

فصل (۶)

روشهای جلوگیری از خوردگی

انتخاب مواد :

۶-۱- فلزات و آلیاژها

متداولترین روش جلوگیری از خوردگی انتخاب فلز یا آلیاژ مناسب برای کاربرد مورد نظر است. چون این روش در واقع مهمترین روش جلوگیری یا کم کردن خسارت حاصل از خوردگی است، فصلهای ۵، ۷، ۸ و ۱۱ نیز به این موضوع اختصاص داده شده است. در اینجا مختصراً بعضی قوانین کلی ذکر می شود. یکی از متداولترین برداشتهای غلط افرادی که با متالورژی یا مهندسی خوردگی آشنایی ندارند در باره موارد استفاده و ویژگی های فولاد زنگ نزن^(۱) می باشد. فولاد زنگ نزن به معنای واقعی " زنگ نزن " نبوده، همچنین مقاوم ترین فلز در برابر خوردگی نیز نبوده و یک آلیاژ مشخص هم نیست. فولاد زنگ نزن یک اسم کلی است که به یک گروه بیش از ۳۰ نوع آلیاژ مختلف

شامل ۱۱/۵ تا ۳۰ در صد کرم و صفر تا ۲۲ در صد نیکل به همراه عناصر آلیاژی دیگر اطلاق می شود. فولادهای زنگ نزن در مقابله با خوردگی کاربرد وسیعی دارند، ولی بایستی به خاطر داشت که در تمام محیطها مقاوم نیستند. در حقیقت، در بعضی شرایط مثل محیطهای حاوی کلرور و در صورت وجود تنش در فلز، فولادهای زنگ نزن از فولاد ساختمانی معمولی هم ضعیف تر است. فولادهای زنگ نزن نسبت به فولادهای ساختمانی معمولی استعداد بیشتری به خوردگی موضعی مثل خوردگی بین دانه ای، ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش و حفره دار شدن دارند. غالباً کیفیت فولادهای زنگ نزن را بوسیله آهن ربا تعیین می کنند. اعتقاد بر این است که فولادهای زنگ نزن غیر مغناطیسی بهتر از نوع مغناطیسی هستند. لکن این آزمایش بی اساس بوده و در حقیقت ممکن است همراه کننده باشد. گروه زیادی از آلیاژهای فولاد زنگ نزن غیر مغناطیسی بوده و اکثر فولادهای زنگ نزن آستینیتی ریختگی از خود رفتار مغناطیسی نشان می دهند. رابطه ای بین مغناطیس پذیری و مقاومت خوردگی وجود ندارد. تحت بعضی شرایط بسیاری از فولادهای زنگ نزن مغناطیسی بهتر از انواع غیر مغناطیسی کار می کنند. بطور خلاصه، این تصور که فولادهای زنگ نزن در کاربردهای مشتمل بر خوردگی همواره بهترین هستند، منجر به انهدام های بسیار زیادی شده است. در حقیقت فولادهای زنگ نزن گروهی از آلیاژهای مقاوم در برابر خوردگی با قیمت نسبتاً کم هستند که بایستی با احتیاط و دقت مورد استفاده قرار بگیرند.

در انتخاب آلیاژها، چند زوج موفق فلز- محیط خورنده وجود دارد. این زوجها معمولاً نشان دهنده بیشترین مقاومت خوردگی با حداقل هزینه می باشند. بعضی از این زوجها موفق در زیر آمده است:

- ۱ - فولاد زنگ نزن - اسید نیتریک
- ۲ - نیکل و آلیاژهای آن - مواد قلیایی
- ۳ - مونل - اسید فلوریدریک
- ۴ - هاستولی ها (کلریمیت ها) - اسید کلریدریک گرم
- ۵ - سرب - اسید سولفوریک رقیق
- ۶ - آلومینیم - آتمسفرهای پاکیزه
- ۷ - قلع - آب مقطر
- ۸ - تیتانیم - محلولهای اکسیدان قوی و گرم

۹- تانتال - بیشترین مقاومت

۱۰- فولاد - اسیدسولفوریک غلیظ

لیست فوق تنها لیست، از زوجهای موفق نیست. در بسیاری موارد، مواد ارزن تر یا مواد مقاوم تر وجود دارند. برای کار در اسیدنیتریک، معمولاً اول فولاد زنگ‌زن در نظر گرفته می‌شود، زیرا فولادهای زنگ‌زن دارای مقاومت عالی در این محیط تحت شرایط بسیار مختلف می‌باشد. قلع و پوششهای قلع، تقریباً همیشه برای نگهداری یا لوله‌کشی آب مقطر خیلی خالص انتخاب می‌شود. سالهای زیادی است که تانتال را بعنوان فلزی که دارای بالاترین مقاومت خوردگی است بکار می‌برند. تانتال در اکثر اسیدها در تمام غلظتها و تمام دماها مقاوم است و معمولاً در شرایطی که کمترین مقدار خوردگی بایستی وجود داشته باشد، مثلاً در اندام‌های مصنوعی داخل بدن انسان به کار می‌رود. یک ویژگی جالب در مورد تانتال این است که از نظر مقاومت در برابر خوردگی تقریباً دقیقاً شبیه شیشه است، هم شیشه و هم تانتال در تمام محیطها مقاومند بجز اسیدفلوریدریک و محلولهای بازی. به علت این شباهت تانتال و شیشه، تولیدکنندگان تجهیزات با روکش شیشه‌ای از در پوش‌هایی از جنس تانتال برای پوشاندن نواقص سطحی روکش استفاده می‌کنند.

همچنین چند قانون کلی دیگر نیز در انتخاب فلزات و آلیاژها می‌توان مورد استفاده قرار داد. در محیطهای احیاءکننده یا غیر اکسیدان مثل اسیدها و محلولهای آبی فاقد هوا، از نیکل، مس و آلیاژهای آنها می‌توان استفاده کرد. در شرایط اکسیدکننده، آلیاژهای کرم دار مفید هستند. در شرایط اکسیدکننده بسیار قوی تیتانیم و آلیاژهای آنها قابل استفاده است. این قانون کلی در فصول ۷ و ۸ نشان داده شده است.

۲-۶ خالص کردن فلز

مقاومت خوردگی یک فلز خالص معمولاً بهتر از فلز ناخالص است. لکن فلزات خالص معمولاً گران تر بوده و نسبتاً نرم و ضعیف هستند. بطور کلی این روش در موارد معدودی که خیلی خاص می‌باشند به کار برده می‌شود. آلومینیم مثال خوبی است زیرا در حالت نسبتاً خالص ۹۹/۵٪ نسبتاً ارزان است. برای نگهداری آب اکسیژنه از آلومینیم خالص تجارتي استفاده می‌کنند، زیرا وجود ناخالصیها می‌تواند باعث تجزیه آب اکسیژنه گردد. در یک مورد دیگر، در اثر

جدایش^(۱) ناخالصیهای آهن در آلیاژ آلومینیم خوردگی موضعی واقع گردید. تقلیل مقدار ناخالصی آهن باعث از بین رفتن خوردگی فوق شد.

مثال دیگر زیر کونیم تولید شده به وسیله قوس الکتریکی است که از نظر خوردگی دارای مقاومت بیشتری نسبت به زیر کونیم تولید شده به وسیله کوره القائی است. علت این امر وجود ناخالصی بیشتر در زیر کونیم تولید شده به وسیله کوره القایی است. این یک کاربرد خاص در نیروگاههای اتمی است که مقادیر بسیار کم خوردگی، خیلی زیاد محسوب می شود.

۳-۶ غیر فلزات

در این گروه هم قطعات و تجهیزات و هم روکش های غیر فلزی قرار دارند. منظور از روکش های غیر فلزی پوشش هایی با ضخامت زیاد هستند که از این نظر از رنگها متمایز هستند. پنج گروه کلی مواد غیر فلزی عبارتند از: (۱) لاستیکها، طبیعی و مصنوعی (۲) پلاستیکها (۳) سرامیکها (۴) کربن و گرافیت و (۵) چوب. این مواد به همراه خواص مکانیکی و مقاومت خوردگی آنها در فصل ۵ مورد بحث قرار گرفته اند. بطور کلی، لاستیکها و پلاستیکها در مقایسه با فلزات و آلیاژها، ضعیف تر، نرم تر، مقاوم تر در برابر یونهای کلر و اسیدکلریدریک، ضعیف تر در برابر اسیدسولفوریک غلیظ و اسیدهای اکسیدان مثل اسید نیتریک، ضعیف تر در برابر حلال ها بوده و دارای محدودیت درجه حرارت هستند (۱۷۰ تا ۲۰۰°F برای اکثر آنها). مواد سرامیکی دارای مقاومت خوردگی عالی و مقاومت در درجه حرارت های بالا هستند، ولی ترد بوده و دارای استحکام پائینی می باشند. کربن و گرافیت مقاومت خوردگی، هدایت الکتریسیته و حرارت خوبی داشته ولی شکننده می باشند. چوب بوسیله محیطهای خورنده از بین می رود.

دستورالعمل شماره ۸ انسیتوتکنولوژی مواد (MTI) راهنمای عملی استفاده از روکش های الاستومری (۱۹۸۳) در مورد روکشهای لاستیکی مخازن، خطوط لوله، هواکش ها، فیلترها، اسکرابرها و غیره می باشد. این دستورالعمل حاوی قسمت هایی در مورد لاستیکهای مورد استفاده، انتخاب، آزمایشات، طراحی، ساخت، آماده سازی تجهیزاتی که بایستی روکش شوند، عملیات، بازرسی، پذیرش، نگهداری، مقاومت

شیمیایی و هزینه می باشد. روشهای صحیح و غلط توضیح داده شده اند. در این راهنما همچنین در مورد لاستیکهای طبیعی نرم و سخت، پلی کلروپیرین، و لاستیکهای بوتیل توضیح داده شده است.

۴-۶ تغییر محیط خورنده

تغییر محیط خورنده یک روش عمومی برای تقلیل خوردگی است. نمونه تغییراتی که غالباً به کار برده می شود عبارتند از: (۱) تقلیل درجه حرارت (۲) تقلیل سرعت (۳) خارج ساختن اکسیژن یا اکسیدکننده ها و (۴) تغییر غلظت. در بسیاری موارد این تغییرات به نحو موثری می تواند خوردگی را کم نماید، لکن بایستی به احتیاط عمل شود. همانطور که در فصل ۲ بطور مفصل بحث شد تاثیر این تغییرات بستگی به سیستم فلز - محیط خورنده دارد.

کم کردن درجه حرارت: این کار معمولاً باعث تقلیل قابل ملاحظه سرعت خوردگی می گردد. لکن در بعضی شرایط تقلیل درجه حرارت تاثیر کمی بر سرعت خوردگی خواهد داشت (به قسمت ۸-۲ رجوع شود). در موارد دیگر، افزایش درجه حرارت خوردگی را کم می کند. این حالت موقعی اتفاق می افتد که آب تازه یا نمکدار به نقطه جوش می رسد و در نتیجه تقلیل قابلیت انحلال اکسیژن با بالارفتن درجه حرارت می باشد. بنابراین آب دریا به صورت جوشان، خوردگی کمتری نسبت به آب دریا به صورت داغ (مثلاً ۱۵۰ درجه فارنهایت) دارد.

کم کردن سرعت حرکت: یکی از روش هایی که اغلب برای کنترل خوردگی به کار می رود، تقلیل سرعت حرکت می باشد. همانطور که در قسمت ۷-۲ بحث شد، افزایش سرعت حرکت معمولاً سرعت خوردگی را افزایش می دهد، اگر چه استثنائات مهمی در این مورد وجود دارند. فلزات و آلیاژهایی که غیر فعال می شوند، مثل فولادهای زنگ نزن معمولاً در محیطهای متحرک بهتر عمل می کنند تا در محلولهای ساکن. هر جا که امکان داشته باشد، از سرعت های خیلی بالا بایستی اجتناب شود، زیرا خوردگی سایشی به وجود می آید (فصل ۳).

خارج کردن اکسیژن یا اکسید کننده‌ها: این روش یکی از روشهای خیلی قدیمی کنترل خوردگی است. برای مثال آب تغذیه دیگ های بخار را از میان توده انبوهی از قراضه های فولادی عبور می دادند. روشهای مدرن امروزه شامل: کاربرد خلاء، دمیدن گاز خنثی به داخل محلول یا استفاده از مواد حذف کننده اکسیژن (به قسمت ۵-۶ رجوع گردد) می باشند. اسید کلریدریکی که موقع تولید یا نگهداری آن با فولاد در تماس بوده است، حاوی کلروفریک که یک ناخالصی اکسید کننده است می باشد. این اسید ناخالص که در صنعت اسیدکلریدریک شور یا اسیدموریاتیک^(۱) نامیده می شود، آلیاژهای نیکل - مولیبدن (هاستولی B، کلریمت ۲) را به سرعت می خورد، در حالی که این آلیاژها در اسید کلریدریک خالص مقاومت بسیار خوبی از خود نشان می دهند (فصل ۷). اگر چه هوازدائی^(۲) کاربرد وسیعی دارد، ولی برای فلزات یا آلیاژهای فعال - غیر فعال توصیه نمی شود. برای تشکیل پوسته غیر فعال و باقی ماندن آنها روی سطح فلز، این فلزات و آلیاژها بایستی در معرض مواد اکسیدکننده قرار بگیرند و معمولاً در محیطهای احیاء کننده یا غیر اکسیدان مقاوم نیستند. برای بحث بیشتر در باره اثرات اکسیدکننده ها بر سرعت خوردگی به قسمت ۶-۲ مراجعه شود.

تغییر غلظت: تاثیر تغییر غلظت بر سرعت خوردگی در قسمت ۹-۲ بحث شده است. کاهش غلظت عامل خورنده معمولاً مفید است. در تعداد زیادی از فرآیندها، عامل خورنده بطور اتفاقی وارد می شود. مثلاً با حذف یونهای کلر، خوردگی آب خنک کننده در راکتورهای هسته ای کاهش می یابد. تعداد زیادی از اسیدها مثل اسیدسولفوریک و فسفریک در غلظتهای بالا در درجه حرارت های متوسط تقریباً کاملاً خنثی هستند. در این موارد، با افزایش غلظت اسید خوردگی کاهش می یابد.

بحث کنترل خوردگی بدون ذکری از وسایل جادویی یا دستگاههای تصفیه آب که بطور وسیعی برای کنترل خوردگی آب فروخته شده و می شوند کامل نخواهد بود. معمولاً ادعا می شود که این وسایل "خوردگی را متوقف خواهند کرد"، "از زنگ زدگی جلوگیری می کنند"، "باکتریها را از بین می برند"، "مزه و بوی آب را بهتر می کنند"، یا "سختی آب را کم می کنند" بعضی تولید کنندگان در مورد محصولات فوق تمام موارد فوق را ادعا می کنند. به هر صورت این وسایل براساس بعضی اصول شبه علمی قرار

دارند، بسادگی ساخته می شوند، قیمت بازار آنها گران است و کاملاً فاقد ارزش هستند. با کمال تعجب، سالانه تعداد زیادی از این وسایل بوسیله مهندسين نصب می گردد. وسایل جادویی نیاستی با دستگاهها و سیستمهای سختی گیر آب، آماده سازی آب و حفاظت کاتدی که تولیدکنندگان معتبر می سازند اشتباه شود. وسایل جادویی و بی ارزش معمولاً دارای علائم مشخصه زیر هستند: (۱) بر اساس یک اصل جدید مشکوک یا مخفی قرار دارند (۲) آگهی تبلیغاتی شامل شهادت افراد زیادی (معمولاً از افراد عادی) می باشد (۳) در مشخصات ادعا شده هیچگونه اشاره ای به محدودیت های دستگاه نشده است. دستگاه برای هر نوع آبی مناسب است و هر سیستمی با هر اندازه ای را محافظت می کند (۴) دستگاه معمولاً دارای گارانتی کامل است.

۵-۶ کاربرد ممانعت کننده ها^(۱)

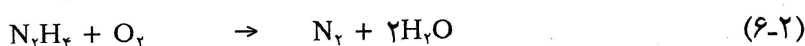
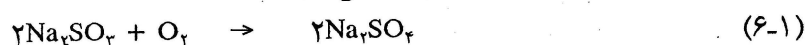
ممانعت کننده ها موادی هستند که وقتی به مقادیر کم به یک محیط خورنده اضافه شوند، سرعت خوردگی را کم می کنند. در واقع ممانعت کننده را می توان یک کاتالیزور باز دارنده فرض کرد. ممانعت کننده های بسیار زیادی با ترکیبات مختلف موجود می باشند. اکثر این مواد با آزمایشات تجربی پیدا شده و اصلاح یافته اند و بسیاری از آنها با نامهای تجارتي عرضه می گردند و ترکیب شیمیائی آنها مخفی نگه داشته می شود. به همین دلیل فرآیند حفاظت به این روش بطور کامل مشخص و روشن نیست. لکن ممانعت کننده ها را می توان بر حسب مکانیزم و ترکیب طبقه بندی نمود.

ممانعت کننده های جذبی^(۲): این مواد بزرگترین گروه ممانعت کننده ها هستند. بطور کلی، این نوع ممانعت کننده ها ترکیبات آلی هستند که جذب سطح فلز شده و واکنشهای انحلال فلز و احیاء را کند می نمایند. در اکثر موارد، ممانعت کننده های جذبی بر هر دو فرآیند آندی و کاتدی تاثیر می گذارند، هر چند که در بعضی موارد این تاثیر یکسان نیست. آمین های آلی نمونه ای از این گروه می باشند.

سموم تصعید هیدروژن: این مواد مثل یونهای آرسنیک و آنتیموان، مانع از واکنش آزاد شدن هیدروژن می گردند. در نتیجه اینگونه مواد در محلولهای اسیدی خیلی موثر

هستند ولی در محیط‌هایی که واکنشهای کاند دیگری مثل احیاء اکسیژن کنترل کننده است بی اثر می باشند.

مواد حذف کننده عوامل مضر^(۱): این مواد عوامل خوردنده را از محیط حذف می نمایند. مثالهایی از این نوع ممانعت کننده عبارتند از سولفیت سدیم و هیدرازین که طبق روابط زیر با اکسیژن حل شده در محیط ترکیب می شوند:



واضح است که این نوع ممانعت کننده‌ها در محلولهایی که احیاء اکسیژن کنترل کننده است خیلی خوب عمل خواهند نمود و در محلولهای اسیدی قوی موثر نخواهند بود.

