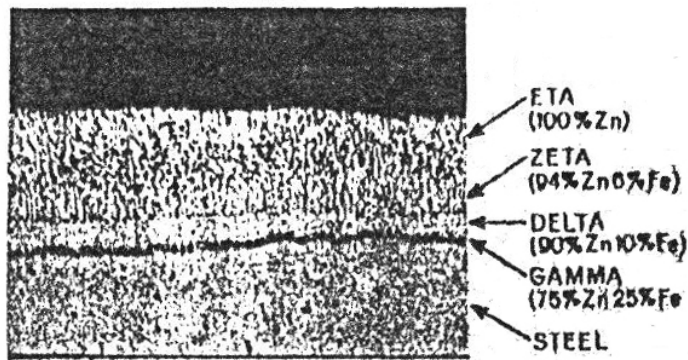
در این روش می توان از آلیاژهای مختلف فلز نیز استفاده کرد. بطور مثال از آلیاژ Al-Zn ، در روش اول از ترکیب پودرهای آلومینیم و روی و در روش دوم از مفتولهای آلیاژی جهت تولید پوشش مناسب می توان استفاده نمود. کیفیت پوششهای تشکیل شده در این روش به دما، میزان دبی گاز های قابل احتراق، فاصله نازل تا سطح قطعه و سرعت حرکت دست بستگی دارد.

۲- روش غوطه وری^۱

در این روش از فلزاتی که نقطه ذوب پایین دارند استفاده می گردد (مانند روی، قلع، مس و ...). با مذاب کردن این فلزات در حوضچه های مخصوص و غوطه ور کردن فولاد در آن پوشش بر روی سطح تشکیل می گردد. ضخامت پوشش بوجود آمده بر روی سطح به میزان دمای مذاب، نحوه ورود و خروج قطعه داخل مذاب، زمان نگهداری در داخل مذاب و نحوه سرد کردن بستگی دارد. اکثراً در روش غوطه وری از فلز روی جهت ایجاد پوشش مربوطه استفاده می کنند. فلز روی بدلیل نقطه ذوب پایین نسبت به دیگر فلزات و نقش محافظتی مناسب (بدلیل داشتن پتانسیل منفی تر از فولاد) کاربرد وسیعی در این روش دارد.

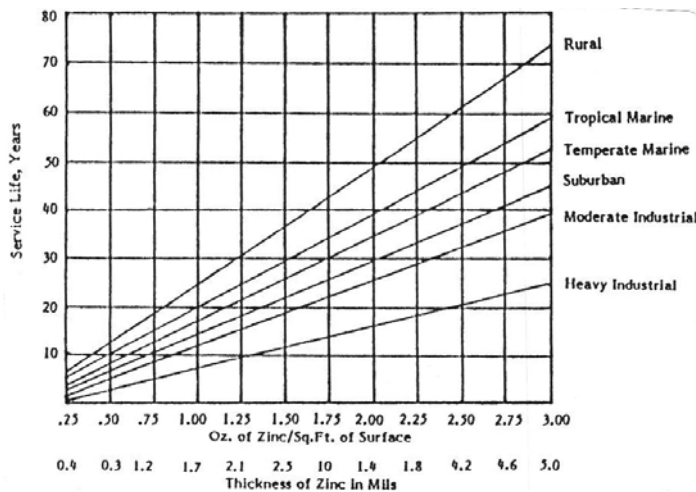
پوشش روی تشکیل شده بر روی فولاد مطابق شکل ۲۷ دارای فازهای مختلف می باشد. فازهای بوجود آمده از سطح فلز پایه بسمت بالا بترتیب فاز (گاما) با ترکیب 75% Zn , 25% Fe ، فاز (دلتا) با ترکیب 90% Zn , 10% Fe ، فاز زتا با ترکیب 94% Zn , 6% Fe و لایه آخر (اتا) با ترکیب 100% Zn می باشد. فازهای فوق یک ترکیب بین فلزی بین آهن و روی بوده و نتیجه نفوذ فلز روی بر فلز پایه (فولاد) می باشند.

1- Hot - Dipping



شکل ۲۷- ساختار میکروسکوپی پوشش گالوانیزه با روش غوطه وری [۱۰]

از آنجایی که این ترکیب بین فلزی از نظر خواص مکانیکی مناسب نبوده و ترد و شکننده است با افزایش این لایه خواص مکانیکی پوشش کاهش می‌یابد. از این رو در زمان نگهداری قطعه در داخل مذاب روی و نحوه سرد کردن می‌بایست کنترل‌های خاصی انجام گیرد. از طرفی افزایش لایه پوشش سبب بالا رفتن طول عمر قطعه در محیط‌های اتمسفری می‌گردد. شکل ۲۸ این موضوع را نشان می‌دهد. در روش غوطه وری می‌توان از آلیاژهای Al-Zn نیز جهت ایجاد پوشش استفاده نمود. این پوششها شامل دو فاز می‌باشند فاز بین فلزی و پوشش خالص.



شکل ۲۸- طول عمر فولاد گالوانیزه شده در محیط‌های مختلف اتمسفر [۱۰]

۳- پوششهای غلافی^۱

در زمانی که استحکام و مقاومت به خوردگی نیاز باشد از این روش استفاده می‌شود. در این روش از روکش کردن فلزات ارزان قیمت یا آلیاژهای غیرمقاوم در برابر خوردگی اتمسفری با فلزات خالص و با پتانسیل منفی‌تر نظیر آلومینیم و روی، مقاومت به خوردگی فلز را افزایش می‌دهند. بطور مثال فلز آلومینیم را با روکش آلومینیم خالص پوشش می‌دهند تا از یک طرف مقاومت به خوردگی افزایش یافته و از طرف دیگر هزینه ساخت کاهش یابد. این پوششها توسط روکش کردن فلز پایه بروش مکانیکی بوجود می‌آیند.

۴- روش الکتریکی (آبکاری)^۲

در این روش توسط جریان الکتریسته یون فلزی که می‌خواهیم پوشش دهیم را ایجاد کرده و این یون را روی سطح قطعه می‌نشانیم. جریان الکتریسته مورد مصرف از نوع مستقیم بوده که مدار مربوطه شامل اجزاء ذیل می‌باشد.

- کاتد: فلزی است که می‌خواهیم پوشش بر روی آن اعمال گردد.

- آند: فلزی است از جنس فلز پوشش و یا الکترودهای غیرقابل حل مانند

گرافیت و فولاد زنگ نزن

- منبع تغذیه: جریان الکتریسته مستقیم

پوششهایی که می‌توان از این طریق اعمال نمود شامل فلزات روی، مس، نیکل، کروم، طلا، نقره و ... می‌باشند. از معایب این روش تولید هیدروژن بر روی کاتد می‌باشد که سبب ترد کردن پوشش و یا خود فلز و متخلخل کردن پوشش می‌شود.

کیفیت پوشش بوجود آمده در این روش به فاصله آند و کاتد، سرعت عبور جریان، اختلاف پتانسیل اعمالی و زمان عبور جریان بستگی دارد.

پوشش فلزاتی که جهت جلوگیری از خوردگی اتمسفری در این روش استفاده می‌گردد عبارتند از روی، نیکل، کروم.

1- Alclad Coating

2- Electro Plating Coating

تفاوت عمده‌ای که پوشش‌های فلزی روی در روش غوطه‌وری و آبکاری دارند در این است که در روش غوطه‌وری لایه پوشش چند لایه بوده و دارای فازهای مختلف بین فلزی است ولی در روش آبکاری فلز پوشش خالص می‌باشد. همچنین ضخامت لایه پوشش در روش آبکاری خیلی کمتر از ضخامت پوشش در غوطه‌وری است (با شرایط یکسان مقاومت به خوردگی اتمسفری)

پوشش‌های آبکاری شده بیشتر جهت مصارف تزئیناتی استفاده می‌شود که از نمونه‌های آن می‌توان به پوشش‌های طلا، نقره، نیکل و کرم اشاره کرد.

۵- الکترولس^۱

اصول ایجاد پوشش در این روش همانند روش آبکاری بوده با این تفاوت که بدون اعمال جریان برق و با غوطه‌ور ساختن فلز پایه در الکترولیت‌های مخصوص پوشش بر روی فلز پایه رسوب کرده و ایجاد می‌گردد. الکترولیت در این روش شامل موادی است که نمک یون فلز را آزاد کرده و بر روی سطح فلز می‌نشانند. پوشش‌هایی که در این روش ایجاد می‌گردد شامل نیکل، مس، آهن، کبالت، نقره، طلا، پلاتین و پالادیم می‌باشند.

۵-۱-۲- پوشش‌های مقاوم حرارتی

یکی از دلایل توسعه پوشش‌ها در ۵۰ سال گذشته افزایش نیاز سیستم‌های تولید نیرو است. نیاز به عملکرد راندمان انرژی بالاتر در این سیستم‌ها موجب استفاده از مواد پیشرفته‌تر در آنها شده است. برای قطعاتی که در دمای بالا کار می‌کنند، پوشش‌ها نقش مهمی در این پیشرفت ایفا می‌کنند.

به طور مثال اجزاء مختلف توربین‌های گازی که در دمای بالا کار می‌کنند، بایستی دارای خواص ویژه‌ای همچون استحکام، مقاومت به خزش و مقاومت به خستگی حرارتی یا

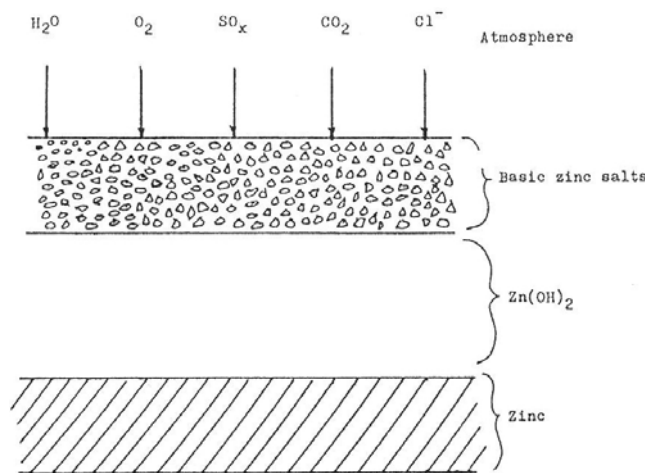
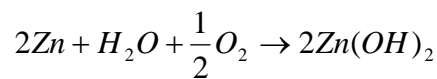
1- Electro less

مکانیکی باشند. علاوه بر آن این قطعات در دمای بالا تحت پدیده های اکسیداسیون و خوردگی داغ قرار می گیرند و کیفیت آنها کاهش می یابد. یکی از روشها برای جلوگیری از این پدیده، محافظت آنها بوسیله اعمال پوشش می باشد. اغلب پوشش هایی که در دماهای بالا بکار گرفته می شوند، در برهم کنش با محیط تشکیل یک لایه اکسید محافظ آلومینیم ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) می دهند. نقش این لایه اکسید، مجزا کردن پوشش از محیط خورنده و در نتیجه محدود کردن تخریبهای ناشی از خوردگی در دمای بالا می باشد.

پوشش هایی که برای این منظور بکار گرفته می شوند شامل پوشش های آلومینیایی، پوشش های MCrAlY و پوشش های سد حرارتی می باشد. پوشش های MCrAlY بصورت یک سد یا مانع ماده را از محیط اطراف آن محافظت می کنند. نقش این مانع به حداقل رسانیدن دیفوزیون گونه های مایع یا گازی به سمت قطعه و بالعکس و ممانعت از دیفوزیون عناصر آلیاژی به سمت سطح خارجی و در نتیجه جلوگیری از واکنش این گونه ها با یکدیگر می باشد. این محافظت از طریق تشکیل اکسیدهای آلومینیم و کرم در سطح این پوشش ها تحت شرایط اکسیدکننده، صورت می گیرد. یک تحقیق جدید بیانگر این است که چنانچه یک لایه نازک از Ni-Re بین پوشش MCrAlY و سوپر آلیاژ پایه ایجاد شود می تواند نقش مهمی در افزایش مقاومت به اکسیداسیون قطعه داشته باشد. این لایه بعنوان یک لایه سدی از دیفوزیون گونه های مختلف پوشش MCrAlY و سوپر آلیاژ پایه جلوگیری می کند و بدین وسیله مقاومت به اکسیداسیون پوشش MCrAlY را افزایش می دهد. لایه Ni-Re با ضخامت ۰/۵ تا ۵ میکرومتر بر روی سوپر آلیاژ پایه که می تواند از جنس IN738 ، GTD-111 ، CM247 باشد با روش Magnetron Sputtering ، ایجاد می شود. سپس پوشش COCrAlY بر روی این لایه اعمال می گردد. مقاومت به اکسیداسیون نمونه ها به روش ایزوترمال در دمای ۱۷۰۰ درجه فارنهایت در بیش از ۴۰۰۰ ساعت انجام شده است. آزمایش مقاومت به اکسیداسیون سیلکی نیز از دمای اتاق تا دمای ۱۸۵۰ درجه فارنهایت انجام شده تا حد الامکان به شرایط کاری واقعی قطعات نزدیک باشد.

عمدتاً جهت پوشش دادن فولاد ساده کربنی از جنس پوششهای فلزی، از فلز روی بدلیل خاصیت خوب حفاظتی و سهولت شرایط ایجاد پوشش استفاده می‌گردد. این پوششها مصارف زیادی را در صنعت دارا می‌باشند .

میزان سرعت خوردگی پوششهای فلزی روی به عواملی مانند زمان ترشوندگی و میزان آلودگی ها شامل SO_2 ، CO_2 و Cl^- بستگی دارد. در ابتدای خوردگی پوششهای روی، لایه ای از هیدروکسید روی بر روی سطح تشکیل می‌گردد. و پس از آن ترکیب کربناتی روی $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ تشکیل می‌شود. شروع واکنش خوردگی را کنترل می‌نماید و نتیجتاً روی حل می‌شود (Zn^{+2}). روند خوردگی پوششهای روی مطابق شکل ۲۹ می‌باشد. روی پس از اکسید شدن به هیدروکسید تبدیل می‌گردد. مطابق واکنش ذیل:

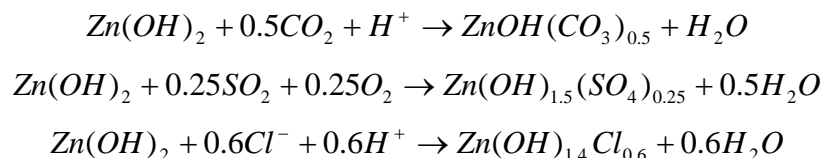


شکل ۲۹- محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی فلز روی در معرض اتمسفر

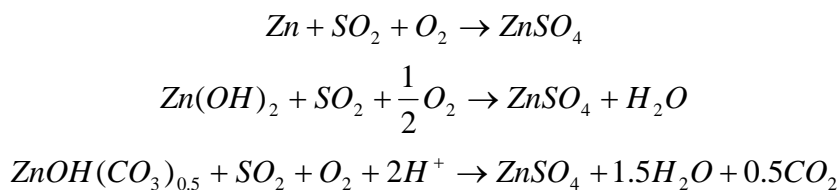
[۱۲]

این واکنش شروع واکنش الکتروشیمیایی اکسید شدن آندی روی و احیای کاتدی می‌باشد.

