



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۸۷۴۹

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

18749

1st. Edition

2014

اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا

General principles of cathodic protection
in sea water

ICS:77.060

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد " اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا "

رئیس :

حاتمی منفرد، علیرضا
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

دبیر :

حشمت دهکردی، ابراهیم
(دکتراى مهندسى متالورژى)

اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

احمدی، مرتضی
(کارشناس مهندسی مکانیک)

آخوند نسب، سعید
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

الداغی، حامد
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

اسلامی، حسن
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

ایمانیان نجف آبادی، رضا
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

پلاسید، سید امیررضا
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

خردمند، احسان
(کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)

دانشور، عاطفه
(کارشناس ارشد مهندسی پلیمر)

سمت یا نمایندگی

شرکت مهندسی و توسعه گاز

انجمن خوردگی ایران

شرکت نفت و گاز پارس

شرکت مهندسی و توسعه گاز

شرکت نفت و گاز پارس

انجمن خوردگی ایران

شرکت سنجش کیفیت پارس

شرکت مپصا

شرکت گاز خراسان رضوی

انجمن خوردگی ایران

پایانه ها و مخازن پتروشیمی	زارع پور، مجید (کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)
دانشگاه مالک اشتر	ظهراپی، سید مهدی (کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)
انجمن خوردگی ایران	عظیم زاده، نجمه (کارشناس مهندسی متالورژی)
شرکت نفت و گاز پارس	ماسوری، داریوش (کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)
شرکت نفت و گاز پارس	نجمی، محمد (کارشناس ارشد مهندسی متالورژی)
شرکت برنا گداز	نصری، محسن (کارشناس مهندسی برق)
شرکت میپصا	نعمت دوست حقی، بهروز (کارشناس ارشد شیمی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۹	۴ اصول خوردگی فلزات مدفون یا غوطه‌ور
۱۳	۵ اصول حفاظت کاتدی
۱۴	۶ اعمال حفاظت کاتدی
۱۸	۷ تشخیص سطح حفاظت کاتدی
۱۹	۸ راهنمای حفاظت
۲۶	۹ ملاحظات طراحی
۲۹	۱۰ اثر فاکتورهای محیطی روی جریان مورد نیاز
۳۲	۱۱ اثرات ثانویه حفاظت کاتدی
۳۵	۱۲ بکار بستن حفاظت کاتدی همراه با پوشش‌های سطحی
۳۷	پیوست الف (اطلاعاتی) الکترودهای مرجع

پیش گفتار

استاندارد " اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا " که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط انجمن خوردگی ایران تهیه و تدوین شده و در هزار و شصت و هفتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلز شناسی مورخ ۹۳/۳/۱۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است:

ISO 12473:2006, General principles of cathodic protection in sea water

BS EN 12473:2000, General principles of cathodic protection in seawater

اصول کلی حفاظت کاتدی در آب دریا

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین اصول کلی حفاظت کاتدی شامل معیار پذیرش، ملاحظات طراحی و محیطی و آثار ثانویه حفاظت کاتدی می باشد و به عنوان مقدمه ای بر سایر استانداردهای ملی ایران "حفاظت کاتدی سازه های فلزی در آب دریا" در نظر گرفته می شود.

در استانداردهای زیر جنبه های نظری و کاربردی حفاظت کاتدی در آب دریا آورده شده است:

- EN 12474:1997، حفاظت کاتدی برای خطوط لوله زیر دریا،
- EN 12495:2000، حفاظت کاتدی برای سازه های فراساحلی فولادی ثابت،
- EN 12496:1997، آندهای گالوانیک برای حفاظت کاتدی در آب دریا و گل و لای،
- EN 13173:1998، حفاظت کاتدی برای سازه های معلق فراساحلی فولادی.

این گروه استاندارد حفاظت کاتدی فولاد در بتن چه غوطه ور یا در معرض اتمسفر را پوشش نمی دهد و این موضوع در استانداردهای EN12696-1:1997 و EN 12696-2 ارائه شده است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود . در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد ، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست . در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است ، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آن ها مورد نظر است . استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است :

2-1 EN ISO 8044, Corrosion of metals and alloys – Basic terms and definitions (ISO 8044:1999).

۳ اصطلاحات و تعاریف

در خصوص این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف استاندارد ISO 8044، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز بکار می رود:

۱-۳

اسیدپته

حضور یون های هیدروژن اضافی نسبت به یون های هیدروکسیل ($\text{PH} < 7$)

۲-۳

قلیائیت^۱

حضور یون‌های هیدروکسیل اضافی نسبت به یون‌های هیدروژن ($\text{PH} > 7$)

۳-۳

شرایط بی‌هوازی^۲

عدم حضور اکسیژن آزاد در الکترولیت

۴-۳

ناحیه آندی^۳

قسمتی از سطح فلز که نقش آند را بازی می‌کند

۵-۳

اتصال^۴

رسانای فلزی، معمولاً مس، که دو نقطه را به منظور هم‌پتانسیل کردن نقاط به یکدیگر متصل می‌کند.

۶-۳

رسوبات آهکی^۵

مواد معدنی رسوب کرده روی کاتد فولادی به علت افزایش قلیائیت ایجاد شده در اثر حفاظت کاتدی

۷-۳

الکتروود مرجع کالومل

الکتروود مرجع شامل جیوه و کلرید جیوه در محلول اشباع کلرید پتاسیم

۸-۳

ناحیه کاتدی^۶

قسمتی از سطح فلز که نقش کاتد را بازی می‌کند.