مواد اکسیدکننده: موادی مثل کرومات، نیتрат و نمکهای فریک نیز در بسیاری موارد به عنوان یک ممانعت کننده مورد استفاده قرار می گیرند. بطور کلی، این مواد برای جلوگیری از خوردگی فلزات و آلیاژهایی که انتقال فعال - غیر فعال از خودشان می دهند، بکار برده می شود. مثل فولاد و آلیاژهای آن و فولادهای زنگ نزن.

ممانعت کننده‌های فاز بخار: این ترکیبات خیلی شبیه ممانعت کننده‌های جذبی بوده و دارای فشار بخار خیلی بالایی می باشند. در نتیجه، از این مواد می توان بدون تماس مستقیم برای جلوگیری از خوردگی آتمسفری فلزات استفاده نمود. در عمل این ممانعت کننده‌ها را نزدیک فلزی که بایستی محافظت شود قرار می دهند، در نتیجه تبخیر و میعان (کندانس) شدن آنها روی سطح فلز باعث حفاظت فلز می شوند. ممانعت کننده‌های فاز بخار معمولاً موقعی موثر واقع خواهند بود که در فضای بسته مثل داخل بسته بندی قطعات یا داخل ماشین آلات در مراحل انبار و حمل و نقل مورد استفاده قرار بگیرند.

در جدول ۶-۱ بعضی ممانعت کننده‌های مهم، به همراه کاربرد و منبع آنها نشان داده شده است. مثالهایی از کلیه انواع مختلف ممانعت کننده‌های فوق الذکر در این

جدول وجود دارند. لازم به ذکر است که ممانعت کننده‌ها از نظر فلز، محیط خورنده، درجه حرارت و غلظت معمولاً منحصر بفرد هستند. همانطور که در بالا بدان اشاره شد غلظت و نوع ممانعت کننده‌ای که در یک محیط خورنده مورد نظر بایستی استفاده شود با آزمایش و به تجربه تعیین می‌گردد، و اینگونه اطلاعات را معمولاً از تولید کنندگان آن مواد می‌توان دریافت نمود. در صورتی که غلظت ممانعت کننده کمتر از اندازه کافی باشد، ممکن است خوردگی تسریع شود، مخصوصاً خوردگی‌های موضعی مثل حفره‌دار شدن. لذا در صورتی که غلظت ممانعت کننده کمتر از اندازه کافی باشد خسارت بیش از موقعی خواهد بود که ممانعت کننده اصلاً بکار برده نشود.

برای پرهیز از این خطر بایستی غلظت ممانعت کننده همواره بیش از مقدار مورد نیاز باشد و غلظت آن بطور متناوب تعیین گردد. موقعی که دو یا چند ممانعت کننده به یک سیستم خورنده اضافه می‌گردد، تاثیر آنها گاهی اوقات بیشتر از تاثیر هر کدام به تنهایی است. این خاصیت را اثر تقویتی^(۱) می‌نامند. تعداد بسیاری از ممانعت کننده‌هایی که در جدول ۱-۶ آمده اند ترکیباتی مرکب از چند ممانعت کننده هستند. مکانیزم اثر تقویتی کاملاً روشن نیست.

اگر چه در موارد بسیاری از ممانعت کننده‌ها به خوبی می‌توان استفاده نمود، ولی محدودیت‌هایی نیز برای این نوع محافظت از خوردگی وجود دارد. ممکن است اضافه کردن ممانعت کننده به سیستم بخاطر آلوده کردن محیط عملی نباشد. به علاوه بسیاری از ممانعت کننده‌ها سمی بوده و کار برد آنها محدود به محیط‌هایی است که بطور مستقیم یا غیر مستقیم در تهیه مواد غذایی یا محصولات دیگری که مورد استفاده انسان قرار می‌گیرند، نمی‌باشد. به همین دلیل نمکهای آرسنیک که در اسیدهای قوی ممانعت کننده‌های بسیار موثری هستند کاربرد محدودی دارند. ممانعت کننده‌ها عمدتاً در سیستم‌های بسته کاربرد داشته و معمولاً در سیستم‌های کاملاً باز^(۲) بکار برده نمی‌شوند. بالاخره با افزایش درجه حرارت و غلظت محیط درجه موثر بودن ممانعت کننده‌ها به سرعت از بین می‌رود.

اطلاعات عمومی بیشتر، شامل جنبه‌های تئوریک و همچنین مثالهای دیگری از کاربردهای انواع مختلف ممانعت کننده‌ها در اینجا بحث می‌شود.

جدول ۱-۶ لیست مراجع ممانعت کننده های خوردگی

فلز	محیط	ممانعت کننده	مراجع
آدمیرالتی	آمونیاک ۵٪	۵٪ اسید فلوریدیک	۵۴
آدمیرالتی	هیدروکسید سدیم، ${}^{90}\text{Be}$	۶٪ مول H_2S بازای هر مول NaOH	۷۱
آلومینیم	اسید کلریدریک ۱N	۳٪ مول الفانیل آکریلین، بتانفتوکوینول	۳۹
آلومینیم	اسیدنتیریک، ۲-۵٪	تیوریا یا ۲-فنیل کوینولین	۲۲
آلومینیم	اسیدنتیریک، ۱۰٪	۵٪ هگزامتیلن تترامین	۲۲
آلومینیم	اسیدنتیریک، ۱۰٪	۱٪ هگزامتیلن تترامین	۱۶
آلومینیم	اسیدنتیریک، ۲۰٪	۱٪ کرومات قلیایی	۲۲
آلومینیم	اسید فسفریک	۵٪ هگزامتیلن تترامین	۵۲
آلومینیم	اسید فسفریک، ۲۰٪	کروماتهای قلیایی	۱۶ و ۶۰
آلومینیم	اسید فسفریک، ۲۰-۸۰٪	۵٪ کرومات سدیم	۱۶ و ۶۰
آلومینیم	اسید فسفریک غلیظ	۱٪ کرومات سدیم	۴۵
آلومینیم	ضد یخ الکی	نیتريت سدیم و ملیبدات سدیم	۶
آلومینیم	آب برم	سیلیکات سدیم	۱۰
آلومینیم	پرموform	آمینها	۴۴
آلومینیم	اروماتیکهای کارینه	۱-۲٪ نیتروکاروبنزن	۲۱
آلومینیم	آب کلر	سیلیکات سدیم	۱۰
آلومینیم	کلرورکلسم، اشباع	سیلیکاتهای قلیایی	۵۹
آلومینیم	اتانول، داغ	دی کرومات پتاسیم	۵۲
آلومینیم	اتانول، تجاری	۳٪ کروماتها، لاکتاتها، استاتها با بوراتهای قلیایی	۵۰
آلومینیم	اتیلن گلیکول	تنگستنت سدیم یا ملیبدات سدیم	۴۱
آلومینیم	اتیلن گلیکول	بوراتها و فسفاتهای قلیایی	۵۲
آلومینیم	اتیلن گلیکول	۱-۱۰٪ نیترات سدیم	۷
آلومینیم	پراکسید هیدروژن، قلیایی	سیلیکات سدیم	۷۵

فلز	محیط	ممانعت کننده	مرجع
آلومینیم	پراکسید هیدروژن	نیتراهای فلزات قلیایی	۲۰
آلومینیم	پراکسید هیدروژن	سدیم متاسیلیکات	۵۹
آلومینیم	متیل الکل	کلرات سدیم + نیتريت سدیم	۴۲
آلومینیم	متیل کلراید	آب	۷۲
آلومینیم	سیال پلی اکسی آلکین	۲٪ اسید دوتریفنی Emery (اسید دی لینولیک)، ۱/۲۵٪ N(CHM) _۲ ، ۰/۲٪ - ۰/۵٪ مرکاپتوبنز و نیازول	۴۳
آلومینیم	آب دریا	۰/۷۵٪ آمیل استئارات ثانویه	۵
آلومینیم	کربنات سدیم، رقیق	فلوسیلیکات سدیم	۶۷
آلومینیم	هیدروکسید سدیم، ۱٪	سیلیکاتهای قلیایی	۵۹
آلومینیم	هیدروکسید سدیم، ۱٪	۲-۴٪ پرمنگنات پتاسیم	۱۷
آلومینیم	هیدروکسید سدیم، ۴٪	۱۸٪ گلوکز	۵۷
آلومینیم	هیپوکلریت سدیم موجود در مواد سفیدکننده	سیلیکات سدیم	۵۸
آلومینیم	استات سدیم	سیلیکاتهای قلیایی	۵۹
آلومینیم	کلورسدیم، ۳/۵٪	۱٪ کرمت سدیم	۲۲
آلومینیم	کربنات سدیم، ۱٪	۰/۲٪ سیلیکات سدیم	۲۸
آلومینیم	کربنات سدیم، ۱۰٪	۰/۵٪ سیلیکات سدیم	۲۸
آلومینیم	سولفید سدیم	گوگرد	۴۶
آلومینیم	سولفید سدیم	۱٪ متاسیلیکات سدیم	۵۹
آلومینیم	محلول ۵۰٪ تری کلرواستات سدیم	۰/۵٪ دی کرمت سدیم	۱
آلومینیم	الکل تتراهیدرو فورفوریل	۱٪ نیترات سدیم	۱۵
آلومینیم	تری اتانولامین	یا ۰/۳٪ کرومات سدیم	۲۲
آهن قلع اندود شده	عوامل پاک کننده قلیایی مثل تری سدیم، فسفات، کربنات سدیم و غیره	۱٪ متاسیلیکات سدیم دی اتیلن دی آمینو کاتیک نیترات	
آهن قلع اندود شده	صابون قلیایی	۱٪ نیتريت سدیم	
آهن قلع اندود شده	کربن تتراکلراید	۲٪ مسی تیل اکسید، ۰/۰۱٪ دیفنیل آمین	
آهن قلع اندود شده	کلورسدیم، ۰/۵٪	۲٪ نیتريت سدیم	

فلز	محیط	ممانعت کننده	مرجع
آهن گالوانیزه	آب مقطر	۱۵ ppm مخلوط متانسفات کلسیم و روی	۷۷
آهن گالوانیزه	۵۵/۴۵ اتیلن گلابکول - آب	۰/۲۵٪ تری سدیم فسفات	۱۲
آهن	نیترواریل آمین ها،	دی بنزیل انیلین	۱۹
برنج	کربن تتراکلراید، مرطوب	۰/۱٪ - ۰/۰۰۱٪ انیلین	۵۳
برنج	فورفورال	۰/۱٪ مرکاپتوبنزوتیازول	۳۶
برنج	سیالهای پلی اکسی الکین	۲٪ اسید Emery (اسیدی لینولئیک)، ۱/۲۵٪، ۰/۵-۰/۲٪، N(CHMe) _۳ مرکاپتوبنزوتیازول	۴۳
برنج	محلول ۵۰٪ تری کلرواستات سدیم	۰/۵٪ دی کرومات سدیم	۳۳
تیتانیوم	اسیدکلریدریک	عوامل اکسیدکننده مثل اسید کرومیک یا سولفات مس	۳۳
تیتانیوم	اسیدسولفوریک	عوامل اکسیدکننده یا سولفات های معدنی	۷۷
روی	آب مقطر	۱۵ ppm مخلوط متانسفاتهای کلسیم و روی	۵۳
سرب	کربن تتراکلراید، مرطوب	۰/۱٪ - ۰/۰۰۱٪ انیلین	۳۵
فولاد زنگ نزن	اسیدسولفوریک، ۲/۵٪	CaSO _۳ ·۵H _۲ O، ۵-۲۰ ppm	۶۵
فولاد زنگ نزن	سیانامید	۵۰-۵۰۰ ppm فسفات آمونیم	۶۶
فولاد	۱:۴ متانول - آب	به ۴ لیتر آب و ۱ لیتر متانول، ۱ گرم پیریدین و ۰/۰۵ گرم پیراگالول اضافه کنید	۲
فولاد	محلولهای کود شیمیائی نیتروژن دار	۰/۱٪ آمونیم تیوسیانات	۴۷
فولاد	اسیدفسفریک، غلیظ	۰/۵٪ - ۰/۰۰۱٪ دودکیلامین یا ۲ آمینوبیسیکلو هگزیل و ۰/۰۰۱٪ پتاسیم آیودید، پتاسیم آیودات یا اسید آیوداستیک	۴۳
فولاد	سیالهای پلی اکسی آلکن گلابکول	۲٪ اسید Emery (دی لینولئیک اسید)، ۱/۲۵٪، N(CHMe) _۳	۷۲
فولاد	کلورسدیم، ۰/۰۵٪	۰/۲٪ نیتريت سدیم	۱
فولاد	محلول ۵۰٪ سدیم تری کلرواستات	۰/۵٪ دی کرومات سدیم	۱۴
فولاد	آبهای شور حاوی سولفید	فرم آلئید	۱۵
فولاد	الکل تتراهیدرو فورفوریل	۱٪ نیترات سدیم یا ۰/۳٪ کرومات سدیم	۷۰
فولاد	آب	اسیدبنزئیک	۳۸
فولاد	آب آبیاری	آمین روزین	۷۳
فولاد	هیدروکربنهای اشباع از آب	نیتريت سدیم	۲۷
فولاد	آب، مقطر	افروسل (یک عامل یونی ترککننده)	۱۲
فولاد با پوشش کادمیم	۵۵/۴۵ اتیلن گلابکول - آب	۱٪ فلوروو فسفات سدیم	

فلز	محیط	ممانعت کننده	مربع
فولاد زنگ‌نزن، ۱۸-۸	پرمگنات پتاسیم موجود در مواد سفیدکننده	سیلیسیکات سدیم	۵۸
فولاد زنگ‌نزن، ۱۸-۸	کلرورسدیم، ۴٪	۸٪/ هیدروکسیدسدیم	۲۹
فولاد	اسیدسیتریک	نمکهای کادمیم	۳۷
فولاد	اسیدسولفوریک رقیق	آمینهای اروماتیک	۵۱
فولاد	اسیدسولفوریک، ۶۰-۷۰٪	آرسنیک	۷۴
فولاد	اسیدسولفوریک، ۸۰٪	۲٪ تری فلورایدیر	۲
فولاد	کلرورالومینیم - آمپلکسهای هیدروکربنی که موقع ایزومریزاسیون تشکیل می‌شوند	۲-۲٪/ پد، اسید هیدرویدیک یا هیدروکربن آیدید	۳۰
فولاد	نیترات آمونیم آمونیاکی	۲٪/ تیوریا	۴۰
فولاد	محلولهای نیترات آمونیم - اوره	۱٪/۵۰-۵٪/ آمونیاک، ۱٪/ تیوسیانات آمونیم	۱۸
فولاد	آب شور حاوی اکسیژن	۳-۱٪/ دی تیوکاربا مانهای متیل، اتیل، یا جایگزین	۴۸
فولاد	کربن تتراکلراید، مرطوب	بوسیله پروپیل	
فولاد	مواد قلیایی - محلول کرسلیات	۱٪/۱۰-۱۰٪/ اتیلین	۵۳
		۱-۱٪/ فسفات تری سدیم	۳
		در ارزیابی محلولهای شستشوی قلیایی	
		پالایشگاهها F ۲۴۰-۲۶۰	
فولاد	اتیل الکل، خالص یا محلول در آب	۳٪/ اتیل آمین یا دی اتیل آمین	۲۵
فولاد	۵۵/۴۵ اتیلن گلایکول - آب	۲۵٪/ فسفات تری سدیم	۱۲
فولاد	اتیلن گلایکول	یورانها و فسفاتهای قلیایی	۲۲
فولاد	اتیلن گلایکول	گاندین یا کربنات گاندین	۲۲
فولاد	تیل الکل، ۷۰٪	۱۵٪/ کربنات آمونیم + ۱٪/ هیدروکسید آمونیم	۵۶
فولاد	فورفورال	۱٪/ مرکاپتوبینزوتیازول	۳۶
فولاد	سیالهای دی الکتریک ها لوژنه شده	۴٪ - ۴٪/ $C_7H_7SSnPh_3$ یا $(C_7H_7)_2Sn$ ، $(C_7H_7S)_2Sn$	۲۲
فولاد	مواد عایق الی مثل دیفریل	۱٪/ $O-MeH_2NH_2$ ، $(NH_2)_2C_6H_3NHPh$	
فولاد	کلرید شده	یا $P-NO_2C_6H_4NH_2$	
فولاد	رسم علف کش مثل ۴۰۲ دی نیترو-	۱-۱٪/ فورفورال	۳۲
فولاد	الکیل قبولها در روغنهای اروماتیک	۳٪/ ایزوپروپانول، ۳٪	
فولاد		۳٪/ نیتريت سدیم + ۵٪/ اسیداولئیک	۷۲

فلز	محیط	ممانعت کننده	مرجع
قلع	کربن تتراکلراید، مرطوب	۱٪-۰/۰۰۱-۰/۱٪ آنیلین	۵۳
قلع	آروماتیکهای کلرینه	۱-۰/۲٪ نیتروکلروبنزن	۲۱
مس قلع اندود شده	هیپوکلریت سدیم موجود در مواد سفیده کننده	سیلیکات سدیم	۵۸
مس	اسیدهای چرب بعنوان اسپیک	H_2SiF_6 یا $(COOH)_2$, H_2SO_4	۶۳
مس	هیدروکربنهای حاوی گوگرد	P - هیدروکسی بنزوفنون	۶۱
مس	سیالهای پلی اکسی آلکن گلابیکول	۲٪ اسید Emery (اسیدی لیبولیک) ۱/۲۵٪ $N(CHMe_2)_3$ ۰/۵۰-۰/۲٪، مرکاپتوبنزنوتیازول	۲۳
مس و برنج	اسیدسولفوریک رقیق	بنزیل تیوسیانات	۶۸
مس و برنج	اتیلن گلابیکول	برانها و فسفاتهای قلیایی	۲۲
مس و برنج	ضد یخ پلی هیدریک الکل	۰/۴-۱/۶٪ Na_2PO_4 + ۰/۲-۰/۶٪ مرکاپتوبنزنوتیازول سدیم	۶۲
مس و برنج	روغن بذرترب	اسید سولستیک	۹
مس و برنج	گوگرد در محلول بنزن	۱۰،۹۰۰/۲٪ آنتراکوئینون	۲۹
مس و برنج	الکل تتراهیروفلورفوریل	۱٪ نیترات سدیم یا ۳٪ کرومات سدیم	۱۵
مس و برنج	آب - الکل	۲۵٪/۰ اسیدبنزنوئیک، با ۲۵٪ بنزوات سدیم در ۱۰-۷/۵ PH	۲۳
منیزیم	الکل	سولفیدهای فلزات قلیایی	۱۶
منیزیم	الکل، متیل	۱٪ اسیداولفیک یا استئاریک که با آمونیاک خنثی شده است	۱۳
منیزیم	الکها، پلی هیدریک	فلوریدهای محلول در ۱۰-۸ PH	۲۶
منیزیم	گلیسرین	سولفیدها فلزات قلیایی	۱۶
منیزیم	گلابیکول	سولفیدهای فلزات قلیایی	۱۶
منیزیم	تری کلرواتیلن	۰/۵۵٪ فرم امید	۵۵
منیزیم	آب	۱٪ دی کرومات پتاسیم	۸
مونل	کربن تتراکلراید، مرطوب	۱٪-۰/۰۰۱-۰/۱٪ آنیلین	۵۳
مونل	کلرورسدیم، ۱٪/۰	۱٪- نیتريت سدیم	۷۲
مونل	آب آشامیدنی	۱٪/۰ نیتريت سدیم	۷۲
نیکل و نقره	هیپوکلریت سدیم موجود در مواد سفید کننده	سیلیکات سدیم	۵۸