در صورتی که pH رطوبت ایجاد شده بر روی سطح افزایش یابد هیدروکسید روی فعال شده و با آلودگی‌هایی مانند CO_2 ، SO_2 و O_2 ترکیب می‌گردد مطابق واکنش‌های ذیل:



با افزایش pH محیط واکنش‌های بالا سرعت بیشتری می‌گیرند. اما با افزایش SO_2 در محیط بدلیل کاهش pH محیط در اثر حل شدن این گازها در رطوبت، مقدار هیدروکسید روی کاهش یافته و در نتیجه تولید نمکها نیز کاهش می‌یابد. همچنین واکنش‌های ذیل نیز ممکن است بوجود آید.



سولفات روی تشکیل شده قابلیت حل شدن در آب را دارد و در نتیجه لایه تشکیل شده محافظ نبوده و میزان سرعت خوردگی افزایش می‌یابد. این لایه می‌تواند با عواملی مانند سایش و آب باران از بین برود.

میزان آلودگی اتمسفر و نوع اتمسفر موجود، محصولات خوردگی پوشش‌های روی را تغییر می‌دهد که این موضوع در جدول ۱۰ آورده شده است.

جدول ۱۰- محصولات روی در معرض اتمسفرهای گوناگون [۱۲]

Atmospheric type	Products formed
Urban or industrial	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow ZnOH(CO_3)_{0.5}$
	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow ZnOH(CO_3)_{0.5} \rightarrow ZnSO_4$
	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)_{1.5}(SO_4)_{0.25}$
	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)_{1.5}(SO_4)_{0.25} \rightarrow ZnSO_4$
	$Zn \rightarrow ZnSO_4$
Marine	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)_{1.4}Cl_{0.6}$
Rural	$Zn \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow ZnOH(CO_3)_{0.5}$

۵-۱-۴- پایداری پوشش

عمده تخریب هایی که بر روی پوشش رخ می دهد ناشی از خوردگی در شرایط محیطی و یا خوردگی و اکسیداسیون داغ می باشد. پوششهای فلزی رفتار های مختلفی در محیطهای مختلف از خود نشان می دهند.

به طور مثال پوششهای فلزی از جنس فلز روی در محیط های محیط مرطوب به خوبی مقاوم بوده ولی در دماهای بالای ۷۰ درجه سانتی گراد رفتار حفاظتی آن تغییر می کند و در این حالت آهن آند و روی کاتد می شود. همچنین در محیطهای اسیدی سبب خوردگی شیمیایی فلز روی در این محیط می گردد. جهت افزایش پایداری پوششهای فلزی روی از روش کروماته کردن پوشش استفاده می کنند.

اصطلاح کروماته به عملیات شیمیایی و الکتروشیمیایی فلزات و پوششهای فلزی در محلولهایی اطلاق می شود که در آنها اسید کرمیک ، کرمات یا دی کرمات جزء اصلی باشند. در این حالت پوشش محافظ تبدیلی شامل ترکیبات کرم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی بر روی سطح فلز است.

کروماتها از دیرباز بمنظور ممانعت کننده^۱ در سیستمهای آب در گردش بکار برده می شد و و سطح فلزات را روپین می کرد.

رسوبات ناشی از ترکیب غیرحلال بر روی سطوح فلزات در هنگام تهیه پوششهای کروماته با استفاده از ترکیبهای کرم شش ظرفیتی به حالتی ذیل تقسیم بندی می شوند:

¹ - Inhibitor

- ۱- کروماتها که قویاً اکسید می شوند در محلولهای اسیدی و تشکیل نمکهای غیرمحلول بر روی سطوح فلزات می دهند و یا ضخامت لایه اکسیدی خنثی را افزایش می دهند.
- ۲- محصولات ناشی از احیای اسید کرمیک معمولاً غیرقابل حل اند مانند: (Cr_2O_3)
- ۳- کروماتهای فلزی غالباً غیرقابل حل اند (مانند کرومات روی)
- ۴- کروماتها ممکن است در واکنش های پیچیده حضور داشته باشند مخصوصاً در مجاورت با برخی افزودنیها، رسوبات پیچیده ای شامل یونهای فلزی را ایجاد خواهند کرد.

مهمترین اهداف استفاده از فلزات کروماته شده عبارتست از:

- ۱- افزایش مقاومت به خوردگی فلز یا پوششهای محافظ فلزی
- ۲- کاهش خسارت سطحی ناشی از آثار انگشت (خراشهای سطحی)
- ۳- افزایش میزان چسبندگی رنگ وسایر پوششهای آلی
- ۴- رنگ پذیری و یا پذیرش بهتر سایر پوششهای تزئینی

پوشش کروماته بر روی تمامی فلزات قابل انجام نمی باشد این پوشش بر روی فلزاتی مانند روی، روی - کادمیم ، کادمیم، نقره، مس، برلیوم، قلع، آلومینیم و منیزیم قابل ایجاد می باشد.

بنابراین پایداری پوششها بسته به نوع پوشش، نوع محیط و یا سیال و دمای محیط بستگی دارد.

۵-۲- پوششهای غیر فلزی

یکی از روشهای حفاظت از تجهیزات که در معرض اتمسفر قرار دارند و در محیطهای خارجی^۱ بکار گرفته می‌شوند، استفاده از پوششهای غیر فلزی می‌باشد. استفاده از پوششهای غیر فلزی در صنایع پل سازی، سازه‌های فلزی، مخازن ذخیره، تجهیزات صنعتی و پوشش داخلی و خارجی خطوط لوله روز به روز افزایش یافته و در حال توسعه می‌باشد. بعنوان مثال میزان تولید رنگ و پوشش در سال ۲۰۰۶ در جهان در جدول ۱۱ آورده شده است. همچنین در جدول ۱۲ میزان تولید رنگ در مناطق مختلف جهان در سال ۲۰۰۶ آورده شده است.

جدول ۱۱- وضعیت بازار جهانی رنگ در سال ۲۰۰۶ [۱۳]

بازار جهانی	واحد	مقدار
میزان تولید جهانی رنگ	میلیون تن	۳۲/۳
ارزش تولید رنگ جهان	میلیارد دلار	۸۰/۷۵
متوسط ارزش هر کیلوگرم	دلار	۲/۵

¹ - Outdoor

جدول ۱۲- وضعیت بازار رنگ در مناطق جهان در سال ۲۰۰۶ [۱۳]

میزان تولید- هزار تن	مناطق جهان
۸۱۲۲	امریکای شمالی
۱۹۰۰	امریکای لاتین
۷۵۰۱	اروپای غربی
۲۱۱۶	اروپای شرقی و مرکزی
۱۱۶۸	افریقا
۱۳۹۸	خاورمیانه
۹۸۱۳	آسیا
۳۴۳	اقیانوسیه
۳۲۳۶۱	جمع

جهت بکارگیری این پوششها به دو عامل اساسی می‌بایست توجه شود. ابتدا آماده سازی سطح و سپس انتخاب نوع رنگ. از آنجایی که این دو عامل وابسته به شرایط محیطی می‌باشند، روشهای آماده سازی سطح و همچنین انتخاب نوع رنگ در این شرایط متفاوت می‌باشند.

۵-۲-۱- پرایمر

پس از آنکه سطح مورد نظر به روش های مناسب تمیز و آماده شده، قبل از آنکه رطوبت، آلودگی ها و عوامل خورنده محیط مجدداً سطح را آلوده نمایند، لازم است پرایمر ضد خوردگی (لایه اول سیستم پوششی) به کار رود. البته برای فاصله زمانی بین تمیزکاری سطح و کاربرد پرایمر در مناطق مختلف دستورالعمل مشخص و ثابتی وجود ندارد بلکه بایستی از نظر اقتصادی و عملی تا حد ممکن این زمان کوتاه تر بوده و تحت هیچ شرایطی رنگ فلز آماده سازی شده تبخیر محسوسی به طرف تیرگی یا رنگ صورتی و قرمز نداشته باشد.

محبوس شدن رطوبت در حفره های سطح فلز زیر پرایمر، موجب خوردگی موضعی سطح فلز می شود و از آن جایی که زنگ زدگی های حاصل از خوردگی فلزات معمولاً از لحاظ حجمی بزرگتر از موادی هستند که از آنها منشاء گرفته اند، زمانی که واکنش پیل الکتروشیمیایی ادامه می یابد فشار ایجاد شده باعث تاول زدن از زیر پوشش شده و اگر چسبندگی پوشش به سطح فلز توانایی مقاومت در برابر فشار ایجاد شده را نداشته باشد فیلم پوشش خرد شده و واکنش الکتروشیمیایی خوردگی ادامه می یابد. رطوبت و الکترولیت موجود در محیط نیز از ترک های پدید آمده در سطح رنگ به درون نفوذ کرده و خوردگی گسترش می یابد.

بعضی از انواع پرایمر ها با فرمولاسیون خاص، در کارگاه ساخت سازه های فولادی، در کوتاهترین مدت پس از تمیزکاری و آماده سازی روی سطح اعمال می گردند و به طور موقت تا قبل از کاربرد لایه های پوشش اصلی سطح فلز را از خوردگی و آلودگی حفظ می کنند. به این پوشش ها پرایمر های کارگاهی می گویند. لازم است پس از تمیز کردن سطح فولاد، تا زمانی که میزان تمیزی سطح فلز هنوز در حد سفید یا نزدیک به سفید است پرایمر های کارگاهی به کار رود. کشتی های فولادی معمولاً از صفحات پوشیده با پرایمر کارگاهی ساخته می شوند.

واش پرایمر یکی از انواع پرایمر های کارگاهی است. پرایمر های اتیل سیلیکات یا اپوکسی زینک ریچ مخصوص جهت محافظت موقت از خوردگی سطوحی که در آب غوطه ور نیستند بهترین پرایمر کارگاهی هستند.

قبل از کاربرد پوشش اصلی، با توجه به شرایط سطح و نوع پرایمر کارگاهی و نوع پوشش اصلی، معمولاً این پرایمر ها از روی سطح پاک می شوند لیکن در صورت اطمینان صد درصد از تمیزی سطح این نوع پرایمر، لایه های بعدی مستقیماً روی پرایمر کارگاهی بکار می روند. باید توجه داشت که روی سطح پرایمر های زینک ریچ، در شرایط محیط نمکهای کم محلول فلز روی می نشینند که به چشم نمی آید ولی اثر منفی مقدار کمی از آنها در مقایسه با مقدار زیادی گریس و روغن در ایجاد تاول و خوردگی اثر منفی بیشتری خواهند داشت. باید قبل از کاربرد پوشش اصلی تما می ذرات نمک های فلز روی، روغن، گریس، گرد و غبار و ذرات حاصل از جوشکاری از سطح پرایمر زدوده شوند.

خواص اصلی پرایمر های کارگاهی عبارتند از:

- چسبندگی خوب به سطح فلز
- مقاومت لازم و کافی در مقابل خوردگی فلز
- زمان خشک شدن کوتاه
- مقاومت در مقابل ضربه و ترک خوردگی
- مقاومت در مقابل سایش
- قابلیت پرکنندگی حفره ها
- چسبندگی به پوشش بعدی

بعضی از پرایمر ها هم در آماده کردن سطح برای کاربرد پوشش بعدی و هم در بالا بردن عمر پوشش موثرند. بعضی از اجزاء تشکیل دهنده این پرایمر ها با سطح فلز واکنش انجام می دهند بنابراین قبل از کاربرد آتسری سطح فلز بایستی به وسیله یکی از روش های موثر تمیز شده باشد.

می دانیم که حفاظت کاتدیک منحصرأً به وسیله القاء جریان الکتریسیته محدود نمی شود. به شیوه غیر الکتریکی نیز می توان سطوح فلزی مخصوصاً فولاد را با حفاظت کاتدیک از خوردگی محافظت کرد.

برای جلوگیری از اکسایش و خوردگی آهن بایستی پتانسیل محیط را با القاء الکترون منفی تر کنیم. در روش های غیر الکتریکی حفاظت کاتدیک، از فلزاتی که نسبت به آهن فعال ترند و با اکسایش خود، الکترون در اختیار آهن قرار می دهند، استفاده می شود. یکی از فلزاتی که بیشترین نقش را عملاً در صنعت ایفا می کند، فلز روی است. در این خصوص پوشش حاصل از فلز روی به عنوان آند فداشونده و آهن مورد پوشش به عنوان الکتروود کاتد یک پیل الکتروشیمیایی عمل می کنند. یعنی فلز روی اکسید و خورده شده و فولاد را از خورده شدن حفاظت می کند.

از طرفی تجربه نشان داده است که اصولاً فلز روی در مقایسه با فولاد در مناطق مختلف، خوردگی کمتری دارد. در همه محیط ها فولاد با سرعت بیشتری وزن خود را از دست داده است.

حفاظت پوشش های حاوی فلز روی می تواند شامل یک و یا همه مکانیسم های زیر باشد :

- پوشش همچون یک غشاء و یا سد در مقابل عوامل خورنده عمل می کند
- فلز روی درون پوشش نقش حفاظت کاتدیک برای فولاد دارد
- سطح پوشش در اثر ترکیب با مواد مجاور مثل اکسیژن، دی اکسید کربن، بخار آب و غیره محصولاتی به دست می دهد که این محصولات می توانند منافذ موجود در پوشش را پر کنند و مقاومت در مقابل عوامل خورنده سطح را بالا ببرند.

میزان پودر روی در فرمولاسیون پرایمر ونحو پخش ذرات فلز روی در رزین طوری است که هم با یکدیگر و هم با سطح موردحفاظت تماس الکتریکی داشته باشند در این صورت پرایمر همانند یک پوشش فلزی عمل خواهد کرد.

اگر اتصال الکتریکی فلز به فلز انجام نشود، طوری که بین پرایمر و فولاد یا ذرات فلز روی درون پرایمر عایقی وجودداشته باشد، دراین صورت نیز حفاظت کاتدیک موردنظر به وقوع نخواهد پیوست.

حتی در صورتی که سطح فولاد به طور نسبی زیرسازی شده باشد استفاده از این پرایمر برای حفاظت بهتر سطح توصیه می گردد.

بدیهی است که هرچه مقدار فلز روی در فیلم خشک بیشتر باشد، خواص فیلم حاصل شباهت بیشتری به پوشش های گالوانیزه خواهد داشت. از طرفی با افزایش مقدار فلز روی در پرایمر، خواص مربوط به چسبندگی و قدرت ایجاد فیلم تضعیف می شود. با توجه به محدودیت های فوق و عواملی مثل هدایت الکتریکی بهترین نتایج با ۹۲ تا ۹۵ درصد وزنی روی در فلز خشک به دست می آید. البته پدیده حفاظت کاتدیک، زمانی که درصد فلز روی پایین تر از ۹۲ درصد باشد نیز اتفاق می افتد اما مدت زمان قابل توجهی دوام نخواهد داشت. معمولاً در صنعت رنگ سازی غلظت رنگدانه در رنگ به صورت غلظت حجمی رنگدانه بیان می شود اما در پرایمر های فلز روی این غلظت به صورت درصد وزنی مرسوم است.

۹۶-۹۲ درصدوزنی روی در پرایمر برابر ۸۰-۶۴ درصد غلظت حجمی رنگدانه است. با توجه به شرایط فرمولاسیون، انتخاب رزین بسیار مشکل است زیرا رزین های محدودی سختی، انعطاف و چسبندگی لازم را دارند همچنین چون فلز روی برای ایفای نقش خود بایستی در جریان چند واکنش شیمیایی قرار بگیرد و ذاتاً یک فلز آمفوتر (دوخصلتی) است و در محیط های اسیدی و بازی فعالیت دارد، لذا بایستی مواد مورد انتخاب در فرمولاسیون کمترین خواص اسیدی و بازی را داشته باشند و استفاده از یک رزین کاملاً بی اثر از نظر شیمیایی بسیار مهم است.

رزین های آلی که تاکنون در پرایمر فلز روی به کار رفته اند عبارتند از: پلی استایرن، کلروکائوچو، کائوچوی ایزومر شده، اپوکسی استر، آلکیدیهای اصلاح شده، پلی اورتان ها، اکریلیک ها، پلی وینیل کلراید و پلی وینیل استات که اپوکسی زینک ریچ کاربرد بیشتری دارد.

از رزین های غیر آلی نظیر اتیل سیلیکات نیز برای ساخت پرایمر فلز روی استفاده می شود. پرایمر های غیر آلی مقاومت فوق العاده ای در مقابل خوردگی و سایش از خود نشان می دهند. اولین بار رزین های غیر آلی در سالهای جنگ جهانی دوم در دانشگاه کمبریج توسط Evans و Mayne مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفتند. این دانشمندان از محلول دی پتاسیم هیدروژن فسفات به عنوان محمل فلز روی استفاده کردند.

چون فلز روی آمفوتر است مستعد حمله های اسیدی و بازی می باشد ولی در pH بین ۵/۵ تا ۱۰ مقاومت خوبی دارد.

محیط حاوی هالوژن به ویژه فلوئور و کلر بر پرایمر فلز روی تاثیر خوردگی شدیدی دارند و اگر قرار است پرایمر فلز روی در محیط اسیدی یا بازی شدید ویا در مجاورت هالوژن ها به کار رود، حتماً بایستی به وسیله یک رنگ رویه پوشش داده شود و قدرت حفاظتی این پرایمر پس از کاربرد رنگ رویه به میزان قابل توجهی افزایش می یابد.

برای اخذ نتیجه بهتر، ضروری است که پس از کاربرد پرایمر و قبل از کاربرد رنگ رویه حداقل دو روز تامل شود این مدت هرچند کم که کوتاه باشد باز به صورت نسبی تاثیر خود را خواهد داشت. از طرفی، تجربه نشان داده اگر پرایمر روی دو بار به وسیله رنگ رویه با ضخامت کم پوشش شود، نتیج خیلی بهتری حاصل می گردد. پرایمر اتیل سیلیکات حاوی

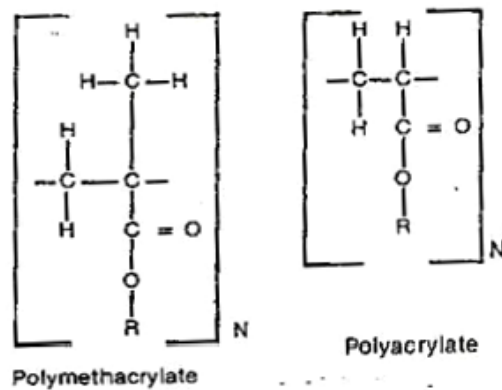
پودر روی سطح را قلیایی می کند، لذا ضروری است که رنگ رویه مورد استفاده مقاومت کافی در مقابل قلیا داشته باشد. بعضی اوقات قبل از اعمال رنگ رویه، قلیای آزاد شده را خنثی می کنند. محلول ۲/۵ درصد اسید فسفریک برای خنثی کردن این سطوح مناسب است. پس از خنثی کردن قلیا، سطح با آب تمیز می شویند. رزین های کلروکائوچو، اپوکسی - پلی آمید و گیلسونیت در رنگ های رویه برای این سطوح مقاومت بهتری نشان می دهند.

۵-۲-۲- اکریلیکها

اکریلیک رزینها، عمدتاً از اسید اکریلیک و متاکریلیک می باشد. بسپارهای متیل و اتیل استرهای این اسیدها یا هم بسپارس مخلوطی از این تکپار دارای اهمیت بیشتری می باشند. همچنین، استرهای پروپیل، بوتیل و ایزوبوتیل، و نیز اکریل آمیدها، اکریلونیتریل ها و دیگر مواد مشابه استفاده می شود. این تکپارها ممکن است آمیزه ای از خواص متفاوتی بوده و سپس با رزینهای نهایی، بسپارش یابد. به واسطه تنوع استری کردن و هم بسپارش تکپارهای مختلف اکریلیک استری شده، تقریباً تعداد بیشماری ترکیب کاربردی وجود خواهد داشت. بسپارها ممکن است از مواد بسیار سخت و ترد تا پلاستیک های بسیار انعطاف پذیر تغییر کند.

خواص محلول و فیلم بسپارهای اکریلیک مختلف (وقتی به درون پوشش می رود)، توسط وزن مولکولی، طبیعت محلول بسپار، ترکیب شیمیایی بسپار یا هم بسپار تنظیم می گردد. اثر وزن مولکولی، نسبتاً بدیهی است. تشککیل فیلم در هر پوشش محلول، بستگی به تشکیل پیوندهای شیمیایی اولیه یا به گیرافتادن زنجیرهای بسپاری بر اثر واکنشهای شیمیایی ثانویه دارد. در حالت پوششهای گرمانرم، با افزایش طول زنجیر، زنجیرهای بیشتری مخلوط شده و فیلم چقرمه تر و چسبنده تر می شود. البته این مسأله کاملاً سود مند نیست، ولو اینکه بسپارهای بلندتر، خواص بیشتری داشته باشد، زیرا ویسکوزیته محلولهای پوشش به صورت نهایی با وزن مولکولی بالا می رود. بنابراین، وزن مولکولی اکریلیک ها، باید در سطح قابل توجهی پایین نگه داشته شود، تا ویسکوزیته قابل کاربرد، برای بسپار بدست آید.

بسپارهای اکریلیک، که در پوششها به کار می رود، عمدتاً پلی متاکریلات ها و پلی اکریلات ها بوده و ساختار شیمیایی آنها در شکل ۳۰ آمده است.



شکل ۳۰- پلیمرهای اکریلیک شامل پلی متاکریلات ها و پلی اکریلات ها [۱۳]

خواص بسپارها بستگی به سه عامل متفاوت دارد:

- ۱- حضور CH_3 یا هیدروژن بر روی کربن آلفا
- ۲- طول زنجیره طرف استر که با «R» نشان داده می شود، و
- ۳- کارائی زنجیر طرف استر

بسپارهای اکریلیک تجاری، تقریباً همیشه هم بسپارهایی از چندین تکپار بوده که محدوده وسیعی از سختی، استحکام و انعطاف پذیری، قابل حصول است. جدول ۱۳ اثر تکپارهای مختلف را بر روی خواص فیلم پوشش نشان می دهد.

جدول ۱۳- اثر مونومرهای مختلف بر خواص فیلم پوشش [۱۲]

Film Property	Contributing Monomers
Exterior Durability	Methacrylates and Acrylates
Hardness	Methyl Methacrylate Styrene Methacrylic and Acrylic Acid
Flexibility	Ethyl Acrylate Butyl Acrylate 2-Ethylhexyl Acrylate
Stain Resistance	Short-Chain Methacrylates
Water Resistance	Methyl Methacrylate Styrene Long-Chain Methacrylates and Acrylates
Mar Resistance	Methacrylamide Acrylonitrile
Solvent and Grease Resistance	Acrylonitrile Methacrylamide Methacrylic Acid
Adhesion to Metals	Methacrylic/Acrylic Acid

رزینهای اکریلیک عمدتاً بوسیله رنگ سفید آب مانند، مقاومت به تغییر رنگ با گذشت زمان، و شفافیت مطلوبشان، مشخص می شود. اکریلیک ها معمولاً دارای دوام عالی، در نتیجه طبیعت شیمیایی بسیار (به تنهایی) است. زنجیره بسیار اصلی کاملاً از پیوندهای منفرد کربن- کربن تشکیل شده است (همانطور که قبلاً بیان شد، نسبتاً خنثی است)، و نسبت به تغییر شیمیایی به اندازه ترکیبات استر، اتر و آمید، حساس نیست. به هر حال، زنجیره طرف استر می تواند هیدرولیز گردد، این چنین تغییری لزوماً در نتیجه تجزیه زنجیره کربن بسیار پلیمر نیست. خصوصیات پایداری برخی از استرهای متاکریلات ها و اکریلات ها در جدول ۱۴ آمده است.

جدول ۱۴- خصوصیات پایداری برخی از استرهای متاکریلات ها و اکریلات ها [۱۲]

	Methacrylate	Acrylate
Methyl	Very Good	Poor
Ethyl	Excellent	Fair
Iso-Butyl	Excellent	Good
N-Butyl	Excellent	Excellent

با افزایش پیوند زنجیر استر، انعطاف پذیری، پایداری، و مقاومت به آب اکریلاتها افزایش می یابد. اغلب مواد اکریلیکی که مهندس خوردگی با آن مواجه است با دیگر رزینها واکنش می دهد (برای مثال، اپوکسیها، وینیل ها و ایزوسیانات های اصلاح شده). استفاده از اکریلیک در این ترکیبات به منظور افزایش دوام و مقاومت به شرایط جوی و نیز حفظ ظاهر پوشش پس از دوره زمانی طولانی است. نیز بسیاری از اکریلیک ها، بصورت امولسیون و معلق در آب به کار می رود. این پوشش اغلب به عنوان پوشش تزئینی استفاده می شود تا پوشش مقاوم نسبت به خوردگی.

اکریلیک ها، بجز برای اصلاح دیگر رزینهای پوششی مقاوم به خوردگی، عمدتاً به عنوان پوشش نهایی روی اتومبیل ها، یخچال ها و محصولات مشابه، که نیازمند دوام عالی با گذشت زمان است، به کار می رود.

۵-۲-۳- رزینهای الکییدی

رزین پلی استر، بسیاری از مونومرهای نوع استر است. به طور کلی، رزینهای آلکییدی را می توان به عنوان پلی استر در نظر گرفت. اصطلاح "آلکید" معمولاً برای پلی استرهایی به کار می رود که با یک روغن تری گلیسرید یا اسیدهای چرب، اصلاح شده است. پس رزینهای آلکییدی، عموماً محصول واکنش یک اسید چند بازی، الکل پلی هیدریک، و یک روغن یا اسید چرب تک بازی است. نام آلکید از "آل" الکل و "کید" یا "سید" اسید به دست آمده است.

بدون شک، آلکیدها معمولترین مواد بهبود یافته با روغن است، زیرا بیشترین استفاده را دارد. آلکیدها معمولاً در تنوع و حجم، بهتر از تمام انواع پوششهای دیگر بوده و طیف وسیعی از کاربردها را با هزینه معمولی دربرمی گیرد. تنوع این مواد از تعداد بیشمار مواد خام است. آلکیدها از سه ماده اصلی تهیه می شود (اسیدهای چندبازی، پلی هیدریک و یک اسید چرب)، هر کدام از این مواد، دارای متغیرهای بیشماری بوده و موجب ترکیبات بی حد و آلکیدهای بی پایانی می گردد. آلکیدها به روشهای مختلفی قابل دسته بندی است، متداولترین آنها بر اساس مقدار روغن یا درصد روغن در آلکید، در کل ترکیبات غیر فرار است. این مواد به آلکیدهای روغنی با مقدار کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم می شود.

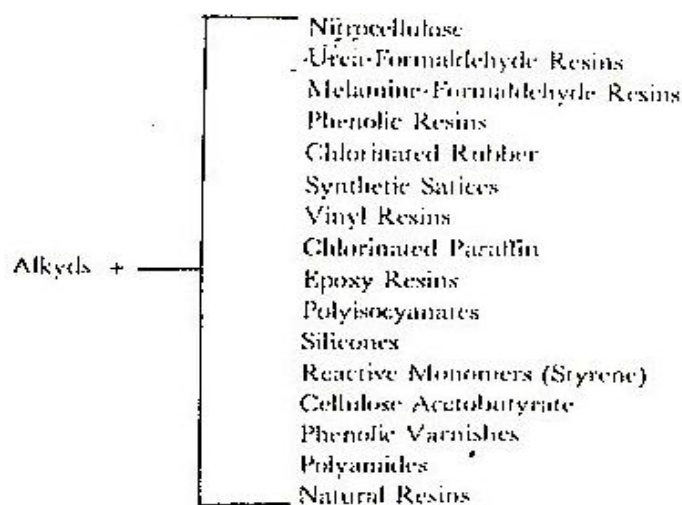
آلکیدهایی که تا کنون مورد بحث قرار گرفته، "آلکیدهای خالص" بوده که با آلکیدهای بهبود یافته، (مانند وینیل) تفاوت دارد. در آلکیدهای خالص، مقدار روغن، تمام خواص را تحت تأثیر قرار می دهد و فاکتور اصلی در تعیین حلالیت، ویسکوزیته، انعطاف پذیری و سختی است.

آلکیدهایی که از دیدگاه حفاظت خوردگی بیشترین اهمیت را دارد، آلکیدهای روغنی متوسط است. این مواد، دارای محدوده وسیعی از خواص است و برای اغلب کاربردها و نیز برای مهندس خوردگی آشنا می باشد. آلکید، با کاهش مقدار روغن و افزایش مقدار رزینهای پلی استر، مقاومت بهتری در قبال خوردگی از خود نشان می دهد.

آلکیدهای کم روغن برای پوشش نهایی بکار می رود و بنابراین به طور ویژه تولید می شود. البته این مواد دارای مقاومت به خوردگی متوسطی است. به هر حال آلکیدهای پر روغن، از لحاظ فروش تجاری، مواد عمومی تری است. در حالی که این مواد از دیدگاه صنعتی کاربردهایی دارد، اما عمدتاً به عنوان پوششهای بیرونی برای ساختمانهای چوبی و لعابهای زینتی اعمال می شود. این مواد نسبت به رنگهای روغنی خیلی نزدیکتر از آلکیدهایی است که برای مقاومت در مقابل خوردگی استفاده می شود.

آلکیدهای بهبود یافته

آلکیدها بوسیله بسیاری از مواد رزینی اصلاح می شود که این از برجستگی های این مواد است. هر رزینی ممکن است برخی از ویژگی خود را به آلکید دهد و از این رهگذر مواد پوششی متنوع تری ایجاد شود. شماری از مواد عمده ای که با آلکیدها ترکیب می شود، در شکل ۳۱ لیست شده است. برخی از آنها مورد توجه مهندس خوردگی است. اغلب این مواد، درون رزینهای آلکیدی اصلی واکنش می دهد و به عنوان هم بسیار در نظر گرفته می شود و با توجه به رزین اصلاح کننده مقاومت خوردگی بهتری نسبت به آلکید خالص دارد. برخی از اصلاح کننده های آلکیدی در زیر آمده است.



شکل ۳۱- مواد عمده ای که با آلکیدها ترکیب می شوند [۱۲].