مراجع:

REFERENCES

1. Alquist, F. N. and Wasco, J. L., Corrosion, 8, 410-12(1952).
2. J. T. Baker Chemical Co. Product Bull. 101,P.6.
3. Baker, R. A. U.S. Pat. 2,572,301 (Oct. 23, 1951).
4. Baer, M. S., U.S. Pat. 2,513,131 (June. 27, 1950).
5. Baldeschwигler, E. L. and Zimmer, J.C., U.S. Pat.2,396,236, (March. 12, 1946).
6. Bayes, A. L., U.S. Pat. 2,147,395 (Fev. 14, 1939).
7. Bayes, A. L., U.S. Pat. 2,153,952 (Apr. 11, 1939).
8. Beck, A. and Dibelka, H., U.S. Pat.1,876,131 (Sept. 6, 1933).
9. Bhatnagar. S. S. and Krishnamurth, K. G., J. Sci. Ind. Res.(India)4,238-40(1945),C.A. 40-2968
10. Bohner, Hauszeit V., A. W. V. Erftwerk, A. G., Aluminum, 3,347-8(1931).
11. Brooke, M., Chem. Eng., 59,286-7 (Sept. 1952).
12. Brophy, J.E. et al., Ind. Eng. Chem., 43,884-96(1951).
13. Bushrod, V.J., U.S. Pat. 2,325,304 (July 27, 1946).
14. Clay, J. A. Jr., Pat. Engr., 18,No. 2,111-14 (1946).
15. Clendening, K. A., Can. J. Research, 26 F,209-20 (1948).
16. Colegate, G. T., Metallurgia, 39,316-18 (1949),C.A.43,4622 c.
17. Collari, N. and Fongi, N., Alluminio, 16,13-21 (1947),C.A.41,4759 f.
18. Crittenden, E. D., U.S. Pat. 2,549,430, (Apr. 17, 1947).
19. E. I. du Pont de Nemours and Co., Brit. Pat. 439,055 (Nov. 28, 1935).
20. E. I. du Pont de Nemours and Co., F. rat. 792,106 (Dec. 23, 1935).
21. Egerton. I., U.S. Pat. 2,391,685 (Dec. 25, 1945).
22. Eldredge, G. G. and Mears, R. B.,Ind. Eng. Chem., 37,736-41 (1945).
23. Elder. J. A. Jr., U.S. Pat. 2,487,755-6 (Aug. 9, 1949).
24. Ellenburg, A. M., U.S. Pat. 2,573,894 (Nov. 6, 1951).
25. L'Etat Francais Represente par Le Ministre de la Marine,Fr. Pat. 785,177 (Aug. 2, 1935)
26. I. G. Farbenind, Ger. Pat. 636,912 (Oct. 17, 1936).
27. Fontana, M. G., Ind. Eng. Chem., 42, 7, 65A-66A (July. 1950).
28. Geller, Verenigte Aluminum-Werke, A. G. Lautawerk, Ger. Office of Technical Services. PB-70016, Frames 6609-6610 (July 1937).
29. Gindin & Sil's Doklady Akad. Nauk USSR. 63, No. 6, 685-8 (1948). C.A 43,4207 c.
30. Glassmire, W. F. and Smith, W. R., U.S. Pat. 2,586,323 (feb. 19, 1952).
31. Hardy, E. E. and Jackson, E. F., U.S. Pat. 2,623,818 (Dec. 30, 1952).
32. Hanson. W. J. andn Nex, R W., U.S. Pat. 415,672 (Aug. 30, 1934)
33. Harple, W. W. and Kiefer. G., Chem. Eng. Prog., 49,566 (1953).
34. Henkle et Cie. G.M.B.H., Brit. Pat. 415,672 (Aug. 30,1934).
35. Hetherington. H. C., U.S. Pat. 2,462,638 (Feb. 22,1946).
36. Hillyer, J. C. and Nicewander. D. C., U.S. Pat. 2,473,750 (June 21,1946).
37. Hoar, T. P. and Havenhand, D. J., Iron Steel Inst. (London) 133,252 (1936).
38. Howell, W. E., Batron. J. K. and Heck. E. T., Producers Monthly, 13, No.7-34 (1949).
39. Jenckel & Woltmann. Z. anorg. allgem. Chem., 217,298 (1934).

40. Keener, F. G., U.S. Pat. 2,238,651 (April 15, 1941).
41. Lamprey, H., U.S. Pat. 2,147,400 (Feb. 14, 1939).
42. Lanprey, H., U.S. Pat. 2,153,961 (Apr. 11, 1936).
43. Langer, T. W. and Mago, B. F., U.S. Pat. 2,624,708 (Jan. 6, 1953).
44. Lichtenberg, H., Aluminum, 19, 504-9 (1937).
45. Lichtenberg, H., Aluminum, 20, 264-5 (1938).
46. Lichtenberg, H. and Geier, Aluminum, 20, 784 (1938).
47. Malowan, J. E., U.S. Pat. 2,567,156 (Sept. 4, 1951).
48. Marsh, G. A., U.S. Pat. 1,927,842 (Sept. 26, 1933).
49. Mathews, J. W. and Uhlig, H. H., Corrosion, 7,419-22 (1951).
50. McDermatt, F. A., U.S. Pat. 1,927,842 (Sept. 26, 1933).
51. Mann, C. A., Lauer, B. E. and Hultin, C. T., Ind. Eng. Chem., 28,1048-51 (1936).
52. Mears, R. B. and Elledge, G. G., Trans. Electrochem. Soc., 83,403 (1943).
53. Ohlmann, E. O., U.S. Pat. 2,387,284 (Oct. 23, 1945).
54. Phillips, C. Jr., U.S. Pat. 2,550,425 (Apr. 24, 1951).
55. Plueddemann, E. P. and Rathmann, R., U.S. Pat. 2,423,343 (July 1, 1947).
56. Rae, Mfg. Chem., 16,394 (1945).
57. Rhodes, F. H. and Berner, F. W., Ind. Eng. Chem., 25,1336-7 (1933).
58. Robinson, E. A., Soap and Sanitary Chem., 28,34-6 (Jan. 1952).
59. Rohrig, H., Aluminum, 17,559-62 (1935).
60. Rohrig, H. and Gaier, K., Aluminum, 19,448-50 (1973).
61. Schultz, W. A., U.S. Pat. 2,089,579 (Aug. 10, 1937).
62. Smith, W. R., U.S. Pat. 2,524,484 (Oct. 3, 1950).
63. Soc. Continentale Parker, Fr. Pat. 732,230 (Apr. 27, 1931).
64. Stone, I., U.S. Pat. 1,168,722 (July. 31, 1934).
65. Swan, R. C. and Paden, J. H., U.S. Pat. 2,512,590 (June. 20. 1950).
66. Swiss Pat. 274,835 (Dec. 16, 1947).
67. Thomas, J.F.J., Can. J. Research, 21B,43-53 (1943).
68. Uhlig, H. H., Corrosion Handbood, 1st. ED., John Wiley & Sons.
69. Unknown, Lihgt Metals, 12, No. 134,165-8 (1949), See Corrosion 6, 42 (1950).
70. Vernon, W. H. J., Corrosion, 4,141-8 (1948).
71. Viles, P. S. and Walsh, D. C., U.S. Pat. 2,550,434 (Apr. 24, 1951).
72. Wachter, A., Ind. Eng. Chem., 37,749-51 (1945).
73. Wachter, A. and Smith, S. S., Ind. Eng. Chem., 35,358-67 (1943).
74. Wachter, Traseder & Weber, Corrosion 3,406 (1947).
75. Weiler, W., dent. Farber-Ztg., 74,27 (1938).
76. Willams, U.S. Signal Laboratory, Fort Monmouth, N.J., Technical Memorandum No. M-1156 (1948).
77. Worspof, F. e. and Kingsburf, A., Chem. Eng. Mining Rev. (Australia), 173-176, (1950).

روزنفلد^(۱) در نطق افتتاحیه کنگره سالانه NACE در ۱۹۸۱ بحث تئوریک و همچنین کاربرد محاسبات شیمی کوانتم، اسپکتروسکوپی فتوالکترون اشعه ایکس، ردیاب هایی رادیواکتیو (مثلاً ^{36}Cl) و پولاریزاسیون شیمیایی را بعنوان " ابزارهایی " برای مطالعه پدیده ممانعت کنندگی بحث می کند. ممانعت کنندگی می تواند هم بوسیله جذب سطحی و هم لایه های فازی روی سطح فلز صورت پذیرد. وی نشان می دهد که ممانعت کنندگی با جذب سطحی مانع از حفره دار شدن فولادهای زنگ نزن می شود. حفاظت به جذب سطحی یونهای غیر فعال کننده به سطح فلز و جایگزین شدن آنها به جای عامل مخرب (Cl^-) نسبت داده شده است. حفاظت به قدرت جایگزین شدن نسبت داده شده تا به قدرت اکسیدکنندگی، آنیون NO_3^- موثرتر از CrO_4^{2-} است، هر چند که دومی اکسیدکننده قویتری است. روزنفلد نشان می دهد که حفاظت فولاد در برابر خوردگی بوسیله سولفید هیدروژن به خاطر ظهور فیلم های فازی شامل آهن، گوگرد، و اجزاء ممانعت کننده روی سطح فولاد است، وی همچنین اشاره می کند که فقط در صد کوچکی (در یک مورد ۴٪) از سطح بایستی بوسیله ممانعت کننده جذب سطحی پوشیده شود تا خوردگی متوقف گردد. جذب سطحی در بعضی موارد دارای ماهیت شیمیایی است. نکته اصلی کلام روزنفلد آن است که " مکانیزم ممانعت کننده، بدون توجه به مقداری که جذب سطح می شود، مشتمل است بر تغییر خواص الکتروفیزیکی اتمهای سطح بوسیله واکنش های سطحی تا پوشاندن سطح فلز و جدا کردن آن از محیط خورنده ".

در ماه مه ۱۹۸۳ یک کنفرانس بین المللی در مورد ممانعت کنندگی برگزار گردید. شواهدی در سال های اخیر ارائه شده اند که بسیاری از ممانعت کننده های آلی و معدنی با اندرکنش کردن با یکی از چند محصول خوردگی و تشکیل یک فاز محافظ عمل حفاظت را انجام می دهند تا با جذب سطح فلز شدن. در این کنفرانس بر متمایز کردن ممانعت کننده ها از نظر آنکه جذب سطح فلز می شوند و یا با تشکیل فازها حفاظت را انجام می دهند تاکید گردید. مجموعه مقالات این کنفرانس حاوی حدود ۳۰ مقاله بوسیله NACE در ۱۹۸۴ به چاپ رسیده است. یک ممانعت کننده و بر طرف کننده رنگ با نام تجاری KO-۹۹ از نوع فازی است.

1- I. L. Rosenfeld, New Data on the Mechanism of Metal Protection with Inhibitors, *Corrosion*, Vol.37 : 371-377 (July 1981).

گرین^(۱) مکانیزم‌ها، کاربردها و محدودیت‌های ممانعت‌کننده‌های اکسیدکننده را بحث کرده است. این ممانعت‌کننده‌ها در حضور یون‌های هالیدی و سایر یون‌هایی که باعث تشدید خوردگی موضعی می‌شوند بایستی با احتیاط بسیار زیاد بکار روند. یک مقاله پیمایش بوسیله جی، ترابانلی و وی کاراسیتی با عنوان " مکانیزم و پدیده شناختی ممانعت‌کننده‌های آلی " حاوی ۱۶۱ مرجع در جلد اول پیشرفت‌ها در علم و تکنولوژی خوردگی، صفحات ۱۴۷ تا ۲۲۸، پلنوم پرس، نیویورک، ۱۹۷۰ ارائه شده است. فرمول‌های ساختمانی ممانعت‌کننده‌های آلی نیز ارائه شده است و مفید هستند. یک علت مهم خوردگی در مسیرهای بالایی در پالایشگاههای نفت، خوردگی بوسیله سولفید هیدروژن و اسید کلریدریک است. در این موارد ممانعت‌کننده‌های تشکیل‌دهنده فیلم بوسیله ناتان و پروگیونی^(۲) پیشنهاد می‌شود. سوابق اتفاقاتی که روی داده بیان شده است. ممانعت‌کننده‌ها همچنین در کم کردن تاول زدن هیدروژنی مفید هستند.

ملاحظات محیط زیستی باعث معطوف شدن توجه به ممانعت‌کننده‌ها حاوی فلزات سبک شده است (مثلاً کاربرد کرومات‌ها ممنوع شده است).

در مقاله‌ای توسط برسک^(۳) اطلاعاتی در مورد آزمایشات و تجربیات عملی با این ممانعت‌کننده‌ها در محیط‌های آبی ارائه شده است. رشد جلبک‌ها (وراسب شدن) نیز بحث شده است. بران^(۴) کرومات را بوسیله ممانعت‌کننده‌های ترای اوزول جایگزین نموده است. برای اطلاعات بیشتر به فصل ۸ در قسمت آب‌های خنک‌کننده مراجعه شود. ویوکازویش و سولیوان^(۵) اثرات مشترک و جداگانه مولیبدات، فسفات، و بورات

-
- 1- N. D. Greene, Mechanism and Application of Oxidizing Inhibitors, *Materials Performance*, 21:20-22 (Mar. 1982).
 - 2- C. C. Nathan and J. J. Perugini, Prevention of Corrosion in Refinery Overhead Streams by Use of Neutralizing and Film-Forming Inhibitors, *Materials Performance*, 13:29-33 (Sept. 1974).
 - 3- T. C. Breske, Testing and Field Experience With Nonheavy Corrosion Inhibitors, *Materials Performance*, 16:17-24 (Feb. 1977).
 - 4- A. F. Brunn, Jr., Chromate Inhibitor Successfully Replaced in Copper-Nickel Plant Cooling tower, *Materials Performance* 22:13-16 (June 1983).
 - 5- M. S. Vukasovich and F. J. Sullivan, Evaluation of Molybdate as an Inhibitor in Automotive Engine Coolants, *Materials Performance* 22:25-33 (Aug. 1983).

را با نیترات و توی ترای اوزول در آبهای خنک کننده در اتوموبیل مطالعه نموده و روش آزمایشات را بیان نموده است. اضافه کردن ۰/۲٪ آب به آمونیاک آن را هیدراته کرده و باعث توقف خوردگی فولاد شده است.

ممانعت کننده‌ها همچنین در فصل ۸ در محیطهای مربوطه و همچنین در فصل ۳ بحث شده‌اند.

طراحی^(۱)

طراحی یک سیستم غالباً به اندازه انتخاب مواد در مبارزه با خوردگی اهمیت دارد. در طراحی بایستی نیازهای مکانیکی و استحکام را به همراه سهم خوردگی در این رابطه در نظر گرفت. در تمام موارد طراحی مکانیکی یک جزء بایستی براساس مواد ساختمانی باشد زیرا مواد ساختمانی که برای مبارزه با خوردگی بکار می‌رود از نظر ویژگی های مکانیکی بسیار متفاوتند.

۶-۶ ضخامت دیواره

چون خوردگی باعث نازک شدن فلز می‌شود، لذا بایستی این مقدار نازک شدن را در طراحی لوله‌ها، تانک‌ها و قطعات دیگر در نظر گرفت. بطور کلی، ضخامت دیواره را دو برابر ضخامت حداقل لازم می‌گیرند. مثلاً اگر برای یک تانک ۱۰ سال عمر در نظر گرفته می‌شود و سرعت خوردگی تانک در آن محیط حدود ۱۲ MPY باشد، بنابراین تخمین عمق خوردگی در ۱۰ سال $\frac{1}{8}$ اینچ است و در نتیجه ضخامت تانک را $\frac{1}{4}$ اینچ می‌گیرند. در این صورت تغییرات جزئی در عمق نفوذ خوردگی یکنواخت، که در اکثر موارد کاملاً یکنواخت نیست، اشکالی بوجود نخواهد آورد. البته ضخامت دیواره بایستی نیازهای مکانیکی مثل فشار، وزن و تنش‌های دیگر را نیز بر آورده سازد.

این قانون کلی در مواردی که اطلاعات دقیق و قابل اطمینان خوردگی و نظارت موثر بر خوردگی لازم است ممکن است، صادق نباشد. والاس ووب^(۲) بحث جالبی در مورد مقدار واقعی خوردگی ارائه نموده‌اند. آنها این سؤال را مطرح می‌کنند که "آیا شما

1- Design

2- A. E. Wallace and W.P. Webb, Cut Vessel Costs with Realistic Corrosion Allowances, *Chem. Eng.*, 123-126 (Aug. 24, 1981).