آلکید وینیل

رزینهای آلکیدی ممکن است با رزینهای وینیل کلراید- وینیل استات که با هیدروکسیل بهبود یافته است، ترکیب شود تا بدین سان برخی از خواص وینیل به آلکید افزوده شود. وینیل آلکید، در مقایسه با آلکید بهبود نیافته، زمان خشک شدن کمتر، چسبندگی بهتر، مقاومت بسیار خوب به آب، و دوام شرایط جوی دارد. آکرلیک ها هم در بهبود آلکیدها به کار می رود. روش تهیه وینیل و آکرلیک آلکید، عموماً مشابه بوده و شامل سه مرحله است:

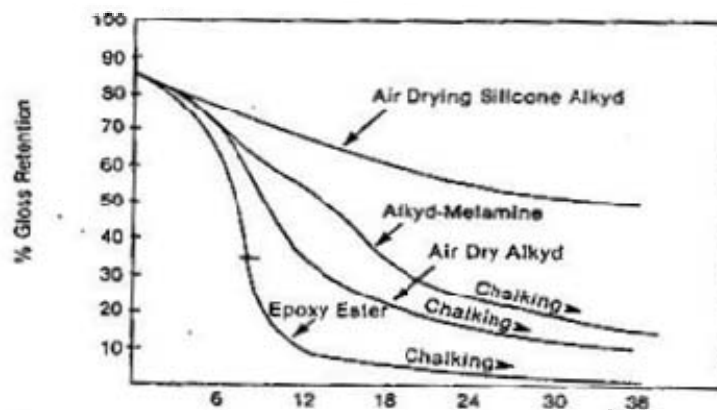
۱- مخلوط کردن محلولهای وینیل یا اکریلیک با آلکید

۲- روش هم بسپارش که درگیر با اشباع نشدگی اسیدهای چرب است

۳- ترکیب شیمیائی بسپارها با گروههای کاری دیگر از قبیل هیدروکسیل، که معمولاً یک اتصال استری بین دو رزین ایجاد می کند. وینیل آلکیدها، با مقاومت خوب در مقابل آب و دوام در شرایط جوی، به طور گسترده در نیروی دریائی آمریکا، برای اعمال بر روی کشتیها به کار رفته است و برای این منظور تحت استاندارد دولتی قرار گرفته است.

آلکیدهای سیلیکون

نقش آلکیدهای سیلیسیم دار نیز، از لحاظ مقاومت به شرایط جوی بخصوص مقاومت به دمای بالا، از آلکیدهای خالص، بهتر است. در این حالت، گروه هیدروکسیل فعال موجود روی رزینهای آلکیدی پر روغن هوا خشک، با گروههای هیدروکسیل موجود در واسطه "سیلیکون" برای شکل گیری هم بسپارش واکنش می دهد تا از لحاظ شیمیائی، آلکیدها و سیلیسیم ترکیب شوند. این عمل یک مولکول کاملاً متفاوتی را ایجاد می کند، گرچه هنوز درصد بالایی از اسیدهای چرب اشباع نشده را حفظ می کند. بنابراین، آلکیدهای سیلیکون کارپذیری آلکیدها را با دوام، حفظ براقیت، مقاومت به شرایط جوی عمومی، و مقاومت گرمائی سیلیکون ترکیب می کند. آلکیدهای سیلیکون به طور روز افزون به عنوان پوششهای نهائی حفاظتی و دریائی استفاده می شود، زیرا از ویژگی بهبود یافته اشاره شد برخوردار است. آلکیدهای سیلیکون همچنین، به طور نسبتاً گسترده، برای پوشش دودکش ها و مناطق مشابهی که دماهای نسبتاً بالائی دارد، استفاده می گردد. مقاومت به شرایط جوی و دوام بهبود یافته آلکیدهای سیلیکون در شکل ۳۲ نشان داده شده است، این شکل محصول اصلاح شده سیلیکون را با اپوکسی و آلکیدهای استاندارد هوا خشک مقایسه می کند.



شکل ۳۲- مقاومت به شرایط جوی و دوام بهبود یافته آلکیده‌های سیلیکون [۱۲]

واسطه‌های سیلیکون نیز با پلی‌استرهای هیدروکسیل شده واکنش می‌دهد. ساده این رزین دارای دو گروه هیدروکسیل پایانه‌ای است، که به سهولت با واسطه‌های سیلیکون واکنش می‌دهد تا هم‌بند بسیار پلی‌استر سیلیکون تشکیل شود. این مواد در حفظ براقیت و مقاومت به شرایط جوی دارای برجستگی است. پلی‌استرهای اصلاح شده با سیلیکون به‌طور گسترده در پوشش‌های نواری برای فولاد و آلومینیم با بیشترین دوام در جو به کار می‌رود.

اورالکیده‌ها

اورالکیده‌ها یا روغنهای اورتان، نیز از گروه‌های هیدروکسیل فعال بر روی مولکول رزین اصلی، سود می‌برد. در این حالت، این مواد با دی‌ایزوسیانات تولوئن یا دیگر ایزوسیاناتها واکنش می‌دهد تا خواص پوشش‌آلکیدی یا مبتنی بر روغن را بهبود بخشد. مولکولهای آلکید هنوز گروه اسید چرب روغن اکسیدان را حفظ می‌کند بنابراین پخت این مواد، بر اثر واکنش اکسایش روغن به انجام می‌رسد. واکنش ایزوسیانات با آلکیده‌ها، به میزان زیادی مقاومت سایشی محصول نهایی را بهبود می‌بخشد. این مواد اغلب برای پوشش‌های سقف‌های چوبی برای مقابله با سایش شدید، استفاده می‌شود. مقاومت سایشی، خاصیت برجسته آنها است. پلی‌استرهای هیدروکسیل شده، نیز در ارتباط با مواد ایزوسیانات

استفاده می شود، تا پوششهای نهائی پر بازده ای را تولید کند. به هر حال، این مواد دسته‌
خصوصی، تحت نام اورتان است که بعداً با تفصیل بیشتر مورد بحث قرار گیرد.

۵-۲-۴- پوششهای قیری

پوششهای قطران زغال سنگ با حل کردن قیر قطران زغال فرآیندی، یا ترکیبی از این
قیرها، در حلالهای مناسب، تولید می شود. این پوششها با تبخیر حلالها، کاملاً خشک
می شود و خواصشان بستگی زیادی به نوع مواد خام قطران زغال سنگ و مخلوط این
مواد دارد. عموماً، آنها کاملاً مشابه اند. خاصیت برجسته این پوششها، نفوذپذیری بسیار
کم در مقابل رطوبت و مقاومت دی الکتریک بالای آنهاست، هر دو ویژگی در مقاومت به
خوردگی اثر گذار است.

پوششهای قطران زغال سنگ در سازگاری های مختلفی ساخته می شود؛ هم بدون
پرکننده بی اثر و هم حاوی مواد بی اثر، به منظور ساخت ضخامت فیلم تهیه می شود. به
طور کلی، پوششهای قطران زغال سنگ، بوسیله روغنهای معدنی تحت تأثیر واقع
نمی شود، اما بوسیله روغن حیوانی یا گیاهی و گریس و شوینده ها، حل می گردد. این
مواد دارای مقاومت خوبی نسبت به اسیدهای ضعیف، قلیاها، نمک ها، آب دریا و دیگر
اتمسفرهای خورنده، می باشد. مقاومت به خوردگی آنها را می توان مدیون فیلم غیر قابل
نفوذ دانست که با دفع رطوبت و هوا از سطح زیرین، حفاظت ایجاد می کند. همچنین
مقاوم به قلیا بوده و می تواند روی بتن به همان خوبی فولاد اعمال گردد.

یکی از مشکلات مربوط به پوششهای قطران زغال سنگ این است که در معرض نور
مستقیم خورشید، پوست سوسماری می شود. این مشکل با سخت شدن لایه بالایی فیلم،
منقبض می شود. و روی لایه نرمتر زیری می لغزد، در نتیجه باعث پوست سوسماری شدن
فیلم می گردد. پوشش رقیق قطران زغال سنگ باید از نور خورشید محافظت گردد تا
مقاومت خوردگی خود را حفظ کند. پوششهای قطران می تواند به عنوان لاکهای خشک
حلال واقعی، در نظر گرفته شود.

آسفالت

آسفالت رقیق نیز به طور گسترده به عنوان پوششهای مقاوم به خوردگی استفاده می شود. آسفالت رقیق نه تنها با آسفالت تقطیر شده از نفت درست می شود، بلکه از آسفالت طبیعی، یا ژیلسونیت نیز ساخته می شود. آسفالت رقیق یک ماده آسفالتی بسیار سخت است و به همان روش قیر، استخراج می شود. این ماده دارای مقاومت شیمیائی عالی و مقاومت به شرایط جوی خوب است. اغلب گریدهای بهتر پوششهای آسفالتی، حاوی درصدی از گلیسرین است تا آسفالت مشتق از نفت را بهبود بخشد. بطور کلی با افزایش نسبت گلیسرین، پوشش، مقاومتر خواهد شد.

پوششهای آسفالتی نسبت به پوششهای قطران زغال سنگ مطابق، در مقابل شرایط جوی مقاوم تر است، زیرا منجر به پوست سوسماری شدن نمی گردد. از طرف دیگر، در مقابل آب مقاومت نامرغوب تری نسبت به محصولات قطران زغال سنگ نشان می دهد. حلالهائی که در پوششهای آسفالتی به کار می رود، بسیار ملایم است، زیرا مزه آب را تغییر نمی دهد، بسیاری از پوششهای آسفالتی برای رنگ زدن فولادهای مخازن آب و مخازن بتنی ذخیره آب شرب، استفاده می شود.

پوششهای آسفالتی، همچنین با رزینهای نفتی بسیاری بالاتر، ترکیب می شود تا استحکام را افزایش داده و انعطاف پذیری بیشتری به پوششهای ژیلسونیت آسفالت بدهد. پوششهای آسفالتی، همچنین با پرکننده های خنثی ساخته می شود، که ضخامت پوشش را افزایش می دهد و در بسیاری حالات، خواص نفوذ ناپذیری را بهبود می بخشد. برخی از پوششهای آسفالتی دارای مقاومت عالی به دوده های صنعتی، آب، رطوبت، چگالش و شرایط جوی، می باشد. البته در شرایط جوی براقیت خود را از دست می دهد و گچی می شود، اما ظاهراً، از سایر خواص خوبشان نمی کاهد یا کل مقاومت به شرایط جوی را کاهش نمی دهد. هم پوششهای آسفالت و هم قطران زغال سنگ، دارای محدودیت سیاه بودن هستند. برخی از رنگهای اکسید آهن خیلی سیاه، از پوششهای قیری بدست می آید، و معمولاً باید در جایی که پوشش سیاه با ظاهر ضعیف، مناسب است، استفاده گردد. پوششهای قیری می تواند با آلومینیمد Leafing رنگدانه ای گردد که با این روش

آلومینیمی درخشان تولید می گردد. در هر حال، این مهم محدود به پوششهای قیری بوده و رنگدانه ای در جهت مقاصد تزئینی است.

۵-۲-۵- اپوکسی Coal Tar

اپوکسی های قطران زغال سنگ، ترکیبی از رزین اصلی اپوکسی با قطران زغال سنگ است. قطران زغال سنگ به شکل قیر نیمه مایع است و با اپوکسی رزین اصلی و حلال ترکیب می شود.

مکانیزم پخت برای اپوکسی قطران زغال سنگ، واکنش آمین با گروههای اپوکسید پایانه بر روی رزین اپوکسی است. هنوز مشخص نیست که آیا واکنش بین قطران زغال سنگ و رزین اپوکسی انجام می شود یا نه. ممکن است برخی از گروههای هیدروکسیل یا متیلول با ترکیبات فنولیک درون قطران زغال سنگ، یا برخی از گروههای هیدروکسیل با رزین اپوکسی واکنش دهد و باعث تشکیل برخی پیوند عرضی بین دو ماده گردد. به هر حال، این یک تصور منحصر به فرد است. از طرف دیگر، شواهدی در دست است که این کار ممکن است به علت کاهش حلالیت قطران زغال سنگ در ترکیب با اپوکسی باشد.

بر اثر برخی از واکنشها ممکن است قطران زغال سنگ (حتی اگر در محدوده نرمی باشد) را به پوششهای قطران زغال سنگی بهتر و مؤثرتر تبدیل کرد. به علت تفاوت در منبع زغال سنگ در اثرگذاری بسیاری از اپوکسی های قطران زغال سنگ موجود در جهان تفاوتهایی وجود دارد.

ترکیبی از دو ماده، خواص خوب اپوکسی و قطران زغال سنگ را برای تولید پوشش مقاومتری به آب و آب نمک، بکار می گیرد. البته همیشه ترکیبی از دو ماده بسیار متفاوت، از قبیل اپوکسی و قطران زغال سنگ، ماده نهائی بهتری نسبت به هر یک تولید می کند. به هر حال این موضوع در مورد ترکیب اپوکسی قطران زغال سنگ صدق می کند. این ترکیب به پهنه وسیعی از شرایط آبی و نیز موادی از قبیل اسید هیدروکلریک، هیدروکسید سدیم و نفت خام ترش، مقاوم است. ترکیب این دو ماده، تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد در مقابل شکم دادن مقاومت می کند و تردی کمتر و مقاومت به ضربه بیشتری از قطران زغال سنگ اصلاح نشده دارد. همانطور که قبلاً ذکر شد، مکانیزم پخت اپوکسی

قطران زغال سنگ بر اثر یک عامل پخت آمین انجام می شود. آلیفاتیک آمین، یک پوشش بسیار سخت، چقرمه، و چسبنده تولید می کند. اپوکسی قطران زغال سنگ، همچنین ممکن است با عوامل پخت پلی آمید مخلوط شود، تا یک پوشش فنری تر و قدری نرمتر، و نیز با چسبندگی خوب ایجاد کند. اپوکسی قطران زغال سنگ پلی آمید، دارای مقاومت عالی در مقابل آب است.

همچنین اپوکسی قطران زغال سنگ پلی آمید، دارای برخی اشکالات جدی است. تورق بین لایه ها یکی از اشکالات است. آب یا رطوبتی که مدت‌های مدید روی سطح و بین لایه ها قرار داشته باشد، با نور شدید خورشید، حتی برای چند ساعت، باعث تورق لایه ها خواهد شد. ناکارآمدی اپوکسی قطران زغال سنگ با آمین پخته شده، به شدت ماده پخته شده با پلی آمید نیست. مهندس خوردگی در استفاده از پوششهای اپوکسی قطران زغال سنگ باید این موضوع را در نظر داشته باشد. این مشکل به اندازه ای جدی است که در برخی نمونه های مشخص، اپوکسی های قطران زغال سنگ پلی آمید، برای پوشش خارجی استفاده نمی شود.

برای غلبه بر این مشکل، تولید کننده هایی پوششهای قطران زغال سنگ پلی آمید، ماده پر- جامدی، تولید کرده اند که در یک لایه با ضخامتی بین ۱۵ تا ۲۰ میل اعمال می شود. این ماده به خوبی اعمال می شود و یک لایه صاف و هموار تولید می کند، و به علت عدم نیاز به لایه دیگر تورق ایجاد نمی شود.

دو حوزه ای که پوششهای اپوکسی قران زغال سنگ مؤثر بوده است، شامل صنایع فاضلاب و دریایی است. در صنعت فاضلاب، برای پوشش فولاد و بتن به کار می رود. در این حالت، اپوکسی قطران زغال سنگ با آمین پخته شده، به علت خوردگی باکتریایی روی عامل پخت پلی آمید، ضروری است. اپوکسی قطران زغال سنگ نه تنها مقاوم به غوطه وری مداوم در آب است، بلکه حفاظت خوبی در مقابل سولفید هیدروژن اکسید شده که عامل خورنده در شرایط فاضلاب است، ایجاد می کند. در صنعت دریایی به عنوان پوششهایی برای پوسته کشتی ها، مخازن شن، مخازن محموله دریایی و برای مقاومت به آب نمک و نفت خام، استفاده می شود. در این مورد مشکل سولفید هیدروژن وجود دارد، و اپوکسی قطران زغال سنگ دارای مقاومت عالی به نفت ترش است.

خاصیت دیگر پوشش قطران زغال سنگ، مقاومت عالی آن به جریانهای حفاظت کاتدی است. در صنعت دریایی، به عنوان پوسته ای اطراف آندهای جریان اعمالی به کار می رود تا جریان را از آند دور کند و چگالی جریان مورد نیاز در آن منطقه خاص را کاهش دهد. این پوشش، یکی از چند ماده ای است که در چگالی جریانهای قوی در این منطقه ایستادگی می کند.

۵-۲-۶- پلی آمیدها

واکنش رزین اپوکسی پایه با رزینهای پخت پلی آمید، احتمالاً اساس اغلب پوششهای اپوکسی مقاوم به خوردگی است که بطور گسترده بکار می رود. در حالی که ممکن است پلی آمیدها نوعی ترکیب پخت به نظر برسد، اما عملاً مواد رزینی است که دارای گروههای آمین بوده و این گروهها با رزین های اپوکسی واکنش می دهد. مکانیزم پیوند عرضی این واکنش شبیه با همان است که در مورد آلیفاتیک آمین بحث شد.

رزینهای پلی آمید ویسکوزیته و وزن مولکولی مختلفی دارند و در مقادیر مختلف با رزینهای اپوکسی پایه به کار می روند. در این روش نیز برخی ویژگیهای پوشش قابل تغییر است. به هر حال، پوششهای پلی آمید اپوکسی، معمولاً به طور قابل ملاحظه ای، نرمتر، فیزیکی تر و انعطاف پذیر تر از پوششهای اپوکسی آمین می باشد. آنها همچنین در برخی خواص تفاوت دارند. پلی آمیدها دارای مقاومت عالی به قلیا بوده، اما مقاومت به اسید در آنها به اندازه پوششهای اپوکسی آمین نیست. مقاومت به شرایط جوی پوششهای پلی آمید اپوکسی به طور قابل توجه، بهتر از نوع آمین است. بنابراین در ابتدا پوششهای پلی آمید اپوکسی برای مقاومت به خوردگی اتمسفری استفاده شد، در حالی که بعداً به طور گسترده تر به عنوان آسترهای مخازن و پوششهای درونی برای شرایط خوردگی اسید استفاده گردید. پلی آمیدها مقاومت کمتری نسبت به آمین ها در حلالها دارند. پوششهای پلی آمید اپوکسی بسادگی در دمای اتاق پخته می شود و معمولاً دارای عمر ماندگاری خوبی برای سهولت اعمال است. رزینهای پلی آمید، با مولکولهای نسبتاً بزرگ، عامل پختی بسیار بزرگتر از آمین ها دارند، بنابراین اغلب در دو ظرف تقریباً هم حجم برای

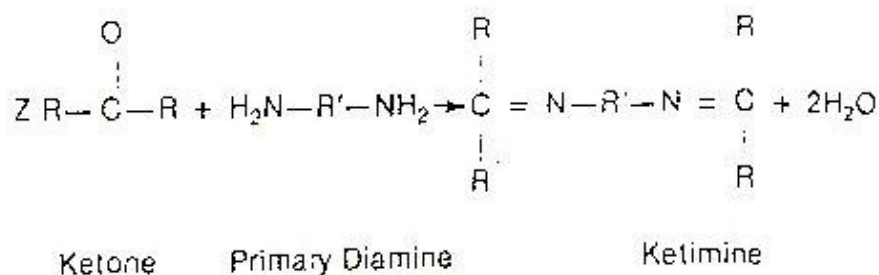
محلول رزین اپوکسی و عامل پخت رزین پلی آمید، بسته بندی می شود. این کار، همچنین اعمال آنها را آسان می کند.

اپوکسی های محصولات افزایشی آمین

محصولات افزایشی پلی آمین در اثر واکنش رزینهای اپوکسی (با وزن مولکولی نسبتاً کم)، با مقدار زیادی از پلی آمینهای مخصوص، از قبیل دی اتیلن تری آمین ساخته می شود. رزین اپوکسی منتهی به آمین بدست آمده سپس می تواند با اپوکسی رزین پایه در واکنش معمول آمین واکنش دهد. محصول بدست آمده، مشابه اپوکسی آمین است. به هر حال، این محصول مزیت کاهش فراریت و ایمنی از خطرات آمین با وزن مولکولی کم را دارد. محصول افزایشی آمین که دارای مقدار بسیار کمی آمین مونومر آزاد است، تمایل بسیار کمتری به تغییر رنگ، یا مهاجرت به سطح پوشش در مورد آمین مونومر دارد، که مزیتی ممتاز است. همچنین، وزن ترکیبی بسیار زیاد محصولات افزایشی، در مقایسه با آمین مونومر، حجم بسیار بیشتری بدست می دهد و بنابراین بحران کمتری برای عامل پخت ایجاد می کند. در این حالت دوباره، عامل پخت می تواند تقریباً حجمی معادل رزین پایه داشته باشد تا اختلاط شرایط کاری را ساده کند.

کتیمین اپوکسی

ماده دیگری که برای تشکیل پوشش مقاوم به خوردگی به کار می رود، عامل پخت کتیمین است. این حالت را، عامل پخت آمین "بلوک شده" نیز می نامند. عامل پخت کتیمین، بوسیله واکنش یک آمین اصلی با یک کتون تهیه می شود. هیدروژنهای فعال روی دی آمین اصلی، با تشکیل کتیمین برداشته می شود و عامل پخت بلوک شده غیر فعال شکل می گیرد. کتیمین تا زمانی که آب موجود در هوا، با آن واکنش ندهد و دوباره به آمین اصلی و کتون تبدیل نشود، فعال نمی گردد. آمین، سپس به همان روشی که هر آمین اصلی دارد مطابق شکل ۳۳، واکنش می دهد. کتون به تنهایی تبخیر می شود، بطوری که بیشتر وارد واکنشهای پوشش نمی گردد.



شکل ۳۳- عامل پخت کتیمین، بوسیله واکنش یک آمین اصلی با یک کتون تهیه می شود [۱۲].

مزیت این نوع عامل پخت در پوششهای اپوکسی پر- جامد است، که در آن عوامل پخت آمین آنچنان سریع واکنش می دهد که تشکیل پوشش، غیر قابل کنترل است. همچنین در پوششهای بسیار ضخیم و بدون حلال به کار می رود. کتیمین از وقوع واکنش شدیداً گرمزای آمین، تا زمانی که آمین به تدریج توسط رطوبت هوا خارج شود، پیشگیری می کند، بنابراین باعث تشکیل پوششی می گردد، که به خوبی کنترل و از نظر اعمال معقول است.

اپوکسی های آمین آروماتیک

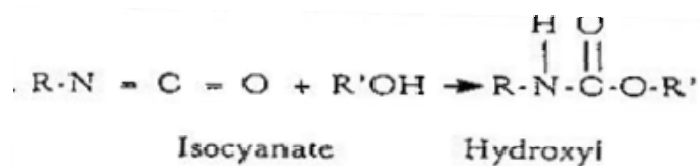
واکنش رزین اپوکسی در حالت آمین های آروماتیک، بسیار آهسته تر است، و اغلب برای پخت مناسب باید همزمان دما تا حدود ۳۰۰ درجه فارنهایت افزایش یابد. آمینهای آروماتیک را عمدتاً برای پلاستیک های ترکیبی بکار می برند، از طرف دیگر در پوششهایی با مقاومت اندک به خوردگی از آمین های آروماتیک هوا خشک استفاده می شود. در این حالت، آمین آروماتیک در یک حلال قوی، هم برای رزین اصلی اپوکسی و هم برای آمین، حل می گردد، در این حلال، گروه آمین مولکول آروماتیک در تماس نزدیکی با گروههای اپوکسید مولکول اپوکسی قرار می گیرد. واکنشی صورت می گیرد که در دماهای محیطی معمولاً کندتر از واکنش با اغلب آمین های آلیفاتیک است.

در این فرآیند آمین آروماتیک اپوکسی، بیشترین مقاومت به مواد شیمیایی و حلال موجود را با پختن در هوا ایجاد می کند. این مواد دارای مقاومت به خوردگی عالی بوده و به عنوان آستر یا پوشش، تحت اتمسفرهای شیمیایی قوی، به خوبی عمل می کنند.

۵-۲-۷- پلی اورتان

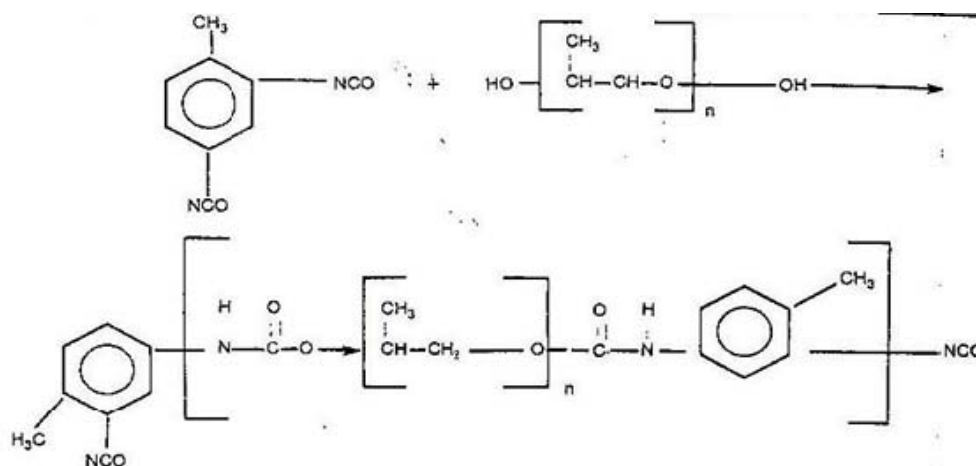
پوششهای پلی اورتان ترکیباتی پوششی با ویژگی های مختلفی ایجاد می کنند، و در نتیجه فعالیت شیمیایی ایزوسیانات با بسیاری از مواد پایه با خواص مختلف، تشکیل می گردند. پلی اورتان ها مواد نرم یا فوم و لاستیکی و نیز محصولات بسیار سخت، چقرمه و مقاوم به سایش اند. از دیدگاه پوشش، گروههای مورد بحث به واکنشهای پلی اورتان با خصوصیات پوششی خوب محدود می شود. پوششهای پلی اورتان حاوی رزینها، بوسيله واکنش ایزوسیانات ها، با ترکیبات حاوی هیدروکسیل مانند، آب، مونوگلیسرین ساخته شده با الکی کردن روغنهای خشک شونده، پلی استرها، پلی اترها، اپوکسی رزینها و بسیاری دیگر، ساخته می شود. در حقیقت هر جا که یک گروه هیدروکسیل فعال وجود داشته باشد، ایزوسیانات با آن واکنش می دهد.

چندین واکنش شیمیایی در فرمول بندی و پخت پوششهای اورتان شرکت می کند. جدیدترین واکنش در ساخت رزین، و همچنین واکنشی مفید در تشکیل فیلم عبارتست از، واکنش یک گروه ایزوسیانات با گروههای هیدروکسیل موجود در پلی اترها، روغن های کرچک، پلی استرها، یا الکل پلی هیدریک که از روغن های خشک شونده مشتق می شود.



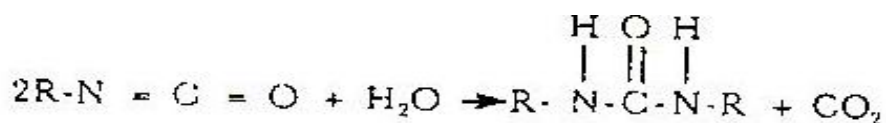
شکل ۳۴- واکنش شیمیایی تشکیل پوششهای اورتان [۱۲]

تشکیل بسیار با استفاده از ایزوسیانات دو یا چند عاملی و ترکیبات با پایانه هیدروکسیل، ممکن می‌گردد. به عنوان نمونه، واکنش بین ۴-تولوئن دی ایزوسیانات (TDI) و یک پلی اتر، از قبیل پلی پروپیلن گلیکول، یک پری پلیمر یا پلی اورتان با پایانه ایزوسیانات تشکیل می‌دهد. پلی اترهای تجاری موجود، دارای محدوده وزن مولکولی از چند صد تا چندین هزار می‌باشد. (شکل ۳۵)



شکل ۳۵- یک پری پلیمر یا پلی اورتان با پایانه ایزوسیانات [۱۲]

پلی اورتان با پایانه ایزوسیانات میتواند واکنش بیشتری با ترکیبات حاوی هیدروکسیل اضافی بدهد، تا حتی بسپارهای بیشتری تشکیل دهد. یکی از واکنشهای مهم دیگر گروه ایزوسیانات، واکنش با آب است.



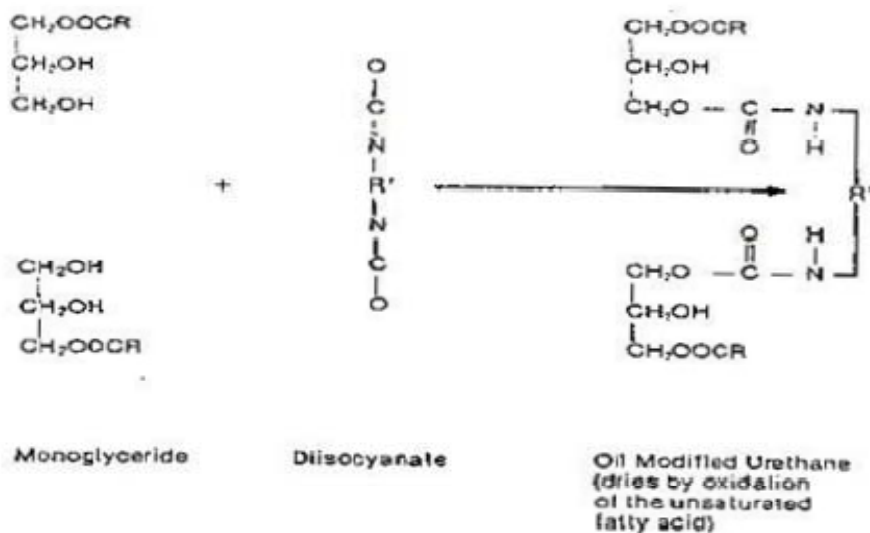
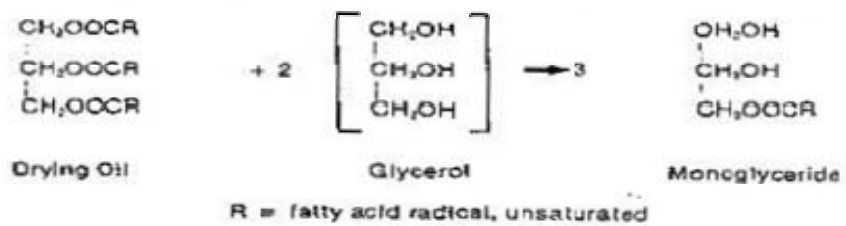
شکل ۳۶- یکی از واکنشهای مهم گروه ایزوسیانات با آب [۱۲]

این واکنش با پلی اورتان با پایانه ایزوسیانات نشان داده شده، انجام می شود که مکانیزم عمومی تمام اورتانهای رطوبت- پخت می باشد. پلی اورتان خطی، با واکنش نشان داده شده، تولید می شود. به هر حال، برای پوشش پیوند عرضی بسیار نامحلول استفاده از پلی اول های کارا تر، از قبیل تری اول ها مهم است، آنچنانکه پیوند عرضی با درجه مطلوب در مولکول تولید شود.