مخازن خود را با پول نقد روکش می‌کنید؟" به عبارت دیگر اگر مقدار خوردگی را بیش از حد لازم منظور کنیم وزن و قیمت بالا خواهد رفت. آنها همچنین پیشنهاد می‌کنند که در یک مخزن عمودی مرتفع، مقدار خوردگی در مناطق مختلف را بایستی متفاوت در نظر گرفت. قسمت‌های بالایی مخزن می‌تواند در معرض خوردگی کمتری نسبت به نیمه پائین قرار داشته باشد. من حدود ۴۰ سال پیش این ایده را بکار بردم و در قسمت‌های بالایی مخازن فولادی واگنها برای حمل اسید سولفوریک ضخامت بیشتری توصیه نمودم - نواحی بالایی چندین برابر سریعتر از نواحی پائین خورده می‌شدند.

۶-۷ قوانین طراحی

قوانین طراحی بسیاری وجود دارند که برای بدست آوردن بهترین مقاومت در برابر خوردگی بایستی رعایت شوند. موقعی که من در ۱۹۳۴ در شرکت دویانت شروع بکار کردم، بایستی هر ماه هزینه‌های صرفه جویی شده در اثر فعالیتهای خود را گزارش می‌کردم. بعد از یکی دو سال طراحان را متقاعد کردم که "پیشگیری" با صرفه است. به عبارت دیگر به جای اینکه صبر کنیم تا تجهیزات موقع بهره برداری در اثر خوردگی از کار بیفتند خوردگی را در مرحله طراحی حذف کنیم (هزینه تغییر چند خط روی نقشه به مراتب کمتر است). این مسئله باعث ارتباط نزدیک بین طراحان و مهندسین خوردگی گردید و تمام پروژه‌های بزرگ بودجه‌ای برای استفاده از مهندس خوردگی اختصاص دادند. من قاطعانه معتقدم که مهندس خوردگی نیز بایستی نقشه‌ها را تأیید نماید و نه فقط مهندسین طراح.

بعضی از قواعد طراحی که بایستی در نظر گرفته شوند در زیر آمده‌اند. اگر طراح دارای زمینه خوبی در مورد خوردگی باشد مفید خواهد بود ولی متأسفانه معمولاً این حالت وجود ندارد.

۱ - به جای پرچکاری از جوشکاری استفاده کنید. اتصالات پرچی نقاطی برای خوردگی شیاری هستند. (به فصل ۳ رجوع شود)

۲ - تانک‌ها و محفظه‌های دیگر را طوری طراحی کنید که به سهولت قابل تخلیه و تمیز کردن باشند. کف تانک‌ها بایستی به طرف سوراخ تخلیه شیب داشته تا از باقی ماندن محلول در کف تانک هنگام تخلیه جلوگیری شود. اسید سولفوریک غلیظ خوردگی بسیار کمی روی فولاد دارد. ولی در صورتی که تانک به طور کامل تخلیه

نگردد و محلول باقیمانده در تماس با هوا باشد، اسید با جذب رطوبت هوا و رقیق شدن باعث خوردگی سریع تانک می شود.

۳- سیستم ها را طوری طراحی کنید که اجزایی که به سرعت خورده می شوند به سهولت قابل تعویض باشند. در کار کارخانجات اجزاء پمپها اغلب به خاطر خوردگی احتیاج به تعمیر یا تعویض پیدا می کنند، لذا سیستم را طوری طراحی می کنند که به سهولت بتوان آنها را از مدار خارج نمود.

۴- از تنش های مکانیکی بالا و مراکز تنش در قطعاتی که در معرض محیط خورنده قرار دارند بپرهیزید. تنش های مکانیکی یا داخلی یکی از عوامل ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش (SCC، به فصل ۳ رجوع شود) می باشد. این مطلب مخصوصاً در مورد آلیاژهایی که مستعد به SCC هستند مثل فولادهای زنگ زن و برنج ها بایستی رعایت گردد.

۵- حتی الامکان از تماس الکتریکی فلزات غیر همجنس جلوگیری کنید تا خوردگی گالوانیکی بوجود نیاید (به فصل ۳ رجوع شود). در صورت امکان در تمام سیستم از یک نوع فلز یا آلیاژهای هم خانواده استفاده کنید و در غیر این صورت فلزات غیر همجنس را از یکدیگر عایق نمایید.

۶- در سیستمهای لوله کشی از زانوها باز اویه های تند بپرهیزید. پیچ های تند و جاهای دیگری که در آنها جهت سیال به سرعت عوض می شود باعث خوردگی سایشی می گردد. این مطلب مخصوصاً در سیستم هایی که مستعد به خوردگی سایشی هستند مثل سرب، مس و آلیاژهای آنها مهم می باشد.

۷- برای شرایطی که سیال با فلز برخورد می کند، ضخامت بیشتری از فلز در نظر بگیرید.

۸- در باره انتخاب صحیح مواد اطمینان حاصل کنید.

۹- مشخصات کامل کلیه مواد ساختمانی را لیست کنید و دستورالعمل هایی تهیه کنید تا مطمئن شوید مشخصات تعیین شده در تمام طول مسیر تا بازرسی نهایی رعایت می شود. در صورتی که لازم باشد، دستورالعمل های کنترل کیفیت را نیز تعیین کنید.

۱۰- اطمینان حاصل کنید که تمام کدها و استانداردهای مربوطه رعایت شده اند.

۱۱- تاریخ تحویل تجهیزات را بطور واقع بینانه و به صورت برنامه ریزی شده تنظیم کنید.

۱۲ - دستورالعمل هایی برای آزمایشات و نگهداری در انبار قطعات و تجهیزات تعیین کنید. مثلاً پس از آزمایش هیدرولیکی نبایستی وسیلهٔ مربوطه پریا نیمه پر به مدت طولانی باقی بماند. این می تواند منجر به خوردگی میکروبی، حفره دار شدن و خوردگی تنشی گردد. در مورد نگهداری در انبار، لوله های یدکی از جنس فولاد زنگ نزن موقع نگهداری در انبار نزدیک ساحل دریا در اثر خوردگی تنشی ترک خوردند.

۱۳ - دستورالعمل های بهره برداری و نگهداری را تعیین کنید (مثلاً خواباندن های برنامه ریزی شده).

۱۴ - بگونه ای طراحی نمائید که ارتعاشات شدید وجود نداشته باشد، نه فقط برای قطعاتی که در مرض چرخش هستند، بلکه همچنین در مثلاً لوله های مبدل حرارتی.

۱۵ - در مورد تانک هایی که موقع تخلیه هوای مرطوب دریایی را به داخل می کشند، سیستم تزریق هوای خشک یا گاز خنثی در نظر بگیرید.

۱۶ - در صورت امکان موقعیت کارخانه یا تجهیزات را طوری انتخاب کنید که در مسیر حرکت باد ناشی از کارخانه یا اتمسفرهای " آلوده " قرار نداشته باشد.

۱۷ - در عملیات انتقال حرارت از نقاط گرم^(۱) جلوگیری کنید. مبدل های حرارتی و دستگاههای انتقال حرارت دیگر بایستی طوری طراحی گردند که شیب درجه حرارت یکنواخت داشته باشند. توزیع غیر یکسان درجه حرارت منجر به گرم شدن موضعی و سرعت های خوردگی بالا می شود. به علاوه نقاط گرمتر باعث تشنهائی می گردند که ممکن است منجر به خوردگی توام با تنش گردد.

۱۸ - موقع طراحی حذف هوا را در نظر داشته باشید. احیاء اکسیژن یکی از مهمترین واکنشهای کاتدی در خوردگی است و اگر اکسیژن حذف گردد، غالباً خوردگی نیز کم می شود یا متوقف می گردد. در طراحی تجهیزات کارخانجاتی که با مواد شیمیائی سر و کار دارند توجه خاصی بایستی به همزن ها، مدخل ورودی محلول و نواحی دیگری که امکان وارد کردن هوا به سیستم دارند معطوف شود. نصب شیرهای هواگیری و استفاده منظم از آنها مفید است. فلزات و آلیاژهای فعال - غیر فعال در این مورد استثناء هستند. تیتانیوم و فولادهای زنگ نزن در اسیدهای هوادار یا اکسیدکننده های دیگر مقاومت مند.

۱۹- کلی ترین قانون، اجتناب از غیر یکنواختی است. فلزات غیر غیر همجنس، حباب های هوا، توزیع غیر یکنواخت حرارت و تنش و اختلافات دیگر در نقاط مختلف سیستم باعث خوردگی می گردد. لذا هنگام طراحی بایستی سعی شود کلیه شرایط را در تمام سیستم تا حد امکان یکنواخت نمود.

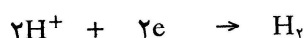
حفاظت کاتدی و آندی

۶-۸ حفاظت کاتدی

حفاظت کاتدی قبل از به وجود آمدن علم الکتروشیمی مورد استفاده قرار گرفته است. در ۱۸۲۴ دیوی^(۱) این روش را برای حفاظت کشتیهای انگلیسی بکار برد. اساس حفاظت کاتدی را می توان با در نظر گرفتن خوردگی فلز M در یک محیط اسیدی توضیح داد. واکنشهای الکتروشیمیائی انحلال فلز و آزاد شدن گاز هیدروژن است، بر طبق معادلات زیر:



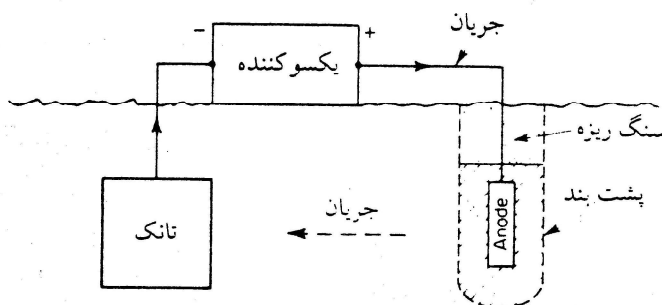
۶-۳



۶-۴

با فراهم نمودن الکترون برای فلزی که بایستی محافظت شود، حفاظت کاتدی انجام می شود. بررسی معادلات ۶-۳ و ۶-۴ نشان می دهد که با دادن الکترون به فلز، انحلال آن تقلیل می یابد و تصعید هیدروژن انجام می شود. اگر فرض کنیم جریان از قطب مثبت به قطب منفی می رود، مطابق قرار داد در قوانین الکتریسته، بنابراین در صورتی که جریان از الکترولیت وارد سطح فلز گردد باعث محافظت آن می شود. بر عکس اگر جریان از سطح فلز وارد الکترولیت گردد خوردگی شدید واقع می گردد. در تکنولوژی حفاظت کاتدی قرار داد جهت جریان به صورت فوق فرض شده و در اینجا نیز به همین صورت بیان می شود.

دو روش برای حفاظت کاتدی وجود دارد: (۱) بوسیله یک مولد برق یا (۲) بوسیله ایجاد یک زوج گالوانیکی مناسب. در شکل ۶-۱ حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان الکتریکی نشان داده شده است. در این شکل یک تانک زیرزمینی به قطب منفی مولد جریان مستقیم^(۲) وصل شده است و قطب مثبت به یک آند خنثی مثل



شکل ۶-۱ حفاظت کاتدی یک تانک زیر زمینی با استفاده از روش اعمال جریان خارجی

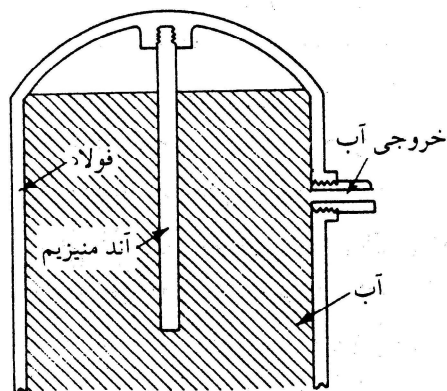
گرافیت یا دورآیرون^(۱) متصل است. محل اتصال کابل به تانک و الکتروود خنثی به دقت عایق می شود تا از نشت جریان جلوگیری شود. آند معمولاً بوسیله پشت بند^(۲) شامل پودر کک، گچ یا بنتونیت محصور شده است تا اتصال الکتریکی بین آند و زمین مجاور را بهبود بخشد. همانطوری که در شکل ۶-۱ نشان داده شده است جریان از زمین (الکتروولیت) وارد سطح تانک می شود و باعث کاهش خوردگی آن می گردد.

در شکل ۶-۲ حفاظت کاتدی با متصل کردن فلزی که بایستی مورد حفاظت قرارگیرد به منیزیم نشان داده شده است. همان طور که در فصل ۳ گفته شد، منیزیم نسبت به فولاد آندی بوده و در زوج گالوانیکی با فولاد، منیزیم خورده خواهد شد. آند در این حالت، آند قربانی شونده^(۳) نام دارد زیرا در طی فرآیند حفاظت فولاد مصرف می شود. حفاظت کاتدی با استفاده از آند قربانی شونده همچنین برای حفاظت لوله های زیرزمینی نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد. (شکل ۶-۳). در این مورد آندهایی با فواصل یکسان در طول لوله کار گذاشته می شوند تا توزیع یکنواختی از جریان الکتریکی به سطح لوله برسد.

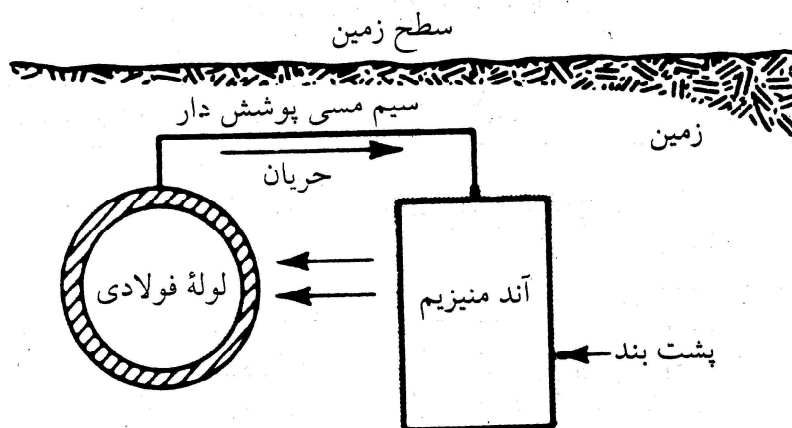
1- Duriron

2- Backfill

3- Sacrificial Anode



شکل ۶-۲ حفاظت کاتدی یک تانک آب گرم خانگی به عنوان آند قربانی شونده



شکل ۶-۳ حفاظت یک لوله زیرزمینی با یک آند منیزیمی

جریان الکتریکی لازم برای محافظت فلز به طور تجربی تعیین می‌گردد، در جدول ۶-۲ بعضی مقادیر به عنوان نمونه داده شده است. محیطهای خورنده مثل

اسیدهای گرم نیاز به جریان بیشتری دارند در صورتی که در محیط‌هایی که قدرت خوردندگی کمتری دارند جریان بسیار کمتری مورد نیاز است (مثلاً در بتن). جدول ۶-۲ مقادیر متوسط جریان را به طور نمونه نشان می‌دهد و کار بردهای خاص ممکن است مقادیر متفاوتی نیاز داشته باشند. مثلاً در بعضی خاکهای خیلی اسیدی غالباً ۱۰ تا ۱۵ میلی آمپر بر فوت مربع جریان لازم است، همچنین چنانچه لوله دارای پوشش آلی باشد جریان به مراتب کمتری لازم خواهد بود، زیرا تنها محل‌هایی از فلز که بواسطه نواقص در پوشش در معرض محیط خورنده قرار دارند، بایستی محافظت شوند. در اینگونه موارد به روش سعی و خطا، اندازه‌اندیا جریان مورد نیاز بایستی تعیین گردد. یک روش دقیقتر و سریعتر اندازه‌گیری پتانسیل فلز مورد نظر بوسیله یک الکتروود و مرجع مناسب می‌باشد.

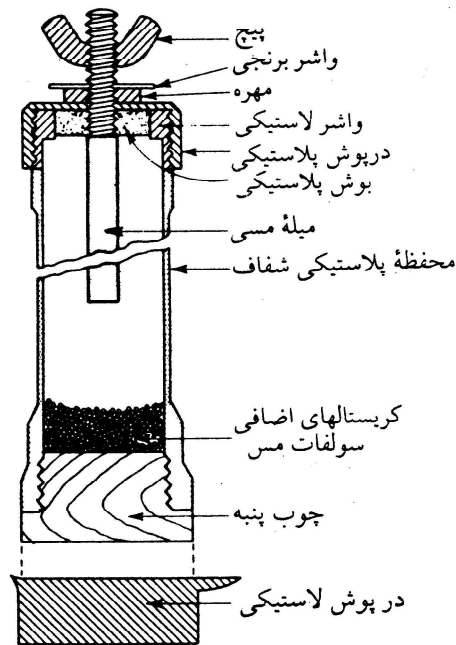
تجهیزات فولادی در تماس با خاک‌ها، آب‌های شیرین و شور و آب دریا چنانچه به پتانسیل ۰/۸۵ - ولت نسبت به الکتروود مقایسه مس - سولفات مس پلاریزه گردند محافظت خواهند شد. شکل ۶-۴ الکتروود مزبور را که برای حفاظت کاتدی مورد استفاده

جدول ۶-۲ جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی فولاد

ساختمان	محیط	شرایط	دانسیته جریان، ma/ft^2
تانک	H_2SO_4 داغ	ساکن	۵۰,۰۰۰
خطوط لوله و تانکهای ذخیره	زیر زمینی (خاک)	ساکن	۱-۳
خطوط لوله	آب شیرین	متحرک	۵-۱۰
آبگرمکن	آب شیرین و داغ	حرکت آهسته	۱-۳
ستونها	آب دریا	حرکت در اثر جذر و مد	۶-۸
آرماتورهای بتنی	بتن	ساکن	۰/۱-۰/۵

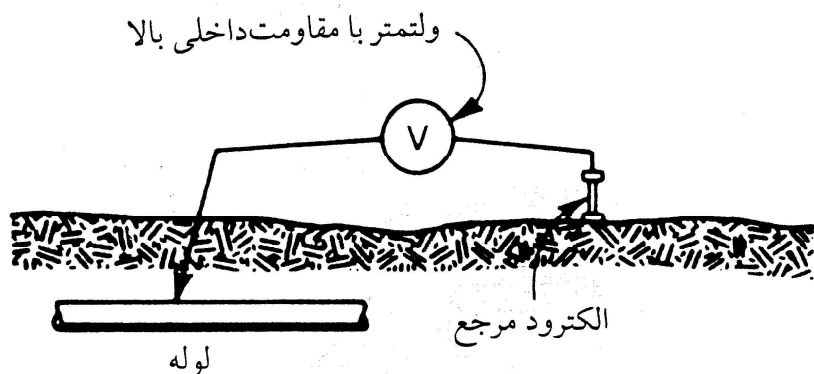
منبع: بعضی اطلاعات داده شده از منبع زیر گرفته شده است:

M. Stern, Principles of Cathodic Protection, *Symposium on Corrosion Fundamentals*, 1956:84, University of Tennessee press.