با بزرگتر شدن درجه های پیوند عرضی، پوششهای سخت تر و کم انعطاف تر نتیجه می شود. واکنش ایزوسیانات با هیدروکسیل ها، عمدتاً اساس تمام پوششهای اورتان یا ایزوسیانات مختلف می باشد. بر طبق استاندارد ASTM، پنج نوع پوشش مختلف اورتان وجود دارد.

۱- پلی اورتان های اصلاح شده با روغن

در حالت پلی اورتان اصلاح شده با روغن، محصولات الکلی روغنهای خشک شونده با ایزوسیانات واکنش می دهد. این واکنش، بسپاری با روغنهای خشک شونده اشباع نشده، به عنوان قسمتی از آن تشکیل می دهد. الکل کردن یک روغن به یک مونو گلیسرید، و نیز واکنش دی ایزوسیانات با مونوگلیکول یا دی گلیکول در شکل ۳۷ آمده است. قسمت روغن پلیمر، سپس به یک فیلم پوششی اکسیده می شود.



شکل ۳۷- واکنش دی ایزوسیانات با مونوگلیکول یا دی گلیکول برای تشکیل

پلی اورتان های اصلاح شده با روغن [۱۲]

این پوششها حاوی هیچ ایزوسیانت فعالی در زمان اعمال نیست، زیرا در طی ساخت کاملاً واکنش می دهد. آنها شبیه جلاهای بادوام دریائی به نظر می رسد و اعمال می گردد. این پوششها به طور گسترده به عنوان پوشش نهائی شفاف چوب، جلاهای کف و جایگزین جلای بادوام به کار رفته و بسیار مقاوم به سایش می باشند و دارای ماندگاری، براقیت خوب و توانائی مقاومت در شرایط جوی می باشند.

۲- پلی اورتانهای رطوبت - پخت

پلی اورتانهایی که با رطوبت واکنش می دهد، با رزینهایی که دارای یک گروه پایانه ایزوسیانات در مولکولهایشان است ساخته می شود، همانطور که قبلاً برای تشکیل یک پلیمر نشان داده شد، پلیمر پس از اعمال، با رطوبت هوا واکنش می دهد تا پوشش نهایی پیوند عرضی شده را تشکیل دهد.

به طور کلی دی الکلها با وزن مولکولی بالاتر، انعطاف پذیری و مقاومت به سایش را با از دست دادن سختی و مقداری از مقاومت شیمیائی، فدا می کند. افزایش تری اول ها، چقرمگی زیادی را به واسطه پیوند عرضی، ایجاد می کند. بسیاری از این پلی اورتان های تک بسته ای، به منظور دستیابی به ترکیبی از سختی، انعطاف پذیری و چقرمگی عملاً مخلوطی از دی اول ها و تری اول ها، است. پوششهای بسیاری پلی اورتان، به علت ترکیبی از خواصی که در یک تک پوشش ممکن است وجود داشته باشد، سودمند است. مقاومت سایشی، در ترکیب با انعطاف پذیری، سختی و استحکام کششی، از جمله ویژگیهای برجسته آنها است. مقاومت به مواد شیمیائی و حلالل پلی اورتانهایی که در رطوبت پخته می شود، نیز؛ خوب است.

این حقیقت که پوششهای اورتانی، با رطوبت هوا پخته می شود نیز گاهی اوقات مشکل ساز است. زمان پخت به سرعت در رطوبتهای بالا کاهش می یابد، در حالیکه اگر رطوبت بسیار پائین باشد، آنقدر این زمان کش می آید که به نقطه عدم پخت می رسد. این نکته در کاربرد این نوع پوششها باید در نظر گرفته شود. همچنین به علت پیوند عرضی و افزایش مقاومت حلالی این مواد، قبل از اینکه بسیار کاملاً پخته شود، باید عمل پوشش مجدد صورت گیرد. این عمل معمولاً در مدت ۲۴ ساعت پس از اعمال پوشش انجام گیرد. در غیراینصورت، پوشش نیاز به سایش دارد، تا چسبندگی درون پوشش را تأمین کند. یکی از عمومی ترین، کاربردهای پلی اورتان رطوبت- پخت، برای پوشش نهائی کف پوش چوبی است. این پوشش بیشترین مقاومت به سایش و استحکام مکانیکی را به همراه ظاهری عالی ارائه میکند. همچنین روی بتنی که پوشش نهائی تک - بسته ای بسیار چقرمه و مقاوم به سایش است، استفاده می شود.

۳- اورتانهای بلوک شده

همانگونه که قبلاً نشان داده شد، پری پلیمر به همراه پوششهای اورتان بلوک شده بکار می رود. و در این حالت با واکنش گروههای ایزوسیانات با ماده ای از قبیل، فنل، وارد یک ترکیب افزایشی می شود، و آنرا در دمای اتاق غیر فعال می کند. این ماده می تواند به روشی بسته بندی شود که بتواند با پلی اول ها و رنگدانه های دیگر با پایداری خوب درون بسته ای، بسته بندی گردد. به هر حال پخت رزینهای بلوک شده، نیازمند حرارت دادن است، و قبل از انجام هر عمل پختی، باید به یک دمای حدی برسد. در حالت رزینهای بلوک شده، نیازمند حرارت دادن است، و قبل از انجام هر عمل پختی، باید به یک دمای حدی برسد. در حالت رزینهای بلوک شده با فنل، این دما در حدود ۱۴۰° درجه سانتیگراد است. با استفاده از کاتالیزور ممکن است سرعت بسیار بالا برود. این مواد به علت ضرورت حرارت دادن، معمولاً برای پوششهای ضد خوردگی در محل کار استفاده نمی گردد و عمدتاً به عنوان لعاب محصولات به کار می رود.

۴- پری پلیمر به اضافه کاتالیزور

در پوششهای پری پلیمر به اضافه کاتالیزور، پری پلیمر ایزوسیانات، با واکنشی به کار می رود که ضرورتاً همان واکنش رطوبت - پخت است به استثنای اینکه کاتالیزورها با آن مخلوط می شود تا پخت را افزایش داده و سریع کند. کاتالیزورهایی که استفاده می شود، خشک کننده های فلزی از همان نوعی است که برای روغنهای خشک شونده یا برخی از آمینها، از قبیل دی اتانول آمین استفاده می شود.

۵- پلی اورتانهای دو جزئی

در حالت پوششهای دو بسته ای، پری پلیمرها، پری پلیمرهایی که در محصول رطوبت - پخت بکار می رود، از جهت اینکه وزن مولکولی نسبتاً کمی دارد فرق می کند. این پری پلیمرها، با پلی اول های با وزن مولکولی نسبتاً کم از قبیل الکل ها، واکنش می دهد، تا محصولات افزایشی تولید کند. این محصولات افزایشی سپس قسمتی از سیستم دو ظرفی را تشکیل می دهد. پخت از جزء ثانویه ای بدست می آید که می تواند هر پلی اولی که در

انواع دیگر پوششها اورتان در نظر گرفته شده است، باشد. گروههای هیدروکسیل بیشتری که روی پلی اول در بسته دیگر موجود است، پیوند عرضی بزرگتری را ایجاد می کند، که مقداری از انعطاف پذیری فیلم ها می کاهش دهد، اما مقاومت به مواد شیمیایی و حلال را افزایش می دهد.

۶- لاکهای اورتان

لاکهای اورتان بخصوصی نوعی که زرد نمی شود، اخیراً گسترش یافته است. آنها که با تبخیر ساده حلال خشک می شود، پوششهای ترموپلاستیک کاملاً بسپار شده با وزن مولکولی نسبتاً بالایی بوده و در حلالهای مناسب حل می گردد. این بسپارها با واکنش پلی ایزوسیانات ها، با پلی اول ها، تهیه می شود تا هیچ پری - ایزوسیاناتی باقی نماند. بسپار بدست آمده، در حلالهایی مانند دی متیل فرم آمید، تتراهیدروفوران، یا ترکیبات حلالی، از قبیل متیل سلوسولو استات و زایلین، حل می گردد. این لاکها جامد نسبتاً کمی دارد، به هر حال، فیلمهایی با محدوده استحکام، خیلی سخت تا نرم و لاستیکی، تولید می کند. حتی لاستیک به تنهایی، می تواند با این مواد پوشش یافته و حفاظت گردد. در حقیقت، این پوششها اغلب برای اجزاء انعطاف پذیر یا نیمه صلب، مانند سپرهای خودرو بکار می رود. این لاکها برای مقابله با خوردگی بکار نمی رود. با این همه این محصولات جدیدی بوده که دارای خاصیت با ارزشی در مقاومت در برابر خوردگی است.

۷- اورتان های زرد ناشونده

یکی از مهمترین پیشرفتهای اورتان، استفاده از ایزوسیانات های آلیفاتیک در گسترش پری بسپارها می باشد. پوششهای پلی اورتان از پوششهایی که با گذشت زمان به زردی می گراید به پوششهای زردناشونده عالی، براق و بادوام، تغییر یافته است. یکی از بهترین ایزوسیانات های آلیفاتیک، یعنی هگزامتیلین دی ایزوسیانات، بسیار سمی است. بسیاری از ایزوسیانات های آلیفاتیک دیگر نیز موجود است. با این حال، اغلب این مواد قدری نرم تر و سرعت پخت کندتری از آنچه برای پوششهای مقاوم مطلوب است، دارند. برای دستیابی به نتایج مطلوب با ایزوسیانات آلیفاتیک،

ضروری است که بسیار اصلی تغییر کند. شیمی ایزوسیانات های آلیفاتیک بجز ویژگی زرد ناشوندگی همان است که قبلاً توصیف شد، یکی از کاربردهای متداول این مواد، برای هواپیما است. پوشش هواپیما، باید در مقابل سایش برف، ذرات غبار، باران و غیره مقاوم باشد و :

۱- به طور مداوم شرایط جوی را تحمل کنند

۲- دارای براقیت خوب و بادوام باشند

۳- دارای خاصیت حفظ کیفیت رنگ باشند

۴- نسبت به سیالات هیدرولیک، بنزین، سوخته‌های جت و حلالهای مشابه دیگر مقاوم باشد.

۵-۲-۸- رزینهای محلول در آب

تحقیقات بسیاری بر روی این سیستم در نتیجه محدودیتهای استفاده از حلالهای آلی در پوشش ها، صورت گرفته است. این پوششها، معمولاً سیستمهای دوبسته ای پلی آمید اپوکسی بوده، که در آن جز اپوکسی، امولسیون بر اساس مخلوط بخصوصی از یک اپوکسی رزین مایع و یک مونومر اپوکسی آلیفاتیک است. ویسکوزیته کمی که توسط رقیق کننده آلیفاتیک به اپوکسی رزین داده می شود، واکنشهای رزین را در طی تشکیل فیلم با تبخیر آب، به خوبی به هم می آمیزد.

جزء عامل پخت پلی آمید، در مخلوطی از یک حلال آروماتیک (با نقطه جوش بالا) و یک حلال آبی بدون هیدروکسیل (قابل اختلاط) از قبیل اتیلن گلیکول مونواتیل اتر استات، وارد می شود.

در سیستم اپوکسی دو بسته ای مرسوم، جزء عامل پخت، به طور جدا بسته بندی می گردد. هرچاکه شرایط جوی اجازه بدهد (رطوبت متوسط و دمای حدود ۱۵ درجه سانتیگراد)، پوششهای مبتنی بر آب، دارای کارکرد خوب، حتی تحت برخی شرایط خوردگی شدید، است.

پوششهای روی فلزی - سیلیکاتی از هر نوع پوشش حفاظتی ، مقاومت بیشتری را در برابر آب و هوا و حلالهای خورنده از خود نشان می‌دهند. این گونه محصولات دارای هیچگونه ماده آلی نبوده و در حقیقت با هر حلالی، به اضافه مواد کلرینه، می‌توانند بکار گرفته شوند. این پوششها از عمر بالایی در حدود ۲۰ سال برخوردارند.

عیب اصلی پوششهای روی فلز - سیلیکات ، مقاومت شیمیایی محدود و خواص کاربردی بحرانی آنهاست. از آنجایی که این پوششها ، حاوی فلز روی می‌باشند در برابر محیط های اسیدی قوی و محیطهای بازی قوی مناسب نیستند.

جهت کاربرد موفقیت آمیز آنها نیاز به آماده سازی خوب سطح و حداقل تجهیزات خاص می‌باشد.

پوششهای فلز روی - سیلیکات دارای سه خاصیت برجسته هستند.

- نسبت به هر ماده پوششی شناخته شده ، بهترین مقاومت در برابر محصولات نفتی و حلالهای شیمیایی از خود نشان می‌دهند.

- نسبت به هر ماده پوششی شناخته شده ، بهترین مقاومت در برابر محیطهای آب و هوایی شدید را نشان می‌دهند .

- نسبت به خوردگی زیر لایه حتی پس از یک دهه یا بیشتر خیلی حساس نیستند.

خاصیت اخیر از اهمیت خاصی برخوردار است به همین خاطر این پوششها بعنوان آستر در صنایع نفت ، مواد شیمیایی و پتروشیمی بکار برده می‌شوند.

در شرح رفتار سیستمهای پوششی و رنگهای آلی معمولاً گفته می‌شود که ۶۵٪ معایب رنگ ناشی از خوردگی زیر لایه بوده و ۱۰٪ بقیه بخاطر فساد و تخریب سطح لایه در جریان اکسیداسیون است. در مقایسه، پوششهای سیلیکات کاملاً از خوردگی زیر لایه جلوگیری کرده و نیز در محدوده توانایی اندازه‌گیری ما از اکسیداسیون سطح جلوگیری می‌کنند.

جزء اصلی که بیش از ۹۰٪ وزنی کل رنگ را شامل می‌شود پودر روی بوده که با ابعاد ۳۰ تا ۶۰ میکرون بکار برده می‌شود. جزء مایع در ابتدا از سیلیکات سدیم که یک کانی کاملاً

معدنی است استفاده می‌شد و اخیراً حدود ۱۰٪ هیدروکسید سدیم و یک درصد بی‌کربنات سدیم و یا عوامل دیگر آزاد کننده کربن دی‌اکسید و آب در آنها استفاده می‌شود. تصاویر میکروسکوپی نشان می‌دهد که پس از اعمال پوشش بر روی سطح (سطحی که آماده سازی شده است) هم پیوند شیمیایی و هم پیوند فیزیکی انجام می‌گیرد.

خشک شدن این رنگها می‌بایست در محیط‌های مرطوب صورت پذیرد چرا که رطوبت عامل کاتالیزوری جهت انجام واکنش‌های شیمیایی و همچنین خشک شدن رنگ می‌باشد. همچنین آماده سازی سطح جهت اعمال این نوع رنگها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. آماده سازی نامناسب سبب کاهش چشمگیر چسبندگی این رنگها می‌شود.

عمر بسیار طولانی پوشش‌های معدنی در شرایط آب و هوایی خورنده نشان دهنده وجود لایه‌های متراکم پوشش بوده که از عبور آب، اکسیژن و یونهای مخرب جلوگیری می‌کند. مهمتر از آن وجود روی می‌باشد که نسبت به فلز پایه (فولاد) آندی تر بوده و سوراخهای ریز اتفاقی، مناطق کاتدی کوچک در برابر مناطق آندی بزرگ محسوب می‌شوند و از خوردگی این مناطق جلوگیری بعمل می‌آید.

این پوششها وقتی با پوششهای آلی مقاوم در برابر مواد شیمیایی نظیر اپوکسی‌ها و وینیلها و پوشانیده شوند، مقاومت خیلی بالا در برابر محیط‌های خورنده از خود نشان می‌دهند. در چنین حالتی رویه های آلی در واقع از تماس محلولهای شیمیایی مهاجم جلوگیری کرده و حتی با نفوذ بخار آب به داخل پوشش با وجود پودر روی، خوردگی اتفاق نمی‌افتد.