شکل ۴-۶ الکترودمقایسه مس - سولفات مس

قرار می‌گیرد نشان می‌دهد. این الکتروود دارای مزایای زیر است : ارزان بودن، دقت خوب، و محکم و با دوام بودن. پتانسیل یک فلز بوسیله یک ولتمتر با مقاومت بالا به صورتی که در شکل ۵-۶ نشان داده شده است اندازه‌گیری می‌شود. موقع اندازه‌گیری الکتروود مقایسه را داخل زمین یا روی یک قطعه اسفنج آغشته به آب نمکدار می‌گذارند تا اتصال الکتریکی برقرار شود. دانسیته جریان لازم برای پلاریزه کردن فلز تا $0/85$ - ولت به سهولت اندازه‌گیری می‌شود. در مواردی که از آندهای قربانی شونده (مثلاً منیزیم) استفاده می‌شود، از همین اندازه‌گیری به منظور تعیین تعداد و اندازه آندها برای حفاظت کامل استفاده می‌شود. در مورد لوله‌های بلند یا اسکلت های فلزی بزرگ و



شکل ۵-۶ اندازه گیری پتانسیل لوله زمینی بوسیله الکتروود مرجع

پیچیده، اندازه گیری پتانسیل بوسیله الکتروود مقایسه برای تعیین یکنواختی جریان انجام می شود.

انتخاب آند برای حفاظت کاتدی براساس ملاحظات مهندسی و اقتصادی قرار دارد. در جدول ۳-۶ چند نوع آند قربانی شونده و آند برای روش اعمال جریان خارجی با یکدیگر مقایسه شده اند. بین آندهای قربانی شونده، منیزیم، متداول ترین است. اگر چه راندمان آن پائین است (حدود ۵۰ درصد) لکن این کمبود با پتانسیل بسیار منفی آن جبران شده و در نتیجه جریان بالایی بدست می دهد.

آندهایی که در روش اعمال جریان خارجی مورد استفاده قرار می گیرند متنوع تر هستند و از قراضه های فولادی ارزان قیمت که به سرعت خورده می شوند، تا تیتانیم پلاتینیزه خنثی که هم راندمان بالایی دارد و هم گرانیقیمت است را در بر می گیرد. فولاد، گرافیت و آهن سیلیسیم دار متداول ترین هستند، سرب و تیتانیم پلاتینیزه شده کار برد روز افزونی در محیطهای دریایی پیدا کرده اند.

جریان های سرگردان^(۱) غالباً در سیستم های حفاظت کاتدی باعث اشکالاتی می گردند. اصطلاح جریان های سرگردان به جریان های مستقیم موجود در منطقه مورد نظر اطلاق می گردد. چنانچه یک شیئی فلزی در یک میدان جریان الکتریکی قرار بگیرد، اختلاف پتانسیل، روی آن بوجود آمده و در نقاطی که جریان از سطح شیئی وارد خاک

می‌گردد خوردگی شدیدی ملاحظه می‌گردد. در سالهای گذشته به خاطر نشت جریان تراموای الکتریکی، مشکلات ناشی از جریان های سرگردان کاملاً متداول بودند، لوله‌ها و تانک‌هایی که زیر مسیر ترامواها قرار داشتند به سرعت خورده می‌شدند. لکن چون این نوع وسیله حمل و نقل امروزه کنار گذاشته شده، جریان های سرگردان از این

جدول ۳-۶ مقایسه آندهای قربانی شوند. و آند با جریان خارجی برای حفاظت کاتدی آندهای قربانی شوند

آلومینیم و قلع	روی	منیزیم	
-	-	-	مصرف تثبیتی
۶/۵	۲۳	۹	lb/amp - yr
-	-	-	مصرف واقعی
۱۶-۲۰	۲۵	۱۸	lb/amp - yr
-۱/۳	-۱/۱۵	-۱/۷	پتاتیل نسبت به Cu/CuSO_4

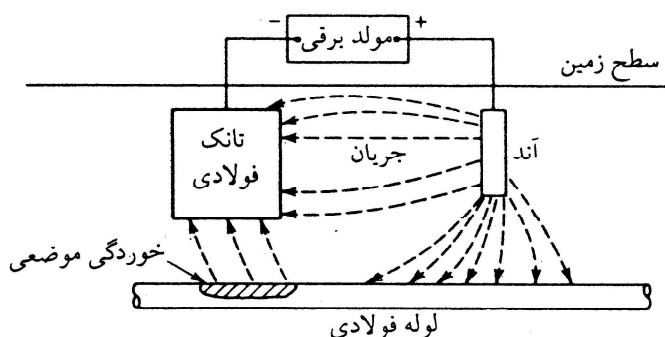
آندهای جریان کاتدی

کاهش وزن lb/amp-yr	کاربرد	مواد
۲۰	خاک، آب شیرین و دریا	قراضه فولادی
۱۰-۱۲	خاک، آب شیرین و دریا	آلومینیم
۰/۲۵-۵/۰	خاک، آب شیرین	گرافیت
۰/۲۵-۱/۰	خاک، آب شیرین و دریا	چدن پرسلیسیم و چدن Si-Cr
۰/۱-۰/۲۵	آب دریا	سرب
صفر	آب دریا	تیتانیم پلاتینیزه شده

Modified from J. H. Morgan, "Cathodic Protection" The Macmillan Company, New York, 1960. منبع

منابع دیگر وجود ندارد. منبع متداولتر جریان های سرگردان، سیستم های حفاظت کاتدی می‌باشند. این مسئله مخصوصاً در حوزه های نفتی شلوغ و کمپلکس های صنعتی

که دارای لوله‌های زیرزمینی بسیاری می‌باشند وجود دارد. شکل ۶-۶ جریان‌های سرگردان ناشی از یک سیستم حفاظت کاتدی را نشان می‌دهد. صاحب تانک زیرزمینی حفاظت کاتدی نصب نمود. او از خط لوله مجاور که در اثر حوزه جریان‌های سرگردان به سرعت سوراخ شد بی‌اطلاع بود. اگر صاحب خط لوله، حفاظت کاتدی به لوله خود متصل می‌کرد، خوردگی ناشی از جریان‌های



شکل ۶-۶ جریان‌های سرگردان ناشی از حفاظت کاتدی

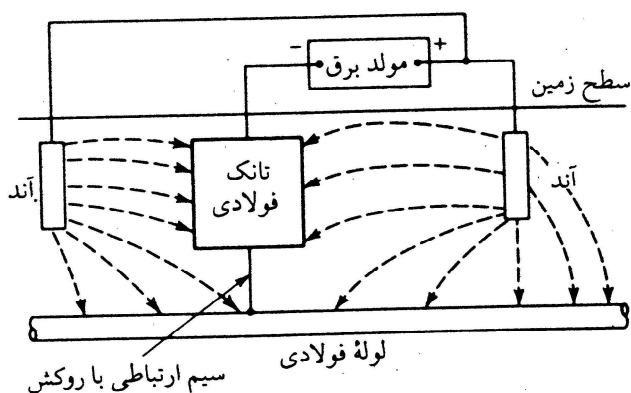
سرگردان لوله از بین می‌رفت، لکن باعث خوردگی روی تانک مجاور می‌شد. به سهولت می‌توان دید که چگونه خوردگی در اثر جریان‌های آواره تشدید می‌شود. افزایش جریان برای حفاظت روی هر کدام باعث افزایش جریان مورد نیاز برای حفاظت دیگری می‌شود، در یک منطقه صنعتی که دارای دانسیته بالایی از خطوط لوله زیرزمینی بود، جریان مورد نیاز برای حفاظت در بعضی مناطق به ۲۰ میلی آمپر بر فوت مربع افزایش یافت.

راه حل این مسئله هماهنگی بین دو سیستم می‌باشد. مثلاً خوردگی ناشی از جریان‌های سرگردان شکل ۶-۶ به صورت شکل ۶-۷ قابل حل است. به این ترتیب لوله و تانک بدون ایجاد جریان‌های سرگردان حفاظت شده و مخارج حفاظت بین دو سیستم تقسیم می‌شود.

حفاظت کاتدی با اعمال جریان خارجی برای کاهش مخارج تعمیرات و نگهداری

شاهراه‌ها و پلها بکار رفته است و صرفه جویی های قابل ملاحظه ای صورت گرفته است. خوردگی آرماتورهای فولادی در بتن کاهش داده می شود. در مناطق خارج از شهر، استفاده از پانلهای خورشیدی برای تامین جریان الکتریکی پیشنهاد شده است. حفاظت کاتدی هنوز بیشتر یک فن است تا یک علم و تجربیات قبلی بهترین مبنا برای قضاوت است. این نظریه یک مهندس خوردگی بود که بعد از ۳۰ سال تجربه عمدتاً در حفاظت کاتدی خطوط لوله ها بازنشسته می شد. شرکتهای زیادی در زمینه حفاظت کاتدی وجود دارند و در صورتی که پروژه بزرگی وجود داشته باشد بایستی با آنها مشورت نمود.

یکی از مفصل ترین مجموعه مراجع در مورد خوردگی در زیر سطح زمین می باشد. قسمت اول در متریال پرفورمانس^(۱)، صفحه ۴۳-۴۱ (ژانویه ۱۹۸۲) به چاپ



شکل ۶-۷ جلوگیری از خوردگی ناشی از جریانهای سرگردان با طراحی صحیح

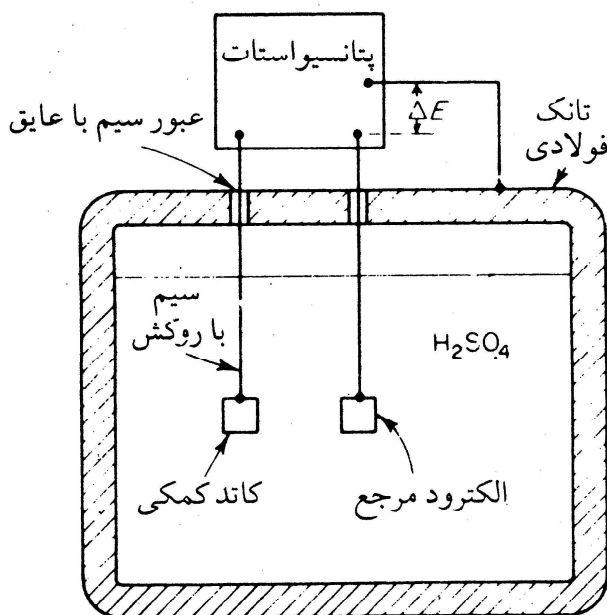
رسید. مجموعاً ۱۰ قسمت در شماره‌های متوالی چاپ گردید. این مجموعه مراجع شامل ۱۱۷۲ مقاله انگلیسی می‌باشد. موضوعات شامل خوردگی در خاک و در زیر سطح زمین، خوردگی بیولوژیکی، حفاظت کاتدی و پوشش‌های محافظ می‌باشد.

۹-۶ حفاظت آندی

برعکس حفاظت کاتدی، حفاظت آندی نسبتاً جدید است و اولین بار در ۱۹۵۴ پیشنهاد شد. این تکنیک با استفاده از اصول سینتیک الکتروادبداغ گردید و بدون اطلاع از نظریه‌های مدرن تئوری الکتروشیمی توصیف آن مشکل است. به طور خلاصه، حفاظت آندی براساس تشکیل یک پوسته سطحی محافظ روی فلزات با اعمال جریانهای آندی می‌باشد. معادلات ۳-۶، ۴-۶ را در نظر بگیرید، همان طور که مشاهده می‌شود با اعمال جریان آندی به یک فلز قاعداً سرعت انحلال فلز بایستی افزایش پیدا کند و سرعت آزاد شدن هیدروژن کاهش یابد.

معمولاً در مورد فلزات این حالت اتفاق می‌افتد بجز در مورد فلزات فعال - غیر فعال مثل نیکل، آهن، کرم، تیتانیم و آلیاژهای آنها. اگر به دقت جریان آندی به این فلزات اعمال گردد، غیر فعال شده و سرعت انحلال تقلیل می‌یابد. برای حفاظت آندی، دستگاهی بنام پتانسیواستات لازم است، پتانسیواستات یک دستگاه الکترونیکی است که فلز را در یک پتانسیل ثابت نسبت به یک الکتروود مقایسه نگه می‌دارد. در شکل ۸-۶ حفاظت آندی یک تانک فولادی حاوی اسید سولفوریک نشان داده شده است. پتانسیواستات دارای ۳ ترمینال است، یکی به تانک متصل می‌شود، دیگری به یک الکتروود کمکی بعنوان کاتد (الکتروود پلاتین یا پوشش داده شده بوسیله پلاتین) و سومی به یک الکتروود مقایسه (مثلاً الکتروود کالومل). در عمل پتانسیواستات، همواره پتانسیل ثابتی بن تانک و الکتروود مقایسه برقرار می‌سازد. پتانسیل لازم را با اندازه‌گیریهای الکتروشیمیایی قبلاً معین می‌کنند.

حفاظت آندی سرعت خوردگی را به شدت تقلیل می‌دهد. جدول ۴-۶ سرعت خوردگی فولاد زنگ‌زن استنیتی را در محلولهای اسید سولفوریک حاوی یونهای کلر با و بدون حفاظت آندی نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود حفاظت آندی باعث می‌شود سرعت خوردگی در بعضی سیستمها ۱۰۰،۰۰۰ برابر کمتر شده اگر چه حفاظت آندی محدود به فلزات فعال - غیر فعال است ولی باید توجه داشت که اکثر فلزات



شکل ۶-۸ حفاظت آندی یک تانک فولادی حاوی اسیدسولفوریک

ساختمانی شامل این فلزات می‌باشند. لذا این محدودیت بر خلاف آنچه که در ابتدا به نظر می‌رسد، چندان مهم نیست. جدول ۶-۵ بعضی سیستم‌هایی که حفاظت آندی به‌طور موفقیت آمیزی در آنها بکار رفته نشان می‌دهد. مزیت عمده حفاظت آندی قابلیت استفاده از آن در محیط‌های بسیار خورنده و نیاز به جریان الکتریکی کم می‌باشد. (برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد اصول و مکانیزم حفاظت آندی، به فصل ۱۰ رجوع گردد).

یک کاربرد جالب توجه اقتصادی از حفاظت آندی، استفاده از لوله‌هایی از جنس فولاد زنگ‌زن نوع ۳۱۶ برای خنک کردن اسید در واحدهای اسیدسولفوریک می‌باشد.

جدول ۶-۴ حفاظت آندی فولاد زنگ‌زن آستنیتی در ۳۰ درجه سانتیگراد
(حفاظت در ۰/۵۰۰ ولت نسبت به الکترود اشباع کالومل)

سرعت خوردگی، MPY			
نوع آلیاژ	محیط (در تماس با هوا)	حفاظت نشده	با حفاظت آندی
۳۰۴ (۱۹Cr-۹Ni)	$\text{NH}_4\text{SO}_4 + 10^{-5}\text{MNaCl}$	۱۴	۰/۰۲۵
	$\text{NH}_4\text{SO}_4 + 10^{-3}\text{MNaCl}$	۲/۹	۰/۰۴۵
	$\text{NH}_4\text{SO}_4 + 10^{-1}\text{MNaCl}$	۳/۲	۰/۲۰
	$10\text{NH}_4\text{SO}_4 + 10^{-5}\text{MNaCl}$	۱۹۳۰	۰/۰۱۶
	$10\text{NH}_4\text{SO}_4 + 10^{-3}\text{MNaCl}$	۱۱۲۵	۰/۰۴
	$10\text{NH}_4\text{SO}_4 + 10^{-1}\text{MNaCl}$	۷۷	۰/۲۱

منبع: S. J. Acello and N.A. Greene. *Corrosion*, 18:286: (1962).

لوله‌ها دارای حفاظت آندی هستند و این کار به جای استفاده از مبدل‌های حرارتی چدنی ضخیم صورت می‌گیرد.

برای مطالعه بیشتر به کتاب عالی ریگزولاکی^(۱) مراجعه نمایید. در این کتاب تمام فازهای این موضوع بطور عمیقی بحث شده است.

۶-۱۰ مقایسه حفاظت آندی و کاتدی

در جدول ۶-۶ بعضی از اختلافات مهم حفاظت کاتدی و آندی آورده شده است. هر یک از این دو روش دارای معایب و مزایایی هستند، و در عین حال مکمل یکدیگرند. حفاظت آندی در محیط‌های ضعیف تا خیلی خورنده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، در حالی که حفاظت کاتدی محدود به محیط‌های متوسط از نظر خوردگی می‌باشد زیرا با اضافه شدن خوردنگی محیط، جریان الکتریکی بیشتری لازم است (جریان لازم برای محافظت فولاد در جدول‌های ۶-۲ و ۶-۵ را با یکدیگر مقایسه نمایید). لذا حفاظت کاتدی فلزات در محیط‌های بسیار خورنده عملی نیست. بر عکس در حفاظت آندی

1- O.L. Riggs and C.E. Locke, *Anodic Protection-Theory and Practice in the Prevention of Corrosion*, Plenum Press, New York (1981).

جدول ۶-۵ جریان مورد نیاز برای حفاظت آندی

دانسیتة جریان ma/ft^2		برای نگهداری در حالت غیر فعال		برای غیر فعال کردن فلز	درجه حرارت، °F مایع و غلظت H_2SO_4
۱۱	۲۱۰۰	۳۱۶SS	۷۵	۱ (molr)	
۶۷	۳۹۰	۳۰۴	۷۵	۱۵٪	
۲۲	۵۰۰	۳۰۴	۷۵	۳۰٪	
۸۳۰	۱۶۵،۰۰۰	۳۰۴	۱۵۰	۴۵٪	
۳/۶	۴۷۰۰	۳۰۴	۷۵	۶۷٪	
۰/۰۹	۴۷۰	۳۱۶	۷۵	۶۷٪	
۰/۸	۴۰۰	کارپتره ۲۰	۷۵	۶۷٪	
۲۱	۲۶۰	فولاد کم کربن	۷۵	۹۳٪	
۱۱	۴۴۰۰	فولاد کم کربن	۷۵	دودکننده	
-	-	-	-	H_3PO_4	
۱۹،۰۰۰	۳۸،۰۰۰	فولاد کم کربن	۷۵	۷۵٪	
۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۳	۳۰۴SS	۱۸۰	۱۱۵٪	
-	-	-	-	NaOH	
۹/۴	۴۴۰۰	۳۰۴SS	۷۵	۲۰٪	

منبع: C.E. Locke et al., *Chem. Eng. Progr.*, 56:50 (1960).

جریان‌های بسیار کمی بکار می‌رود، لذا در محیط‌های بسیار خورنده می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. مخارج سیستم حفاظت کاتدی چندان گران نیست زیرا اجزاء مورد استفاده ساده بوده و به سهولت نصب می‌گردند. حفاظت آندی نیاز به تجهیزات پیچیده‌ای شامل پتانسیو استات و الکتروود مقایسه داشته و مخارج نصب آن نیز بالاتر است. مخارج بهره برداری از این دو روش نیز به خاطر اختلاف جریان الکتریکی مورد نیاز که در بالا بدان اشاره شد بایکدیگر متفاوت است. منطقه مورد حفاظت یا قدرت پرتاب^(۱) حفاظت کاتدی کم می‌باشد، لذا برای برقراری جریان یکنواخت احتیاج به الکتروودهای متعدد در فواصل نزدیک به یکدیگر می‌باشد. سینستم‌های حفاظت آندی دارای قدرت پرتاب بالایی هستند، لذا با یک الکتروود کمی به تهانی می‌توان یک خط لوله طویل را محافظت کرد.

جدول ۶-۶ مقایسه حفاظت آندی و کاتدی

حفاظت کاتدی	حفاظت آندی
تمام فلزات	فقط فلزات فعال - غیر فعال
ضعیف تا متوسط	ضعیف تا خورنده
پائین	بالا
متوسط تا بالا	خیلی کم
پائین	خیلی بالا
پیچیده - نشاندهنده	غالباً نشاندهنده
سرعت خوردگی نیست	سرعت خوردگی
	فلز تحت حفاظت می باشد
معمولاً ایستی با	می تواند دقیقاً و سریعاً با
آزمایشهای عملی تعیین گردد	اندازه گیریهای الکتروشیمیائی تعیین شود.
	قابلیت کاربرد
	محیط خورنده
	مخارج نسبی
	نصب
	بهره برداری
	قدرت پرتاب
	اهمیت جریان
	اعمال شده
	شرایط کار

حفاظت آندی دارای دو ویژگی منحصر بفرد است. اول جریان الکتریکی اعمال شده معمولاً با مقدار خوردگی سیستم تحت حفاظت برابر است. لذا حفاظت آندی نه تنها یک روش حفاظت است، بلکه یک روش اندازه گیری سرعت لحظه ای خوردگی می باشد. دوم شرایط لازم برای حفاظت آندی را با رسم منحنی پلاریزاسیون در آزمایشگاه به دقت می توان تعیین نمود. برعکس شرایط عمل برای حفاظت کاتدی معمولاً با آزمایشات متعدد به روش سعی و خطا تعیین می گردد. اگر چه روش های ارزیابی سریع مختلفی برای تخمین جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی پیشنهاد شده است، تمام آنها کم و بیش غیر قابل اطمینان هستند و انتخاب نهایی معمولاً براساس تجربیات قبلی است.

همان طور که در فصل ۱۰ خواهد آمد، حفاظت آندی براساس اصول علمی دقیقی قرار دارد و به طور موفقیت آمیزی برای حل مشکلات صنعتی بکار رفته است. لکن از زمان معرفی این روش، وارد شدن آن در مهندسی خوردگی به کندی صورت گرفته است. عدم تمایل مهندسین خوردگی برای استفاده از این روش حفاظت، عمدتاً به خاطر تجارت شخصی و اطلاعاتی که در مجلات خوردگی کلاسیک وجود دارند می باشد. اگر قطب های مولد جریان مستقیم در یک سیستم حفاظت کاتدی اشتباهاً به فلز مورد نظر متصل شوند، نتیجه وحشتناکی به بار خواهد آمد. خوردگی

سریع آند در یک زوج گالوانیکی، قانون کلی در مجلات خوردگی کلاسیک که جریانهای آندی اعمال شده خوردگی را تشدید می کنند، تمام اینها باعث کندی وارد شدن این روش حفاظت کاتدی در عمل شده است. در واقع حفاظت آندی یک حالت استثناء در مورد قاعده کلی تشدید خوردگی در اثر جریانهای آندی یا گرفتن الکترون از فلز می باشد. حفاظت آندی در آینده احتمالاً انقلابی در زمینه حفاظت در مهندسی خوردگی به وجود خواهد آورد. با استفاده از این روش می توان برای یک کار برد معین خوردگی فلز ارزاتتری بکار برد. حفاظت آندی را می توان یکی از مهمترین دستاوردهای علم خوردگی در تمام طول تاریخ آن دانست.

پوشش ها^(۱)

۱۱-۶ پوشش های فلزی و پوشش های غیر آلی دیگر

پوشش های نسبتاً نازک فلزی و یا مواد غیر آلی می تواند سد یا مانع مناسبی بین فلز و محیط آن باشد. کار اصلی اینگونه پوشش ها (صرفنظر از پوشش های قربانی شونده مثل Zn) بوجود آوردن سدی موثر بین فلز و محیط آن می باشد. پوشش های فلزی با روش آبکاری الکتریکی^(۲)، پاشیدن مشعلی^(۳)، روکش کردن^(۴)، غوطه وری گرم^(۵)، گازی^(۶) بدست می آیند. پوشش های غیر آلی (معدنی) بوسیله پاشیدن^(۷)، دیفوزیون، یا تبدیل شیمیائی اعمال می گردند. معمولاً پاشیدن^(۸) پختن یا حرارت دادن در درجه حرارت بالا را به دنبال دارد. پوشش های فلزی معمولاً قابلیت تغییر شکل پذیری دارند، در حالیکه پوشش های غیر آلی ترد هستند. در هر دو مورد بایستی مانع کاملی روی سطح فلز بوجود آید. تخلخل پوشش یا نواقص دیگر می تواند باعث خوردگی موضعی فلز زمینه در اثر خوردگی گالوانیکی گردد.

مثال هایی از اشیاء پوشش دار، سپرهای اتومبیل، زه های اتومبیل، وسایل خانگی، ظروف نقره ای، فولاد گالوانیزه و قوطی های مواد غذایی می باشند. وانهای حمام و تانکهای فولادی با پوشش شیشه ای^(۹) مثال هایی از پوشش های سرامیکی

1- Coating

3- Flam Spraying

5- Hot Dipping

7- Spray

9- Glassed

2- Electrodeposition

4- Cladding

6- Vapor Deposition

8- Spraying

می باشند. مثال هایی از پوشش هایی که بوسیله دیفوزیون و یا تبدیل شیمیائی بدست می آیند به ترتیب فولاد کرم کاری^(۱) و آلومینیم آندیزه^(۲) می باشند.

آبکاری الکتریکی^(۳): این روش مشتمل بر فروبردن قطعه در داخل محلولی از فلزی که بایستی پوششی داده شود و عبور جریان مستقیم (D.C) بین قطعه و یک الکترود دیگر، می باشد. مشخصات رسوب بستگی به فاکتورهای متعددی شامل درجه حرارت، دانسیته جریان، زمان و ترکیب شیمیائی محلول دارد. این متغیرها را می توان طوری تنظیم نمود که پوشش های ضخیمی مثلاً تا ۲ میل یا نازکی تا حدود هزارم میل (هر میل یک هزارم اینچ است) بدست آید. همچنین با تنظیم این متغیرها می توان پوشش های تیره، درخشان، نرم (سرب) یا سخت (کرم)، و انعطاف پذیر یا ترد بدست آورد. پوشش های سخت برای مبارزه با خوردگی سایشی بکار برده می شوند. پوشش می تواند از یک لایه فلز تشکیل شده باشد، یا از چند لایه فلزی تشکیل یابد، یا حتی دارای ترکیب آلیاژی باشد (مثل برنج). مثلاً سپر اتومبیل دارای یک لایه داخلی مس (برای چسبندگی خوب)، یک لایه داخلی نیکل (برای حفاظت از خوردگی) و یک لایه نازک از کروم صرفاً به خاطر ظاهر می باشد. از نظر مقدار مصرف پوشش های فلزی به ترتیب زیر قرار دارند: روی، نیکل، قلع و کادمیم. پوششهای طلا، نقره و پلاتین نیز معمول هستند. اکثریت فلزات را با آبکاری الکتریکی می توان روی فلزات دیگر پوشش داد.

پاشیدن مشعلی^(۴): این فرآیند که متالیزه کردن نیز نامیده می شود مشتمل است بر هدایت سیم فلزی یا پودر فلزی از طریق یک مشعل که باعث ذوب آن می شود و به صورت ذرات ریز مذاب به سطح فلزی که بایستی پوشش داده شود، پاشیده می شود. اکسیژن و استیلن یا پروپان معمولاً برای ایجاد شعله بکار برده می شود. این پوشش ها معمولاً متخلخل بوده و در شرایط حاد خورنده مرطوب محافظ نیستند. معمولاً با افزایش نقطه ذوب فلز، تخلخل پوشش افزایش می یابد. روی، قلع و سرب از این نظر بهتر از فولاد یا فولاد زنگ نزن می باشند. سطحی که بایستی پوشیده شود بایستی زیر

1- Chromized

2- Anodized

3- Electrodeposition

4- Flame Spraying

گردد (با ماسه پاشی) تا باند یا اتصال مکانیکی بوجود آید. گاهی اوقات یک پوشش رنگ روی پوششی که به این طریق حاصل می شود اعمال می گردد تا حفره ها را پر نماید و مانع بهتری بوجود آید. فلز متخلخل زمینه مناسبی برای رنگ بوده و اتصال خوبی بوجود می آید. پاشیدن مشعلی یک روش اقتصادی برای بازیابی سطوح فرسوده مثل شفتهای می باشد. فلزات با نقطه ذوب بالا را می توان با جت های پلاسما رسوب داد.

کاربردهای پاشیدن مشعلی مشتمل است بر تمام انواع تانکها و مخازن، پلها، بدنه کشتیها و اسکلت داخلی آنها^(۱) و بسیاری محصولات فولادی دیگر. دودکشهای پوشیده به وسیله آلومینیم و آب بندی شده به وسیله یک پوشش آلی سیلیسیم - آلومینیم تا ۹۰۰ درجه فارنهایت محافظ هستند فولاد زنگ نزن ۱۸-۸ که توسط این روش و با آلومینیم پوشش داده شده است تا حوالی ۱۵۰۰°F در هوا مقاوم می باشد. قیمت پوششی به ضخامت ۵ میل، ۶ سنت بر فوت مربع برای آلومینیم و ۱۲ سنت بر فوت مربع برای روی می باشد.

روکش کردن^(۲): این روش مشتمل است بر پوشش دادن سطح فلز به وسیله نورد کردن دو ورق فلزی به یکدیگر. مثلاً با نورد گرم یک ورق فولادی و ورق نیکلی می توان یک ورق دوبله مثلاً با ضخامت $\frac{1}{8}$ اینچ نیکل و یک اینچ فولاد به وجود آورد. فلز روکش معمولاً نازکتر از فلز زمینه است. آلومینیم با استحکام بالا، غالباً به وسیله آلومینیم خالص تجارتي روکش داده می شود تا مانعی در مقابل SCC آلومینیم زمینه گردد.

گاهی اوقات یک لایه نازک را به دیواره های تانکهای فولادی نقطه جوش^(۳) می کنند. Ti, Cu, Al, Ni و فولاد زنگ نزن و فلزات دیگر غالباً برای روکش کردن فولاد بکار برده می شوند.

توسعه فولادهای زنگ نزن کم کربن (۳۰۴L) کاربرد مخازن روکش داده شده را افزایش داده است. یک تانک فولادی با روکش فولاد زنگ نزن را نمی توان عملیات حرارتی، کوانچ و آنیل نمود. موقع جوش دادن قطعات روکش شده برای اجتناب از رقیق شدن فلز جوش، لازم است الکتروود پر آلیاژی تری استفاده کرد. مثلاً الکتروود فولاد زنگ نزن نوع ۳۱۰ برای اتصال ورق فولاد روکش شده به وسیله نوع ۳۰۴L به کار می رود. روکش

کردن مزایای اقتصادی بسیار زیادی دارد زیرا در آن مانع خوردگی یا فلز گرانتز نسبتاً نازک بوده و به وسیله لایه زیری ارزان قیمت فولادی تقویت می‌شود. مثال خوبی در این مورد یک مخزن تحت فشار بالاست که دارای روکش $\frac{1}{16}$ یا $\frac{1}{8}$ اینچ روی فولاد به ضخامت ۳ اینچ می‌باشد. اگر تمام فولاد از فلز گرانتز قیمت مقاوم خوردگی انتخاب می‌شد، قیمت چندین برابر بود.

روش غوطه‌وری گرم^(۱): با فرو بردن فلزات به داخل حمام مذاب فلز با نقطه ذوب پائین، عمدتاً Al, Pb, Sn, Zn که بایستی پوشش داده شود، انجام می‌شود. این فرآیند یکی از روشهای قدیمی پوشش دادن فلزات است. فولاد گالوانیزه مثال معروفی است. ضخامت پوشش خیلی بیشتر از حالت آبکاری الکتریکی است زیرا بدست آوردن ضخامت های نازک بسیار مشکل است. قطعات پوشش داده شده را با عملیات حرارتی و بوجود آوردن باند آلیاژی بین پوشش و فلز زمینه می‌توان کامل تر نمود.

روش گازی^(۲): این کار در یک محفظه با خلاء نسبتاً بالا انجام می‌شود. فلزی که بایستی پوشش باشد به وسیله جریان الکتریکی حرارت داده می‌شود و بخار حاصل از آن روی سطح قطعه‌ای که بایستی پوشش داده شود می‌نشیند. این روش گرانتز از روش های دیگر بوده و معمولاً کاربرد آن محدود به قطعات بحرانی و خاصی می‌باشد، به عنوان مثال قطعاتی با استحکام بالا برای راکت ها و موشکها، به استثنای روش جدیدی که در یک خط تولید فولاد را به وسیله Al پوشش می‌دهند.

روش نفوذی^(۳): این روش مشتمل است بر عملیات حرارتی برای به وجود آوردن آلیاژ روی سطح در اثر نفوذ یک فلز به داخل فلز دیگر. به این دلیل این روش "آلیاژسازی سطحی"^(۴) نیز نامیده می‌شود. قطعاتی که بایستی پوشش داده شوند در مواد جامد مناسب یا محیط گازی مناسب قرار می‌گیرند. گالوانیزه خشک^(۵) (پوشش روی) کرمایز

1- Hot Dipping

2- Vapor Deposition

3- Diffusion

4- Surface alloying

5- Sherardizing

کردن^(۱) پوشش کرم، آلونایز کردن^(۲) پوشش آلومینیم مثالهایی در این مورد می باشند. در مورد آلونایز کردن، سطح را نیز اکسید می نمایند تا یک لایه محافظ Al_2O_3 نیز به وجود آید. فولادهای ساده کربنی، کم آلیاژی، و زنگ نزن را می توان آلونایز کرد. مقاومت خوردگی خوبی در برابر هوا و گازهای گوگرددار در دماهای بالا (حدود $1650^\circ F$) ایجاد می شود. این فولادهای آلونایز شده در صنایع نفت و شیمیایی برای مبدل های حرارتی یا سطوح داغ دیگر به کار می روند (مثلاً در تولید اسید سولفوریک). این روش معمولاً برای محیط های آبی توصیه نمی شود.

فولادهای آلونایز شده براساس قیمت رقابتی به کار می روند، لکن در صورتی که کمبود کرم به وجود آید، به نحو گسترده ای جایگزین کرم خواهد شد.

تبدیل شیمیائی^(۳): در این روش با خورده شده سطح فلز یک لایه ای از محصول خوردگی که محافظ باشد، به وجود می آورند. آندیزه کردن^(۴) مشتمل است بر اکسیداسیون آندی در یک حمام اسیدی برای به وجود آوردن لایه اکسیدی، معروفترین مثال در این مورد آلومینیم آندیزه شده است که روی آن پوسته محافظ (Al_2O_3) به وجود آمده است. بهبود خیلی زیادی در مقاومت خوردگی به وجود نخواهد آمد، لذا آلومینیم آندیزه شده نبایستی در جاهایی که آلومینیم معمولی سریعاً خورده شده بکار رود. پوسته به وجود آمده متخلخل بوده و لذا برای رنگ بسیار مناسب است. البته چنانچه سطح آندیزه شده در معرض آب جوش قرار بگیرد، به اصطلاح آب بندی می شوند. در واقع آلومینیم آندیزه شده عمداً اکسید شده، تا لایه سطحی یکنواختی روی آن به وجود آید. آلومینیم آندایز شده برای بسیاری از مقاصد آرشیوکتی (مثلاً پانلهای دیواری در ساختمانها) و سایر مواردی که ظاهر مجذوب مورد نظر است بکار می رود. به بیان دیگر، آندایز کردن آلومینیم را می توان یک اکسیداسیون کنترل شده در نظر گرفت که به منظور ایجاد یک لایه سطحی یکنواخت انجام می شود.

مثال هایی دیگر در این مورد باندریزه کردن^(۵) و پارکریزه کرده^(۶) (فسفاته کردن در

1- Chromizing

2- Alonizing

3- Chemical Conversion

4- Anodizing

5- Bonderizing

6- Parkerizing

حمام اسیدفسفریک)، کروماتیزه کردن^(۱) (در معرض اسید کرومیک و دی کروماتها قرار دادن)، و پوششهای اکسیدی یا حرارتی روی فولادها می باشد. بدنه های اتومبیل بهترین مثال برای فسفاتة کردن^(۲) می باشد. در اینجا زمینه خوبی برای رنگ کاری بعدی فراهم می آید. و همچنین در صورتی که رنگ صدمه ببیند، شروع زنگ زدگی مدتی به تأخیر می افتد. کروماته کردن به قطعاتی که از منیزیم یا روی ساخته شده اند اعمال می گردد و تا حدودی مقاومت خوردگی را افزایش می دهد، لکن غالباً قطعات رنگ می شوند. پوسته های اکسیدی روی فولاد با حرارت دادن در هوا یا فرو بردن در محلولهای داغ به وجود می آید. این پوسته ها را به منظور جلوگیری از زنگ زدگی بایستی با یک محصول نفتی روغن کاری نمود. برای آبی کردن لوله های تفنگ آنها را به داخل محلول داغ قلیایی فرو برده و سپس سطح اکسید شده فلز را با روغن برزک^(۳) خام، در حالی که فلز داغ است ماساژ می دهند.