رنگهای زینک ریچ (ZRP) یکی از بهترین پوششها جهت حفاظت فولاد و جلوگیری از خوردگی آن در محیط‌های مرطوب دریایی و آب و هوای صنعتی می‌باشند. معمولاً ترکیبات حاوی این رنگ بسیار فعال هستند. که در اصطلاح به آنها (VOC)^۱ می‌گویند. در سال ۱۹۷۰ اغلب از پوششهای پودری جهت حفاظت فولاد استفاده می‌شد. این پوششها بطریق ترموست اعمال شده و از هیچ نوع حلال آلی استفاده نمی‌شد. در این رنگ پودر فلز روی^۲

¹ - Volatile Organic Compounds

² - Zinc Dust

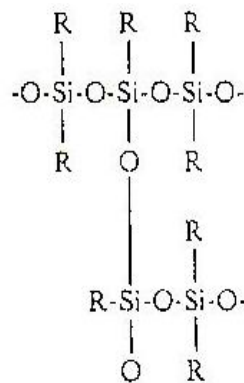
توسط حلالهای آلی و رزینهای پایه اپوکسی و یا اتیل سیلیکات معلق گشته و با اعمال بر روی سطح فلز و تبخیر شدن حلالها و ایجاد واکنش های شیمیایی، رزین خشک می گردد. پودر روی در این رنگها حدود ۹۰ درصد وزنی رنگ را تشکیل می دهد. پوششهای زینک ریچ بعنوان یک پوشش محافظ و با مکانیزم حفاظت گالوانیکی، از خوردگی فلز جلوگیری می کنند. لایه تشکیل شده پودر روی بر روی فلز مانند یک لایه گالوانیزه عمل کرده و در رطوبتهای بالا و حتی در محیط های آبی از خوردگی فلز پایه جلوگیری می نماید. پوششهای زینک ریچ می توانند به دو دسته آلی و غیر آلی^۱ تقسیم شوند. دسته اول پوششهای زینک ریچ آلی هستند که شامل پلی آمیدها، اپوکسی ها و کلرینات ها می باشند. دسته دوم پوششهای زینک ریچ غیر آلی هستند که حاوی سیلیکات هستند. که جزء پوششهای معدنی محسوب می گردند. روش اعمال رنگهای زینک ریچ آلی بسیار آسان بوده و ضخامت رنگ کافی جهت حفاظت کامل یک سازه در حدود ۸۰ تا ۱۲۰ میکرون می باشد. در رنگهای زینک ریچ غیر آلی بدلیل این که خشک شدن این رنگها می بایست در محیط های مرطوب صورت پذیرد اعمال رنگ از حساسیت خاصی برخوردار است. چرا که در حین خشک شدن امکان ایجاد ترک نیز بر روی رنگها وجود دارد. از این رو حداکثر ضخامت این رنگها جهت اعمال تا ۱۵۰ میکرون مجاز می باشد. [۱۰] رنگهای زینک ریچ غیر آلی حتی می توانند تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد از خوردگی فلز جلوگیری نمایند.

۵-۲-۱۰- سیلیکونها

سیلیکونها با اصلاح شیمیایی کوارتز، شن یا سیلیسیم شکل می گیرد. این مواد از شیشه بی اثرتر است، اما در همان زمان می تواند به همان روش بسپارهای آلی درون پوشش

¹ - Inorganic

شرکت کند. این بسپارها مبتنی بر سیلیسیم است که عمدتاً پیوند های سیلیسیم-اکسیژن-سیلیسیم دارد. اتم سیلیسیم بسان اتم کربن، چهار عاملی است، و ممکن است دارای یک یا بیش از یک گروه عامل متصل شده، براساس کربن آلی باشد. گروههای آلی که بیشترین خواص مطلوب، در ترکیب با سیلیسیم را دارا است، گروههای متیل و فنل است. رزینهای حاوی فنیل زیاد، مقاومت حرارتی و اکسایشی بهتری نسبت به استخلافات متیل دارد. اغلب رزینهای سیلیکون که در صنعت پوششی به کار می رود، ترکیبی از هردو است، و بسپارهای متیل فنیل سیلیکون را تشکیل می دهد. با خواص بسیار متنوع که به نسبت گروههای متیل و فنیل بستگی دارد. بسپارهایی که در صنعت پوشش، برای بیشتر قسمتها استفاده می شود، دارای شکل زیر است.



Silicon Polymer

where R = organic groups

شکل ۳۸- رزینهای سیلیکون که در صنعت پوششی به کار می رود [۱۲]

یک بسپار سیلیکون، ممکن است دارای گروههای آلی مختلفی باشد، که به اتمهای سیلیسیم اتصال می یابد. با افزایش تعداد گروههای بسپار سیلیکون، رزین، نرمتر و انعطاف پذیرتر، شده و قدری آرامتر پخته، و ترموپلاستیک تر می گردد. اغلب رزینهای سیلیکون در حلالهای هیدروکربنی حل می شود. حلالها معمولاً در ساخت رزین وارد می شود تا کنترل هیدرولیز مولکول سیلیسیم اصلی بهبود یابد و از ژلاتینی شدن جلوگیری گردد.

رزینهای سیلیکون اصلاح شده، که در بالا ارائه شد، عموماً باید در دمای بالا پخته شود تا خصوصیات بهینه بدست آید. به هر حال کار در حضور کاتالیزرها انجام می شود. اغلب کاتالیزرهای روی، از قبیل نفتنات روی، استفاده می شود که نتایج خوبی داشته است. دماهای پخت با استفاده از روی تا (۴۰۰ درجه فارنهایت) ۲۰۵ درجه سانتیگراد کاهش می یابد. برخی از خواص پوششهای سیلیکون در زیر آمده است:

سختی

سیلیکونهای معمولاً قدری نرم تر از بسیاری از پوششها است، و اگر رزینهای سیلیکون با مواد پوششی آلی اصلاح شود، سختی شان قابل بهبود است.

چسبندگی

چسبندگی سیلیکون عموماً برای اغلب سطوح زیرین مناسب است، که البته مانند مواد آلی، بستگی به تمیزی سطح دارد.

مقاومت سایشی

بسپارهای سیلیکون معمولاً مقاومت ضعیفی به سایش دارد که با اصلاح بوسیله مواد آلی مقاومت به مقدار زیاد بهبود می یابد.

مقاومت شیمیائی

به طور کلی مقاومت شیمیائی سیلیکون ها، شامل مقاومت در برابر آب، اسیدهای متوسط، قلیاها و دیگر مواد خورنده خوب است. رزینهای اصلاح شده عموماً دارای مقاومت ضعیفی به حلال می باشد.

مقاومت حرارتی بالا

مقاومت حرارتی یکی از خواص برجسته پوششهای سیلیکون است. این مواد با تشکیل رنگدانه های سیاه، یا آلومینیم، در دماهای ۵۴۰ تا ۶۴۰ درجه سانتیگراد مقاومت می کند، وقتی با فریت های سرامیک رنگدانه ای شود، بر اساس بسپارهای متیل فنیل، اغلب

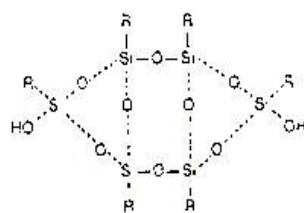
بعنوان پوشش نهایی معدنی روی، برای استفاده مداوم در دماهای ۳۶۰ تا ۵۴۰ درجه سانتیگراد به کار می رود.

مقاومت به شرایط جوی

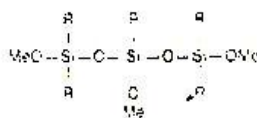
رزینهای سیلیکون دارای خاصیت شفافیت در برابر نور فرابنفش می باشد. به این علت، به طور کلی تحت زوال و تجزیه ای که پوششهای آلی قرار دارند، واقع نیستند. این پوششها دارای مقاومت عالی به آب و تغییر حرارتی (که بی شک در مقاومت به شرایط جوی دخالت می کند) می باشد. پوششهای سیلیکون اصلاح نشده ای وجود داشته است که بیش از ۱۲ سال، بدون از دست دادن براقیت و تغییر رنگ، و نیز سفیدک زدن و سایر عیوب پوشش، تحت شرایط جوی قرار داشته است.

مقاومت به خوردگی

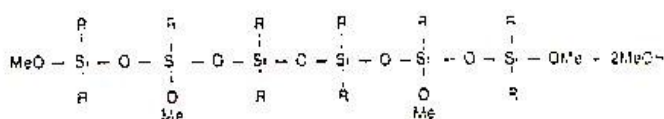
رزینهای سیلیکون دارای خواص الکتریکی عالی هستند. یعنی عایقهای الکتریکی خوبی بوده و این خواص در ترکیب با خاصیت طبیعی دفع آب، آنها را برای پوششهای مقاوم به خوردگی مورد توجه قرار داده است. یکی از کاربردهای طولانی مدت رزینهای سیلیکون، در قسمت خارجی دودکشهایی است که نه تنها تحت تغییر دما بلکه تحت اثر دی اکسید گوگرد و دیگر محصولات احتراقی، قرار دارد. این پوششها در آزمایشهای پاشش نمک تا دمای ۴۸۰ درجه سانتیگراد بدون مشکل بوده اند. سیلیکون ها، با دیگر بسپارهای آلی هم بسپار می شود تا خواص مقاومت به حرارت و شرایط جوی مواد آلی را بهبود بخشد. با این همه، به طور کلی هم بسپارها دارای خصوصیات مطلوبتری است. هم بسپارها از چندین واسطه سیلیکون ساخته شده است که دارای گروههای هیدروکسیل یا متوکسی در اتصال با مولکول سیلیسیم می باشد. این گروهها با بسپارهای آلی که دارای گروههای هیدروکسیل است، واکنش می دهد. واسطه های سیلیکون در شکل ۳۹ نشان داده شده است.



intermediate I



intermediate II



intermediate III

شکل ۳۹- واسطه های سیلیکون [۱۲]

بسیاری از هم بسپارهای سیلیکون برای مهندس خوردگی مهم است و ممکن است حتی به علت ویژگی مقاومت به آب، شرایط جوی و خوردگی، بیشتر مورد توجه باشد. آلکیدیهای سیلیکون، سیلیکونهای اپوکسی و مواد مشابه، دارای مقاومت دمائی، شرایط جوی و مقاومت به مواد شیمیائی بهتری نسبت به مواد آلی تنها می باشد.

۳-۵- آزمایشات و استانداردهای مربوط به پوشش

جهت حصول اطمینان از کیفیت پوششهای مصرفی و اعمال شده در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی لزوم انجام آزمایشات کنترل کیفی مطابق استانداردهای بین المللی و ملی به چشم می خورد. به طور کلی آزمایشات کنترل کیفی بر روی پوششهای صنعتی به سه دسته تقسیم می شوند.

- آزمونهای تعیین مشخصه‌های فیزیکی
- آزمونهای تعیین مشخصه‌های مکانیکی
- آزمونهای شیمیایی و محیطی پوششها

۵-۳-۱- آزمونهای تعیین مشخصه‌های فیزیکی

این آزمونها شامل: وضعیت ظاهری، درجه ته نشینی، دانه بندی، قدرت پوشش (پوشاندگی)، قدرت گسترش رنگ، ویسکوزیته، دانسیته، درصد جامد وزنی مواد، درصد جامد حجمی مواد، ضخامت فیلم رنگ، نقطه اشتعال، زمان خشک شدن سطحی و زمان خشک شدن عمقی می‌باشد.

بیشتر آزمونهای مربوطه در هنگام عملیات ساخت رنگ و پوشش انجام می‌پذیرد و اطلاعات مربوطه در **Data Sheet** های مربوط به پوشش خریدار ارائه می‌گردد. اطلاعات موجود در نحوه اعمال رنگ و کیفیت لایه اعمالی می‌تواند تأثیرگذار باشد.

۵-۳-۲- آزمونهای تعیین مشخصه مکانیکی

این آزمونها میزان مقاومت پوشش را در برابر عوامل مکانیکی مشخص می‌نمایند که هم می‌تواند در کارخانه‌های سازنده پوشش بر روی نمونه‌های از پیش آماده شده انجام پذیرد و هم می‌توان برخی از این آزمونها را پس از اعمال پوشش بر روی تجهیز انجام داده و مقاومت پوشش را نسبت به عوامل مکانیکی بررسی نمود.

آزمونهای مربوطه شامل: تست چسبندگی، تست ضربه، مقاومت به سایش، خمش و سختی می‌باشد.

آزمونهای شیمیایی و محیطی جهت بررسی وضعیت پوشش و مقاومت آن در برابر محیطهای مختلف خورنده انجام می‌پذیرد که اکثر این آزمایشات پس از ساخت پوشش و در آزمایشگاه با استفاده از تجهیزات خاصی انجام می‌شود. نمونه این آزمایشات شامل: تعیین مقاومت پوشش در محیط با رطوبت ۱۰۰٪، تعیین مقاومت در محیط **Salt Spray**، غوطه‌وری در محیطهای شیمیایی مختلف، تعیین مقاومت پوشش در برابر اشعه ماورای بنفش، تعیین مقاومت حرارتی پوشش و تعیین مقاومت پوشش در محیطهای خورنده از قبیل SO_2 و H_2S می‌باشد.

کلیه آزمایشات مذکور مطابق استانداردهای بین‌المللی از قبیل **ASTM**، **DIN**، **BS** و **ISO** و استانداردهای ملی ایران انجام می‌پذیرد که جدول ۱۵ آزمایشات کنترل کیفی مربوط به پوشش‌ها به همراه شماره استاندارد بین‌المللی آنها، آورده شده است.

جدول ۱۵- لیست آزمونهای کنترل کیفی به همراه استانداردهای مربوطه

ردیف	عنوان	شماره استاندارد	سال انتشار
1	آزمون ضخامت سنجی بر روی فیلم خشک پوشش (سطوح فلزی آهنی)	ASTM D 1186	2001
2	آزمون ضخامت سنجی بر روی فیلم خشک پوشش (سطوح فلزی غیر آهنی)	ASTM D 1400	2000
3	آزمون ضخامت سنجی بر روی رنگ تر	ASTM D 4414	2001
4	آزمون تعیین زمان خشک شدن خشک شدن رنگ	ASTM D 1640	1999
5	آزمون تعیین درصد حجمی مواد جامد	ASTM D 2697	1998
6	آزمون تعیین درصد وزنی مواد جامد	ASTM D 2369	2001
7	آزمون تعیین دانه بندی	ASTM D1210	1996
8	آزمون تعیین ویسکوزیته رنگ	ASTM D 1200 D2196, D562	1999
9	آزمون تعیین دانسیته	ASTM D 1475	1998
10	آزمون تعیین مقاومت چسبندگی	ASTM D 3359, D4541	1997
11	آزمون تعیین مقاومت ضربه	ASTM D 2794	1999
12	آزمون تعیین مقاومت سایشی (سایش خشک)	ASTM D 4060	2001
13	آزمون تعیین مقاومت سایشی (سایش تر)	ASTM D 2486	2000
14	آزمون تعیین براقیت	ASTM D 523	1999
15	آزمون تعیین سختی	ASTM D4366, D3363	1995
16	آزمون تعیین مقاومت جامی شدن	DIN 53156 ISO 1520 BS 3900 part E4	1998 2001
17	آزمون تعیین مقاومت خمش عنوان	ASTM D 522	2001
18	آزمون مه نمکی (سالت اسپری)	ASTM B 117	1997
19	آزمون تعیین مقاومت پوششها در برابر رطوبت	ASTM D 2247	1999
20	آزمون تعیین مقاومت پوششها در برابر UV با لامب گزنون	ASTM D 5071 ISO 11341	1999 1994
21	آزمون تعیین مقاومت پوششها در برابر مواد شیمیایی	ASTM G 20 ASTM D 1308	1988 1987
22	آزمون تعیین مقاومت پوششها در برابر آب	ASTM D 870	1997
23	آزمون تعیین مقاومت در برابر حرارت	ASTM D2485	2000
24	آزمون تعیین نقطه اشتعال	ASTM D 3278	1996
25	آزمون مقاومت پوششها در محیط خورنده SO2	DIN 50018 EN ISO 6988	1997
26	آزمون لایبینگها در محیط سیالهای خورنده	ASTM C541, C543	1998, 1995
27	آزمون پوششهای اپوکسی مورد استفاده در تاسیسات آب شرب	AWWA C210	1997
28	آزمون مقاومت رنگ در برابر شوره	ASTM D4400	1999

در این قسمت به برخی از آزمایشات کنترل کیفی عملیاتی که می‌تواند شاخص خوبی در کیفیت رنگ و یا پوشش اعمال شده بر روی تجهیزات نفت، گاز و پتروشیمی باشد، اشاره و کاربرد آزمونهای کنترل کیفی و استانداردهای مرتبط با آنها توضیح داده می‌شود.