ایجاد تغییرات در سطح فلز: عملیات سطحی مشتمل بر تابش اشعه های پر انرژی به طور افزاینده ای مورد توجه قرار دارند. موقعی که عناصر آلیاژی مثل کرم به سهولت قابل دسترسی نباشند، در آینده این روشها به کار خواهند رفت.

آلیاژ سازی سطحی بالیزر در یک مقاله پیمایشی به وسیله دریپر^(۴) بیان شده است. در این مقاله روش ها، ملاحظات اساسی و نتایج تشریح شده اند. لیزرهای CO_۲ متداولترین هستند. یک کتاب خوب شامل مباحث اثرات تابش مستقیم و رفتار حاصله آلیاژهای مختلف فولاد، آلومینیم، و مس (برنز Fe - Al) وجود دارد^(۵). مک کافرتی^(۶) نشان داده است که تابش لیزر مقاومت خوردگی آلومینیم ۳۰۰۳ در اسیدکلریدریک و محلولهای سیتراتی را بهبود می بخشد، و هیچگونه تاثیری روی پتانسیل حفره دار شدن

1- Chromatizing

2- Phosphatizing

3- linseed oil

4- C. W. Draper, Laser Surface Alloying : The State of the Art, *J. Metals*, 34(6) : 24-32 (June 1982).5- C.R. Clayton and C.M. Preece, eds, *Corrosion of Metals Processed by Directed Energy Beams*, Metals Society of AIME, New York (1982).6- E. Mc Cafferty, P.G. Moore, and G.T. Pease, Effect of Laser Surface Melting on the Electrochemical Behavior of an Al-1 %Mn Alloy, *J. Electrochem. Soc.* 129 : 9-17 (Jan. 1982).

در محلول ۰/۱ مولار نمک طعام ندارد. مورومک کافرتی^(۱) نشان داده‌اند که فولاد آلیاژ شده با ۵، ۲۰ و ۸۰ درصد کرم غیر فعال شده است. لیزر همچنین برای وارد ساختن ذرات سخت در فلز (مثل WC و TIC) برای بهبود مقاومت سایشی به کار می‌رود.

کاشت ین: کاربرد کاشت ین برای ایجاد تغییرات در سطح، روش دیگری است که در آینده کاربردهای عملی پیدا خواهد کرد. پاتر و همکاران^(۲) در یک مقاله پیمایشی نتایج مفید این روش بر مقاومت خوردگی را بحث می‌کنند.

فولاد با لعاب شیشه‌ای^(۳)، فلز مهمی برای صنایع شیمیائی و همچنین منازل می‌باشد، از مزایای این روش آسانی تمیز کردن سطوح صاف است (مخصوصاً موقعی که مواد چسبیده در میان باشند مثل صمغ یا بعضی رزین‌ها). فولادهای لعابدار به طور وسیعی در صنایع داروسازی صنایع غذایی، نوشابه سازی و بسیاری کاربردهای دیگری که مشتمل بر محیط‌های بسیار خورنده می‌باشند یا آلودگی محصول مهم است به کار می‌روند.

در شکل ۹-۶ یک وسیله‌ای که از فولاد لعابدار ساخته شده نشان داده شده است. بتن کاربردهای زیادی در زمینه خوردگی دارد. مثالهایی در این مورد، پوشاندن فولادهای ساختمانی (همچنین برای ضد آتش کردن) لوله‌هایی با لایه بتن، و مخازن بتنی هستند.

۹-۶ پوشش‌های آلی

پوشش‌های آلی مشتمل بر مانع نسبتاً نازکی بین فلز و محیط آن می‌باشند. رنگها^(۴)، حلالها^(۵)، لاکها^(۶) بدون شک از نقطه نظر تناژ بیشتر از هر دو روش دیگر برای حفاظتی فلزات به کار می‌روند. پوشش‌های مورد استفاده برای سطوح خارجی برای همه آشناست، ولی پوشش‌ها یا روکش‌های داخلی نیز به طور گسترده‌ای مورد

1- P.G.Moore and E. McCafferty, Passivation of Fe-Cr Alloys Prepared by Laser Surface Alloying, *J.Electrochem. Soc.* 128(6) : 1391-1393 (June 1981).

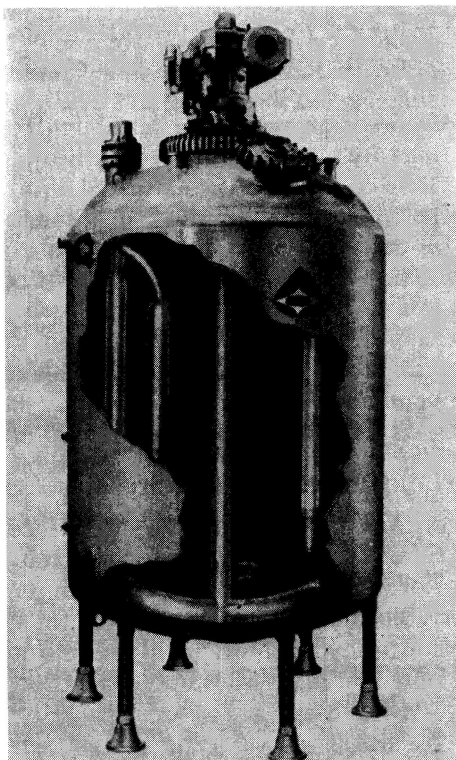
2- D.I.Potter, M.Ahmed, and S. Lamond, Metallurgical Surfaces Produced by Ion Implantation, *J.Metals*, 17-22 (Aug.1983).

3- Glased

4- Paints

5- Varnishes

6- Lacquers



شکل ۹-۶: تانک فولادی با لعاب شیشه‌ای

استفاده قرار می‌گیرند. در ایالات متحده سالانه حدود ۲ میلیون دلار صرف پوشش‌های آلی می‌شود. انواع و اقسام و محصولات مختلفی وجود دارد که بعضی از آنها خواص مفیدی دارند. اطلاعات زیادی در این زمینه پیچیده، لازم است تا عملکرد موفق باشد. بهترین روش برای کسی که تازه وارد این زمینه می‌شود آن است که با تولیدکنندگان معتبر پوشش‌های آلی مشورت کند. به عنوان یک قانون کلی، این پوشش‌ها در محیط‌هایی که به سرعت فلز زمینه را می‌خورند نباستی به کار برده شوند. مثلاً رنگ برای حفاظت فولاد در مقابل اسیدکلریدریک به کار نخواهد رفت، زیرا نواقص کوچک رنگ باعث سوراخ شدن سریع فلز می‌گردد. همچنین توصیه می‌شود آزمایشاتی برای ارزیابی استقامت رنگ به عمل آید.

جدا از کاربرد صحیح، سه فاکتور اصلی برای پوشش‌های آلی، به ترتیب اهمیت

عبارتنداز: (۱) آماده کردن سطح (۲) انتخاب آستر (۳) انتخاب صحیح لایه یا لایه‌های رویی.

اگر سطح فلز به طور صحیح آماده نگردد، در اثر اتصال ضعیف ممکن است رنگ پوسته پوسته شود. اگر آستر چسبندگی خوبی نداشته باشد یا با لایه رویی سازگار نباشد، سیستم پوشش عمر طولانی نخواهد داشت. اگر دو فاکتور اولی مناسب نباشند، سیستم پوشش بدون توجه به کیفیت و نوع لایه رویی به سرعت از بین خواهد رفت. در اکثر موارد عمر کم پوششها در اثر عدم آماده سازی سطحی و انتخاب صحیح می‌باشد.

آماده کردن سطح: عبارت است از زبر کردن سطح برای بدست آوردن اتصال مکانیکی (دندانه های سطحی) و همچنین تمیز کردن کثافات، زنگ، پوسته اکسیدی، روغن، گریس، فلاکسهای جوشکاری، علائم رنگی و نوشته‌های روی سطح فلز، و ناخالصی‌های دیگر. به عبارت دیگر بدست آوردن یک سطح تمیز و خشن. ماسه پاشی^(۱) سطح فولاد بهترین روش است. روشهای دیگر عبارتنداز: اسیدشویی^(۲) یا عملیات شیمیائی دیگر، کاردک زدن^(۳)، برس زدن، تمیز کردن به روش شعله‌ای (حرارت دادن به وسیله مشعل و سپس تمیز کردن کثافات و اکسیدهای سطحی) و تراشیدن با اسکنه^(۴). در یک مطالعه تأثیر آماده سازی سطحی نشان داده شد که عمر رنگ با روش ماسه پاشی ۱۰/۳ سال، با روش اسیدشویی ۹/۶ سال و ۲/۳ سال برای روش تمیز کردن دستی بوده است. مکهای^(۵) درز جوش و لبه‌های تیز را بایستی با سنگ‌زنی آماده کرد تا از اتصال بین رنگ و فلز اطمینان حاصل شود. روش‌های شیمیائی دیگر عبارتنداز: تمیز کردن با حلال‌های آلی، تمیز کردن با مواد قلیایی گرم یا سرد، فسفات کردن، کروماته کردن و روش‌های الکتروشیمیائی مثل آندیزه کردن و تمیز کردن به روش کاتدی.

علاوه بر ملاحظات اقتصادی، انتخاب روش آماده سازی سطحی بستگی به فاکتورهای مختلفی دارد، مثل نوع فلز، شکل، اندازه و امکان دسترسی به آن، سیستم پوشش و شرایط کار سیستم.

1- Sandblast

2- Pickling

3- Scraping

4- Chipping یا Chiseling

5- Pinholes

آسترها^(۱): می‌توانند شامل مواد رنگی ضدزنگ مثل کرومات روی و پودر روی باشند و به این ترتیب علاوه بر ایجاد یک مانع نقش دیگری نیز ایفا نمایند. برای اینکه شیارها و نواقص سطحی دیگر به وسیله آستر پر شوند قابلیت ترک‌کردن^(۲) نیز بایستی وجود داشته باشد، زمان خشک شدن بایستی کوتاه باشد تا از آلوده شدن سطح قبل از اعمال لایه رویی جلوگیری شود، مخصوصاً در شرایط عملی.

لایه رویی^(۳): انتخاب لایه رویی بسیار مهم است. انتخاب لایه رنگی رویی ارزان قیمت روش اشتباهی است، زیرا قسمت عمده هزینه‌های رنگ‌کاری، مخارج نیروی انسانی است. در بسیاری موارد، هدف از رنگ‌کاری حفظ ظاهر است، در غیر این صورت اگر در ابتدا فولاد را کمی ضخیم‌تر می‌گرفتند، مسئله خوردگی ارزانتر حل می‌شد. ولی هیچکس وجود تجهیزات زنگ زده را در اطراف خود نمی‌پسندد. نکته مهم در اینجا این است که با صرف یک مقدار اضافی خیلی کم (کسری از یک سنت بر فوت مربع در سال) و با انتخاب یک لایه رویی صحیح، ظاهر مطلوب و حفاظت خوب در برابر خوردگی، حتی در اتمسفرهای خورنده قابل حصول است.

ضخامت پوشش بایستی به اندازه‌ای باشد که تمام سطح فلز را بپوشاند. پوشاندن کامل سطح فلز، یا عدم وجود کامل مکها یا نواقص دیگر، با یک بار رنگ کردن، مکهای یک لایه به وسیله لایه بعدی پوشیده خواهد شد. ضخامت پوشش نیز مهم است زیرا در اثر تماس رنگ با محیط نیز فساد ایجاد شده و به مرور زمان پوشش از بین می‌رود.

به روشهای مختلفی می‌توان مخارج تعمیرات و نگهداری پوشش‌ها را تقلیل داد. مثلاً انجام برنامه‌های لکه‌گیری (کاری که در مورد اتومبیل خود نیز بایستی انجام دهید) نقاط ضعیف به جای اینکه آنقدر صبر کنیم که پوشش آنقدر خراب شده باشد که احتیاج به رنگ‌کاری مجدد باشد. بندرت پیش می‌آید که یک پوشش در یک زمان در تمام نقاط از بین برود. یک روش دیگر کاربرد رنگ بوسیله روش پاشیدن به صورت گرم می‌باشد^(۴). در این روش به خاطر بالا بودن درجه حرارت، جامدات بیشتر (باتینر کمتر) به سطح پاشیده می‌شود و ضخامت بیشتری در هر لایه ایجاد می‌گردد. کاربرد نوارهایی روی لبه‌ها برای محافظت آنها، روش دیگری در این مورد است. بدیهی است که لبه‌ها را

1- Primers

2- Wettability

3- Top - Coat

4- Hot-Spray

مشکل تر می توان حفاظت نمود. یک روش دیگر این است که سیستم را طوری طراحی کنیم که مقدار سطح و لبه ها حداقل باشد (استفاده از یک ستون استوانه ای یا لوله ای بجای ستون I شکل).

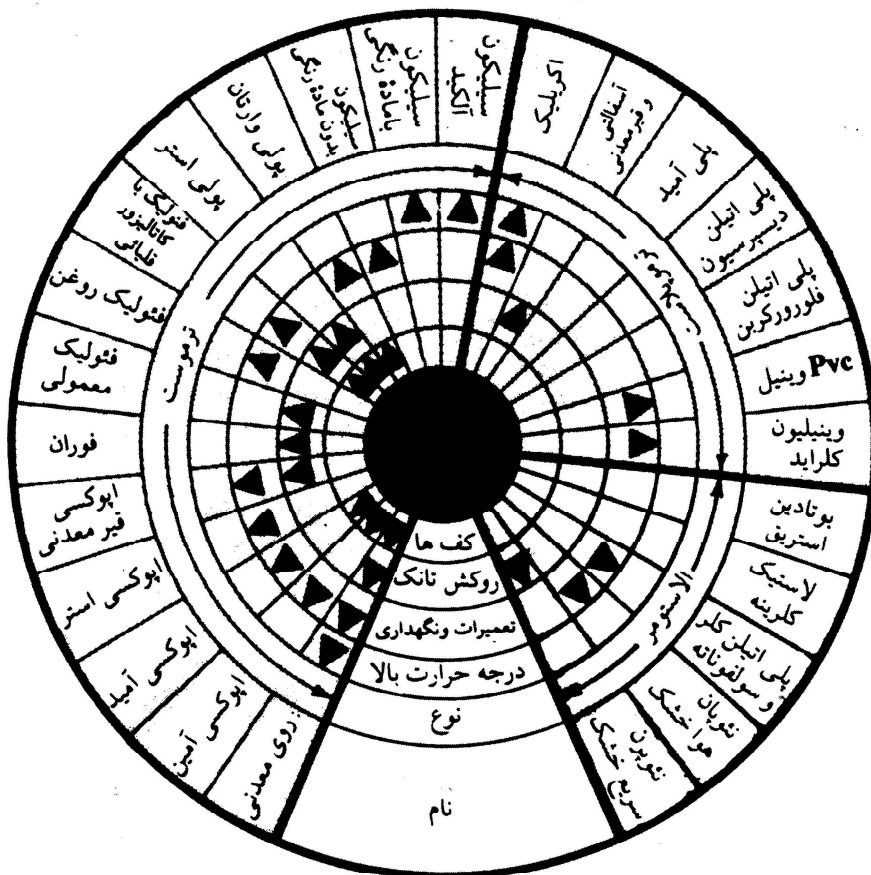
اغلب کارخانجات، رنگ کاری مورد نیاز خود را بصورت مناقصه به شرکت های دیگر واگذار می کنند. این عمل ممکن است ابتدا باعث هزینه کمتری گردد، ولی معمولاً در دراز مدت پر خرج تر خواهد بود. اگر در یک کارخانه رنگ کاری به مقدار کافی وجود داشته باشد، بهتر است خود اقدام به استخدام و تربیت رنگ کار نماید. یک کارخانه این کار را انجام داد و سالانه هزار دلار صرفه جویی نمود.

بطور خلاصه، رنگ کاری خوب مشتمل است بر آماده سازی سطحی مناسب، انتخاب پوشش مناسب، و کاربرد صحیح آن. انواع بسیار زیادی از رنگ های مختلف وجود دارند، لکن ذکر جزئیات آنها در محدوده این کتاب نیست، غالباً رنگ های قیر معدنی ^(۱) و بیتومینی ^(۲) برای پوشش دادن لوله ها بکار می روند. گاهی اوقات برای تقویت پوشش بوسیله پارچه آغشته به رنگ، لوله ها را نوار پیچی می کنند. رنگ های آلکید ^(۳)، گلیپتول ^(۴)، بتن، سرب قرمز، اکسید آهن، فنولیک، لیتوپون ^(۵)، دی اکسید تیتانیم و لاستیک کلرینه شده تنها مثالهای معدودی در این زمینه می باشند. رنگ های وینیل ^(۶) و اپوکسی بطور وسیعی در کاربردهای مشتمل بر خوردگی مصرف می شوند.

شکل ۱۰-۶ برای انتخاب اولیه نوع پوشش برای یک کاربرد داده شده می تواند مورد استفاده قرار گیرد ^(۷). یک دستورالعمل عالی در مورد رنگ ها و پوشش های محافظ که به وسیله وزارتخانه های ارتش، نیروی دریایی و نیروی هوایی تهیه شده و به قیمت ارزان قابل تهیه است توصیه می گردد ^(۸).

کربی ^(۹) تعمیرات و نگهداری رنگ را در دو مقاله بحث کرده است. در جدول

- | | |
|--------------|---------------|
| 1- Asphalts | 2- Bituminous |
| 3- Alkyds | 4- Glyptols |
| 5- Lithopone | 6- Vinyls |
- 7- R.M. Garrett, How to choose the Right protective coating, *Materials Protection*, Vol.3, P.8-13 (March, 1964).
- 8- Paints and Protective Coatings (Army TM5-618, Navfac MO-110, Air Force AFM 85-3), Superintendent of Documents USGPO, Washington, D.C. 20402.
- 9- Gary n. Kirby, What You Need to Know About Maintenance Painting-Parts, *J.Chem. Eng.*, 75-78 (July 26, 1982); Part ii, 113-116 (Aug. 23, 1982).