۱- بازرسی‌های چشمی^۱

به طور کلی کلیه پوششهایی که بر روی تجهیزات اعمال می‌شود می‌بایست از نظر ظاهری فاقد عیوب باشند. این عیوب می‌تواند شامل عدم یکنواختی رنگ یا پوشش بر روی سطح شره‌گی پوشش، ترک خوردن روی پوشش، وجود حفره یا Pinhole روی پوشش و ... می‌باشد. که می‌توان با داشتن اطلاعات کافی از طریق بررسی Reference های موجود به نوع عیب در پوشش پی برد.

۲- تست چسبندگی^۲

این تست یکی از کاربردی‌ترین تست‌های مربوط به پوشش می‌باشد که هم در آزمایشگاه و هم پس از اعمال پوشش بر روی تجهیز قابل انجام می‌باشد. هدف از انجام این تست بررسی میزان چسبندگی بین پوشش و فلز پایه و یا بین پوششها می‌باشد. این آزمون می‌تواند کیفیت لایه سطحی فلز بعد از عملیات آماده‌سازی سطح را نیز مشخص نماید. چنانچه از کیفیت پوشش اطمینان حاصل شده و بین پوشش و فلز پایه چسبندگی وجود نداشته باشد مشخص می‌گردد که عملیات آماده‌سازی سطح قبل از رنگ آمیزی به درستی انجام نشده است.

استاندارد مرتبط با این آزمون ASTM D 3359 و ASTM D454 می‌باشد همچنین روش انجام تست در بخش ۳-۵ به تفصیل آورده شده است.

¹ - Visual Inspection

² - Adhesion Test

۳- آزمون ضخامت سنجی پوشش

آزمون ضخامت سنجی پوشش به منظور اطمینان از ضخامت مناسب پوشش مطابق دستورالعملهای کارفرما به کار گرفته می‌شود. این آزمون به دو صورت انجام می‌پذیرد.

الف) آزمون ضخامت سنجی پوشش در حالت تر^۱:

در این حالت پس از اعمال پوشش بر روی فلز و تا قبل از زمان خشک شدن پوشش می‌توان با استفاده از ابزار خاصی ضخامت تر پوشش را اندازه‌گیری نمود که این آزمون با استفاده از اطلاعات مربوط به **Data Sheet** پوشش کمک شایانی به اپراتور مربوطه می‌کند تا با در دست داشتن اطلاعات مربوط به ضخامت تر به میزان ضخامت پوشش پس از خشک شدن پوشش پی برده و ضخامت مناسب فیلم تر را جهت به دست آوردن ضخامت نهایی خشک تعیین شده بکار ببرد. این روش مطابق استاندارد **ASTM D4414** انجام می‌پذیرد.

ب) آزمون ضخامت سنجی پوشش در حالت خشک^۲:

در این روش، با اندازه‌گیری ضخامت پوشش پس از خشک شدن نهایی آن توسط ابزار مربوطه می‌توان به ضخامت پوشش پی برد. روش اندازه‌گیری ضخامت پوشش در حالت خشک مطابق استانداردهای **ASTM D1186** جهت سطوح آهنی و **ASTM D1400** جهت سطوح غیر آهنی انجام می‌شود.

۴- Holiday Test

آزمون **Holiday Test** یا تست جرقه نیز یکی از کاربردی‌ترین آزمونها جهت بررسی کیفیت پوشش اعمال شده می‌باشد. در صورتی که پس از اعمال پوشش بر روی تجهیز یا خطوط لوله عیوبی از قبیل **Pinhole**، ترک، حفره و ... وجود داشته باشد که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شود، بکارگیری از روش مذکور می‌تواند با استفاده از اختلاف

¹ - Wet Film Thickness

² - Dry Film Thickness

پتانسیل بین الکتروود و سطح فلز پایه نقاط معیوب را مشخص نمود. ولتاژ بکارگرفته شده در این روش منوط به نوع پوشش و ضخامت پوشش دارد و روش انجام آزمون از استاندارد ASTM G62 پیروی می‌کند. این آزمون کاربرد زیادی در بررسی پوشش خطوط لوله نفت و گاز دارد.

۵- Cathodic Disbonding

این آزمون جهت بررسی میزان مقاومت پوشش به جدایش در خطوط لوله و تأثیر سیستم حفاظت کاتدی و یا جریان‌های ناخواسته بکار برده می‌شود. این آزمون را می‌توان هم در محیط آزمایشگاه بر روی نمونه شاهد از پوشش اعمال شده و یا در سایت و مستقیماً بر روی لوله انجام داد. مکانیزم عملکرد این روش غوطه‌ور کردن پوشش اعمال شده در یک الکترولیت و اعمال جریان به پوشش می‌باشد که در صورت عدم چسبندگی لازم و مقاومت پوشش به ورود و خروج جریان طی یک زمان مشخص پوشش از سطح فلز جدا می‌گردد. این روش مطابق استانداردهای ASTM G95 و ASTM G8 قابل انجام می‌باشد.

۶- Chemical Disbondment

در این آزمون می‌توان مقاومت پوشش را در برابر مواد شیمیایی مختلف و یا محیط‌های مختلف اندازه‌گیری نمود. در این روش با غوطه‌ور نمودن نمونه پوشش داده شده در محیط‌های شیمیایی و خورنده می‌توان به میزان مقاومت پوشش به محیط‌های خورنده پی برد. این آزمون طبق استانداردهای بین‌المللی ASTM G20 و ASTM D1308 انجام می‌پذیرد.

همچنین مطابق استانداردهای ASTM C541 و ASTM C543 می‌توان مقاومت لاینیگها یا لایه‌های پوشش را در محیط‌ها و سیال‌های خورنده اندازه‌گیری نمود.

۷- آزمون تعیین ویسکوزیته پوشش

این آزمون کاربرد زیادی در زمان اعمال پوشش از طرف اپراتور اعمال رنگ دارد. در صورتی که ویسکوزیته پوشش خیلی پایین باشد میزان اعمال رنگ با ضخامت کمتری قابل انجام می‌باشد و در صورتی که ضخامت‌های زیاد مدنظر باشد امکان ایجاد عیوبی از قبیل شره‌گی و عدم یکنواختی ضخامت پوشش وجود خواهد داشت. همچنین عملیات رنگ-آمیزی جهت رسیدن به ضخامت مورد نظر با سرعت کمتری انجام می‌پذیرد. در صورتی که ویسکوزیته پوشش بالا باشد مشکلاتی از قبیل گرفتگی رنگ در لوله‌های تجهیزات رنگ-آمیزی یا نازل‌ها و پوست پرتقال شدن سطح پوشش و ایجاد حفره در پوشش ایجاد می‌گردد که ممکن است عملیات پوشش‌دهی را با مشکل مواجه سازد. از این رو اندازه-گیری ویسکوزیته رنگ جهت بکارگیری مناسب میزان حلال مصرفی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

آزمون مذکور را می‌توان مطابق استانداردهای جهانی ASTM D1200، ASTM D2196 و ASTM D562 انجام داد.

دیگر آزمونهای مورد نظر مطابق جدول ۱۵ از نظر عملیاتی کاربرد خاصی نداشته و در صورت کسب اطلاعات مربوطه می‌توانید به استانداردهای معرفی شده رجوع نمایید.

جمع بندی و نتیجه گیری

شناخت انواع پوششها شامل خواص مکانیکی، خواص شیمیایی، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت به جذب رطوبت و ... از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. به طور کلی پوششها به سه دسته تقسیم می‌شوند.

۱- پوششهای آلی

۲- پوششهای معدنی

۳- پوششهای فلزی

پوششهای آلی پایه ترکیبات آلی هستند و از محصولات پتروشیمی به دست می‌آید. این پوششها در بیشتر موارد قابلیت‌های خیلی خوبی در برابر محیط‌های اسیدی و بازی از خود نشان می‌دهد. پوششهای معدنی مربوط به پوششهای ساخته شده توسط مواد معدنی می‌باشد که از جمله آن می‌توان به پوشش زینک اتیل سیلیکات اشاره نمود. گروه آخر پوششهای فلزی، پوششهایی هستند که با مکانیزم پیل گالوانیک باعث جلوگیری از خوردگی فلز پایه می‌شوند.

پرسش و پاسخ

پرسش:

مکانیزم عملکرد پوششهای فلزی در جلوگیری از خوردگی را بیان کنید.

پاسخ:

پوششهای فلزی یکی از انواع پوششهای بکار گرفته شده جهت جلوگیری از خوردگی می‌باشند. این پوششها از مکانیزم ایجاد پیل گالوانیک جهت جلوگیری از خوردگی فلزات استفاده می‌نمایند در این گونه پوششها با توجه به بررسی جداول EMF می‌توان نوع فلزی که بعنوان پوشش استفاده می‌شود و خود نقش آند فداشونده ایفاد می‌کند انتخاب نمود بطور مثال پوشش گالوانیزه بر روی آهن که از فلزی روی استفاده می‌شود. در صورت وجود یک عیب در پوشش و ارتباط فلزی با محیط از آنجائی که فلز پوشش نقش آند را بازی می‌کند خورده خواهد شد و از خوردگی فلز پایه (آهن) جلوگیری بعمل می‌آورد.

پرسش:

در سیستم سه تایی رنگ نقش هر لایه را بیان کنید.

پاسخ:

در سیستم رنگ سه تایی هر یک از لایه‌ها نقش خاصی در کیفیت سیستم رنگ ایفاد می‌کنند لایه اول بعنوان پرایمر یا آستری استفاده می‌شود این لایه نقش چسبندگی کل سیستم رنگ

را با فلز مربوطه دارد. لایه بعدی لایه میانه می‌باشد. این لایه نقش تغییرات کل ضخامت سیستم رنگ را بازی می‌کند و در صورتی که در این حالت محدودتی در خصوص ضخامت رنگ، در این لایه وجود ندارد لایه آخر رنگ بعنوان لایه نهایی یا **Top Coat** می‌باشد که نقش اصلی آن جلوگیری از نفوذ رطوبت، مقاومت مکانیکی مناسب در برابر عوامل جوی و همچنین مقاومت مناسب در برابر نور خورشید می‌باشد.

پرسش:

مکانیزیم عملکرد رنگهای پایه فلز روی (Zinc) را بیان کنید.

پاسخ:

پیگمنت اصلی این رنگ شامل پودر روی می‌باشد که این پودر پس از اعمال رنگ بعنوان لایه محافظ جهت جلوگیری از نفوذ رطوبت و همچنین نقش حفاظت کاتدی را بروی فلز زمینه ایفاد می‌کند.

رنگهای پایه روی به دو دسته تقسیم می‌شوند رنگهای پایه آلی از نوع زینک ریج اپوکسی و رنگهای پایه معدنی از نوع زینک اتیل سیلیکات. نوع اول پس از اعمال توسط واکنش شیمیایی بین رزین و هاردنر مربوطه خشک می‌شود و نوع دوم پس از اعمال نیاز به محیط مربوط جهت خشک شدن دارد. که این موضوع حساسیت این رنگ را در زمان خشک شدن بالا می‌برد در صورتی که رطوبت کافی به رنگ اعمال نشود امکان تخریب رنگ و عدم خشک شدگی آن در بعضی از مکانها وجود خواهد داشت.

پرسش:

در صورتی که رنگ زینک اتیل سیلیکات دارای عیوبی باشد و نیاز به **Repair** داشته باشد از چه دستور العملی پیروی می‌نماید.

پاسخ:

این رنگ یکی از حساسترین رنگهای بکار گرفته شده در صنایع می‌باشد. خشک شدن رنگ مذکور با روشهای رطوبت رسانی به سطح قطعه انجام می‌پذیرد و در صورتی که در برخی از نقاط نیاز به **Repair** رنگ جهت برطرف کردن عیوب و یا افزایش ضخامت رنگ مدنظر باشد

استفاده از رنگهای زینک ریچ ابوکسی پیشنهاد می‌گردد چراکه چنانچه از رنگ پایه جهت برطرف کردن عیوب استفاده می‌شود باعث جدایش رنگ، عدم چسبندگی، ایجاد ترک و عیوب متفاوت دیگری خواهد شد.

- 1- Mars. G. Fontana, "Corrosion engineering" 1986, Third edition.
- 2- R. Winston Revie and Herbert H. Uhlig "Corrosion and corrosion control an introduction to corrosion science and engineering "Wiley interscience, England. 4th Edition.
- 3- Grundmeier, G & simoes .A, "Corrosion protection by organic coatings, Encyclopedia of Electrochemistry corrosion and oxide Film " , wiley – VCH ,Vol.4, 2003.
- 4- Ghareveiski Gh. R, "understanding Paint" second Edition, 2003.
- 5- Kasiriha S. M, "Standard guideline of surface preparation and application of protective coating" Iranian Corrosion Association, Iran, 2003.
- 6- Philip A. Schweitzer, "Corrosion of linings and coating cathodic and inhibitor protection and corrosion monitoring" Hand book of Corrosion, Second Edition, 2007.
- 7- J. R Davis, "Surface engineering for corrosion and wear resistance" Davis & Associates, The material information society, 2001.
- 8- Frankel .G.S & Londolt. D, "Fundamental of corrosion, Encyclopedia of Electrochemistry corrosion and oxide Film " , wiley – VCH, Vol.4, 2003.

- 9- Almeida padinha .E , Pereira .D , Justo .M.J “ study of Behavior of several zinc coatings in Atmospheres containing sulphur dioxide “ 10th ICMC , Research & technology Middletown ohio , 1986.
- 10- “User’s Guide to Hot dip Galvanizing for corrosion protection in Atmospheric Services, National Association of corrosion Engineers , Houston , Texas , 9th publication , 1983.
- 11- Lawson .H.H “ Atmospheric Testing of metallic coating “ 10th ICMC , Research & technology Middletown ohio , 1986.
- 12- Philip .A & Schweitzer. P.E “Atmospheric Degradation and corrosion control “marcel Dekker INC, New york. Basel , 1999.
- 13- Jaferi Asl. M “word market situation of paint and resins “ , international paint and resins symposium, 8-9 Dec 1992.