شکل ۶-۱۰ راهنمای انتخاب پوششهای آلی که در انتخاب اولیه بهترین نوع پوشش برای یک کاربرد مورد نظر می تواند مورد استفاده قرار گیرد. مثال: پوششهای زیر برای کار در دماهای بالا می تواند مورد استفاده قرار گیرد: روی مغدنی، سیلیکون، ماده رنگی، سیلیکون آلکاید، و آتریلیک.

۶-۷ مقاومت پوششها در محیطهای مختلف نشان داده شده است. ضخامت مورد نیاز، تعداد لایهها، موقعیت (داخل سالن یا در هوای باز) کار، زمان رنگ آمیزی (با مشاهده اولین علامت زنگ) توضیح داده شده است. در جدول ۶-۸ نکات مهمی که بایستی در نظر گرفته شوند آمده است. در جدول ۶-۹ هزینه های آماده سازی سطحی و

جدول ۶-۷ مقاومت پوششهای معمول برای تعمیر و نگهداری در برابر مواد شیمیایی، هوا، فرسایش و اکسیداسیون

فرسایش اکسیداسیون هوا آب	حلالها نمکها	بازها	اسیدها					
۴	۱	۱۰	۷	۲	۶	۱	۱	پایه روغنی
۶	۳	۱۰	۸	۴	۸	۶	۶	آلکید
۶	۶	۸	۱۰	۴	۱۰	۱۰	۱۰	لاستیک کلرونیه
۴	۵	۴	۱۰	۷	۱۰	۸	۸	اپوکسی کولتار
۶	۶	۸	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۹	اپوکسی کاتالیزه
۴	۴	۹	۸	۲	۶	۳	۴	آلومینیم سیلیسیم
۷	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۱۰	۱۰	۱۰	وینیل
۱۰	۹	۸	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۹	یورتان
۱۰	۱۰	۱۰	۵	۱۰	۵	۱	۱	روی (معدنی)

- عدد ۱۰ نشان دهنده بهترین حفاظت می باشد.

رنگ آمیزی تخمین زده شده است^(۱). شرایط لیست شده در وسط ستون چپ بشرح زیر است:

تجهیزات تازه و نو:

- ۱- پوسته محکم نورد بدون زنگ یا مقدار کمی زنگ.
- ۲- پوسته ضعیف نورد، زنگ پودری و آمورف، بدون حفره.
- ۳- مقدار کمی پوسته نورد، زنگ زدگی سرتاسری، مقداری حفره.

تعمیر و نگهداری:

- ۴- لایه رویی نازک، ظاهر شدن آستری، زنگ زدگی جزئی.
- ۵- لایه رویی نازک، ظاهر شدن آستری، ۱۰٪ سطح دارای پوسته ضعیف و رنگ ضعیف.

1- See also S. P. Thompson, Managing a Maintenance Painting Program to Reduce Costs, *Materials Performance*, 48-51 (Oct. 1982). (Could save up to 50% of annual painting costs.)

جدول ۶-۸ نکات مهمی که در باره پوششهایی که انتخاب می کنید باید بدانید

پوشش	مزایا	بخطرات داشته باشید:
پایه نفتی	نفوذ خوب در زنگ زمینه را خوب خیس می کند	مقاومت ضعیف در اسید، قلیا، حلال و اکسیداسیون. به آهستگی خشک می شود، با پیر شدن زرد و ترد می شود.
آلکید نفتی - کوتاه	ارزان قیمت، زود خشک می شود، چسبندگی خوب، سهولت دو باره پوشش می شود.	روی آسترهای غنی از رو به کار نبرید. مقاومت متوسط در برابر اسید، قلیا، حلال و اکسیداسیون مقاومت متوسط در برابر ضربه.
نفتی - بلند	دوام خوب، مقاومت خوب در هوا، قابل انعطاف، سهولت دوباره پوشش می شود.	مقاومت ضعیف در برابر حلالهای آروماتیک، موقتی که برس زده می شود "تخ" می شود، مقاومت متوسط در برابر دما.
اپوکسی	جامع	ممکن است سطح آن در آفتاب سفیدک بزند، در خارج از ساختمان از رنگهای روشن استفاده شود.
کول - تار	مقاومت عالی در آب، آب دریا و خاک	محدودیتهای لکه گیری و رنگ کردن مجدد را چک کنید. قابلیت انعطاف، و مقاومت در برابر فرسایش را چک کنید فقط رنگهای تیره.
آمین	مقاومت خوب در آب، اسید، قلیا، و حلال، سخت و مقاوم در برابر دما	پوست را تحریک می کند. محدودیتهای رنگ کردن مجدد را چک کنید.
پلی آمید	مقاومت خوب در آب، قلیا، مقاوم در برابر ضربه و مقاومت خوب در برابر دما.	محدودیتهای رنگ کردن مجدد را چک کنید.
کتی مین	زمان رنگ کردن مجدد نامحدود، مقاومت در برابر طیف وسیعی از حلالها و مواد شیمیایی.	موقع خشک شدن گازهای کتونی آزاد می سازد.
پورتان (دو جزئی آلیفاتیک)	مقاومت خوب در آب، اسید، قلیا، و حلال مقاومت فرسایشی خوب. برق و رنگ خود را خوب نگه می دارد. کاربرد در دماهای پائین	محدودیتهای دمایی را چک کنید. گازهای حلال آنرا چک کنید. گران قیمت. قابلیت رنگ کردن مجدد را چک کنید.
دینیل	مقاومت خوب در آب، اسید، قلیا، مقاوم در برابر ضربه. قابلیت رنگ کردن مجدد خوب، سریع خشک می شود. کاربرد در دماهای پائین (۵°F)	مقاوم در دماهای پائین (۱۵۰°F) مقاومت ضعیف در حلال کتونی آروماتیک در سد پائین جامدات. به سطح خوبی نیاز دارد. اکثراً اسپری می شود. گازهای کتونی
آسترهای غنی از روی معذنی	بهترین مقاومت در برابر حلالهای آلی مقاومت خوب در برابر فرسایش. مقاوم تا ۱۰۰۰°F	نیاز به آماده سازی سطحی خوب دارد. محدود به pH های ۵ تا ۱۰. معمولاً اسپری می شود ضخامت لایه محدودیت دارد.

- ۶- لایه رویی به طور کامل اکسید شده و به طرز زیادی پوسته پوسته شده، تقریباً ۳۰٪ سطح حفره دار شده و دارای پوسته‌های سخت شده است.
- ۷- به طرز بدی حفره دار شده و دارای تجمع‌هایی از زنگ می‌باشد.

جدول ۶-۹ تخمین هزینه‌های آماده سازی سطح و کاربرد پوشش‌ها برای حالات مختلف

آماده سازی سطح					
سند بلاست		سرعت سند بلاست		هزینه، \$/ft ²	
		افشانک ۵/۱۶ in بر ۱۰۰ Psi			
SSPC		ایده آل		وضعیت ۶	
SP-5 فلز سفید		۱۰۰ ft ² /hr		۸۳ ft ² /hr	۰/۷۵-۱/۵۰
SP-6 بلاست تجارتي		۱۵۰		۱۲۵	۰/۵۰-۱/۰۰
سرعت تمیز کردن					
تمیز کاری دستی	فولاد ساختمانی		تانکها		هزینه، \$/ft ²
	ft ² /hr	ft ² /hr	ft ² /hr	ft ² /hr	
وضعیت فولاد					
۱	۱۵۰	۱,۲۰۰	۱۸۷/۵	۱,۵۰۰	-
۲	۷۵	۶۰۰	۱۲۵	۱,۰۰۰	۰/۲۵-۰/۵۰
۳	۵۰	۴۰۰	۶۲/۵	۵۰۰	۰/۷۵
۴	۱۲۵	۱,۰۰۰	۵۰۰	۴,۰۰۰	رنگ نکنید
۵	۸۷/۵	۷۰۰	۱۳۷/۵	۱,۱۰۰	۰/۲۵
۶	۲۵	۲۰۰	۶۲/۵	۵۰۰	۰/۵۰-۰/۷۵
۷	۱۲/۵	۱۰۰	۳۱/۲۵	۲۵۰	۱,۰۰
کاربرد					
سرعت کاربرد نفر- ساعت / لایه / ft ²					
سطوح تخت		فولاد ساختمانی متوسط تن / ft ² ۲۵۰			
		لاستیک کلرینه		اپوکسی	
		پایه نفتی		وینیل	
اسپری	۳۰۰-۶۰۰	۲۱۰-۲۴۰	۱۸۰-۲۱۰	۱۶۰-۱۹۵	۱۴۵-۱۸۰
غلطکی	۲۰۰-۴۰۰	۱۵۰-۱۸۰	۱۲۵-۱۵۰	۱۰۰-۱۲۵	۱۰۰-۱۲۵
برسکاری	۱۰۰-۲۰۰	۷۰-۸۰	۶۵-۷۰	۶۰-۶۵	۶۰-۶۵

منابع پیشنهادی برای مطالعه بیشتر :

- Berger, Dean M.: Preparing Concrete Surfaces for Painting. *Chem. Eng.*, 141-148 (Oct. 25 1976).
- : Specifying Zinc Rich Primers, *Chem, Eng.*, 101-104 (Dec. 14, 1981)
- Leidheiser, H. ed.: *Corrosion Control by Organic Coatings*, NACE, 1981.
- Tator, Kenneth B.: Coating Developments, Problems, and Trends in the Chemical Industry, *Materials Performance*, 33-36 (Sept. 1974).
- Metals Handbook, Vol. 5., 9th Ed., *Surface Cleaning, Finishing and Coating*. American society for Metals, Metals Park, Ohio, 1982.
- Paints and protective Coatings (Army TM5-618, Navfac MO-110, Air Force AFM 85-3), *Superintendent of Documents* USGPO, Washington, D.C. 20402.

در جدول ۶-۱۰ نمونه ای از مشخصات داده شده است.

۶-۱۳ استانداردهای کنترل خوردگی

انجمن ملی مهندسين خوردگی^(۱) استانداردهایی (روشهای توصیه شده) برای موارد مختلف خوردگی تهیه نموده است. این روشها در جدول ۶-۱۱ لیست شده اند.

۶-۱۴ آنالیز شکست^(۲)

قسمت اعظم این کتاب به آنالیز شکست اختصاص داده شده است (دلایل و راه حلها). MTI یک پروژه در این رابطه انجام داد، و نتایج آن به صورت یک کتاب تحت عنوان "اطلس انهدامهای ناشی از خوردگی" (۱۹۸۵) به چاپ رسیده است. علاقمندان به این گزارش جامع ارجاع داده می شوند. دستورالعملهای مرحله به مرحله ارائه شده است، از درخواست برای بررسی تا گزارش نهایی. بررسیهای محلی قدم به قدم و

1- National Association of Corrosion Engineers (NACE).

2- Failure Analysis.

جدول ۱۰-۶ نمونه مشخصات

الف - آماده سازی سطح

سند بلاست تجارتي بر طبق مشخصات شوراي رنگ سازه‌های فولادی SSPC-SP-6، تمیز کردن با بلاست تجارتي (کیفیت سطح بلاست شده را در صورت موجود بودن اضافه نمائید).

ب - آستر

حداکثر ۴ ساعت بعد از بلاست کاری، توسط پرس یا اسپری (ترجیحاً بدون هوا) لایه‌ای به ضخامت ۳ تا ۵ میل (فیلم خشک) اعمال کنید از:
نوع A نام محصول آستر اپوکسی آلومینیم پلی آمید ضخامت فیلم خشک به روش زیر اندازه‌گیری شود:
ضخامت سنج فیلم خشک از نوع B فرصت دهید، حداقل به مدت ۱۶ ساعت، ولی نه بیشتر از ۵ روز خشک شود.

ج - پوشش میانی

اسپری بدون هوا (فقط) به ضخامت ۲ تا ۳ میل فیلم خشک از:
نوع A "تام محصول" پوشش وینیل، رنگ خاکستری
ضخامت فیلم خشک به روش زیر اندازه‌گیری شود:
ضخامت سنج فیلم خشک از نوع B. فرصت دهید به مدت ۲ ساعت خشک شود.

د - پوشش نهایی

اسپری بدون هوا (فقط) به ضخامت ۲ تا ۳ میل فیلم خشک از:
نوع A "تام محصول" پوشش وینیل، سفیدرنگ
ضخامت فیلم خشک به روش زیر اندازه‌گیری شود:
ضخامت سنج فیلم خشک از نوع B

هـ - نحوه اعمال

- ۱ - رنگ آمیزی را در کمتر از 50°F انجام ندهید
- ۲ - کلیه سطوحی که قرار است پوشش داده شوند بایستی خشک، عاری از لکه، رنگ، گریس و سایر مواد آلوده کننده باشند.

و - دستورالعمل های تولید کننده

کلیه عملیات مخلوط سازی، رقیق سازی، اعمال پوشش بایستی بر طبق توصیه های تولید کننده باشد.

ز - اقدامات ایمنی

- ۱ - توصیه های ایمنی تولید کننده را رعایت کنید.
- ۲ - کلیه مواد قابل اشتغال را دور از حرارت، جرقه و شعله باز نگهدارید.
- ۳ - محفظه های مواد را عمودی نگه دارید و در پوشش آنها را محکم کنید.

ح - تمیز کردن

پس از اتمام کار، کلیه مواد رنگی، ابزارها، داربست ها و پله ها را از محل کار خارج نمایید.

همچنین آزمایشگاهی نیز توضیح داده شده اند. یک " زنجیره اشتباهات " به صورت دیاگرام نشان داده شده است. تعداد زیاد تصاویر عالی از شکست های متداول نشان داده شده است. بر اهمیت بررسی نمونه ها قبل از تمیز کردن تاکید شده است و همینطور به جمع آوری شواهد و دلایل و گزارش کردن صحیح.

جدول ۱۱-۶ استانداردهای کنترل خوردگی NACE

دستور العمل های توصیه شده (RP , Recommended Practices)

- 70 - 01 - RP حفاظت فولاد زنگ‌زن آستینیتی در پالایشگاه‌ها در برابر ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش (SCC) با استفاده از محلول‌های خنثی کننده موقع خوابیدن کارخانه.
- 72 - 01 - RP آماده سازی سطحی فولاد و مواد سخت دیگر با استفاده از پاشیدن آب قبل از پوشش کاری یا پوشش کاری مجدد.
- 72 - 02 - RP محاسبه مستقیم ارزیابی اقتصادی روشهای کنترل خوردگی.
- 72 - 03 - RP روش پوشش دادن تانک‌ها با اپوکسی قیر معدنی.
- 72 - 04 - RP روشها و کنترل‌های جلوگیری از ترک خوردن جوش‌های فولاد کربنی (P-۱) موقع کار در محیطهای خورنده پالایشگاه‌های نفت.
- 72 - 05 - PR طراحی، نصب بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری حفاظت کاتدی با اعمال جریان خارجی توسط بسته‌های زمینی عمیق.
- 73 - 01 - RP جمع آوری و شناسایی محصولات خوردگی.
- 73 - 02 - RP کار کردن و/یا کاربرد صحیح اسیدهای مناطق نفتی که به آنها ممانعت‌کننده اضافه شده است.
- 74 - 01 - RP کنترل خوردگی سیستم‌های توزیع برق زیر زمینی مناطق مسکونی.
- 74 - 02 - RP بازرسی پوشش‌های لوله‌ها قبل از نصب به وسیله ولتاژ بالا.
- 75 - 01 - RP کنترل خوردگی سطوح داخلی در خطوط لوله و سیستم‌های لوله کشی فولادی.
- 75 - 02 - RP اعمال پوشش‌های آلی در سطوح خارجی لوله‌های فولادی برای کار در زیر زمین.
- 75 - 03 - RP اعمال و کار با پوشش‌های محافظ مومی و سیستم‌های نوار پیچی برای خطوط لوله زیر زمینی.
- 75 - 04 - RP انتخاب مواد فلزی مورد استفاده در قسمت‌های مختلف آماده‌سازی آب برای تزریق در فرماستونهای نفت دار.
- 75 - 05 - RP طراحی، نصب، بهره‌برداری و تعمیرات و نگهداری سیستم‌های حفاظت کاتدی سطوح داخلی در مخازن تصفیه نفت.
- 75 - 06 - RP کنترل خوردگی لوله‌هایی که در دریا قرار دارند.
- 75 - 07 - RP آماده سازی و نصب کوبن‌های خوردگی و تجزیه و تحلیل نتایج در عملیات تولید نفت.
- 76 - 01 - RP کنترل خوردگی برای سکوهای ثابت دریایی در رابطه با تولید نفت.
- 76 - 02 - RP پوشش‌های آسفالتی - ماستیکی اکستروود شده برای لوله‌های زیرزمینی.
- 76 - 03 - RP کف پوشش‌های آلی مونولیتیکی مقاوم در برابر خوردگی.
- 77 - 01 - RP کاهش اثرات جریان‌های متناوب و رعد و برق بر سازه‌های فلزی و سیستم‌های کنترل خوردگی.
- 78 - 01 - RP طراحی، ساخت و رنگ‌آمیزی تانک‌ها و مخازن فلزی برای کار در محیط‌های شیمیایی.
- 78 - 02 - RP طراحی و کار برجهای استریپ برای خارج ساختن اکسیژن از آب.
- 80 - 01 - RP حفاظت کاتدی سیستم تصفیه آب کارخانجات کاغذ و خمیر کاغذسازی.
- 82 - 01 - RP تنظیم مقدماتی تجهیزات سردکننده آب.
- 83 - 01 - RP* (تجدید نظر شده 69 - 01 - RP) کنترل خوردگی سطوح خارجی سیستم‌های لوله کشی فلزی زیرزمینی یا زیرآبی.

* - در متریال پرفورمانس، آوریل ۱۹۸۳ چاپ شده. 83 - 01 - RP دارای لیست مراجع و بحث خوبی در مورد پوشش‌ها می‌باشد.

برای کسب اطلاعات به هنگام و قیمت به آدرس زیر تماس بگیرید.

NACE. P. O. BOX 218340 , Houston , Tx 77218.