1 Alkalinity
2 Anaerobic Condition
3 Anodic Area
4 Bond
5 Calcareous Deposits
6 Cathodic Area

۹-۳

جدایش کاتدی^۱

از بین رفتن چسبندگی بین پوشش و سطح فلزی که مستقیماً مرتبط با اعمال حفاظت کاتدی می‌باشد.

۱۰-۳

سامانه حفاظت کاتدی^۲

تمام تاسیسات، شامل عناصر فعال و غیر فعال، که حفاظت کاتدی را میسر می‌سازند.

۱۱-۳

پیل^۳

سامانه کامل الکترولیتی، شامل یک کاتد، یک آنود در اتصال الکتریکی و در حضور الکترولیت

۱۲-۳

ضریب شکست پوشش^۴

ضریب شکست پوشش، کاهش قابل انتظار دانسیته جریان کاتدی در اثر اعمال پوشش عایق الکتریکی در مقایسه با فولاد بدون پوشش می‌باشد.

۱۳-۳

عیب پوشش^۵

ناپیوستگی در پوشش محافظ

۱۴-۳

مقاومت پوشش

مقاومت الکتریکی بین یک فلز پوشش داده شده و الکترولیت که تا حد زیادی وابسته به اندازه و تعداد عیوب و حفره‌های پوشش می‌باشد و بنابراین نشان دهنده وضعیت پوشش می‌باشد.

۱۵-۳

رسانا

ماده ای که در آن جریان الکتریکی جاری می‌باشد

1 Cathodic Disbonding

2 Cathodic Protection System

3 Cell

4 Coating Breakdown Factor

5 Coating Defect

۱۶-۳

اتصال پیوستگی^۱

اتصال طراحی و نصب شده ویژه، برای اطمینان از پیوستگی الکتریکی سازه

۱۷-۳

الکتروود مرجع مس / سولفات مس

الکتروود مرجع حاوی مس در محلول اشباع سولفات مس

۱۸-۳

تداخل خوردگی^۲

افزایش یا کاهش نرخ خوردگی یا تمایل به خوردگی، یک سازه غوطه‌ور که در اثر حایل شدن قسمتی از جریان حفاظت کاتدی اعمال شده به سازه غوطه‌ور دیگر ایجاد می‌شود.

۱۹-۳

دی پلاریزاسیون^۳

حذف عوامل مقاوم در برابر جریان در پیل

۲۰-۳

حفاظ عایق^۴

پوشش آلی مقاوم قلیایی که در سازه حفاظت شده در نواحی مجاور آند جریان اعمالی^۵ بکار می‌رود تا گستره گستره حفاظت کاتدی افزایش یابد و خطر خسارت هیدروژنی در سازه محافظت شده در مجاورت آند را کاهش دهد.

۲۱-۳

اتصال تخلیه جریان^۶

اتصال جهت تخلیه الکتریکی

۲۲-۳

پتانسیل محرکه

اختلاف بین پتانسیل سازه / الکتروولیت و پتانسیل آند / الکتروولیت

1 Continuity Bond
2 Corrosion Interference
3 Depolarization
4 Dielectric Shield
5 Impressed Current
6 Drainage Bond

۲۳-۳

مقاومت الکتریکی پوشش

به تعریف مقاومت پوشش مراجعه شود

۲۴-۳

الکترونگاتیو

شرایط اعمالی به یک الکتروود فلزی برای نشان دادن اینکه پتانسیل آن نسبت به الکتروود فلزی دیگر در سیستم، منفی می باشد.

۲۵-۳

الکترواسمز^۱

عبور مایع از محیط متخلخل تحت تاثیر اختلاف پتانسیل

۲۶-۳

ترک خوردگی ناشی از محیط^۲

شکست ترد موادی که به صورت معمول نرم هستند، در حالتی که اثر خوردگی محیط عامل تاثیرگذار می باشد.

۲۷-۳

اثر گالوانیک

واکنش الکتروشیمیایی خود به خود در سامانه ای شامل کاتد و آند که اتصال الکتریکی دارند و در حضور الکترولیت رخ می دهد که نتیجه آن خورده شدن آند می باشد.

۲۸-۳

بستر^۳

سامانه ای شامل الکتروودهای غوطه ور متصل به قطب مثبت یک منبع جریان مستقیم مستقل که به منظور هدایت جریان حفاظت کاتدی به سازه حفاظت شده مورد استفاده قرار می گیرد.

۲۹-۳

هالیدی

به تعریف عیب پوشش مراجعه شود.

1 Electro-Osmosis

2 Environmentally Assisted Cracking

3 Groundbed

۳۰-۳

آند جریان اعمالی^۱

آند در تجهیزات جریان اعمالی

۳۱-۳

فلنج عایق^۲

اتصال فلنجی بین دو لوله مجاور که در آن پیچ و مهره ها از نظر الکتریکی از یک یا هر دو فلنج عایق شده اند و لایه^۳ (مورد استفاده)، غیر هادی می باشد، بنابراین در آن نقطه از خط لوله ناپیوستگی الکتریکی وجود دارد.

۳۲-۳

یون

اتم، یا گروهی از اتم ها، که بار الکتریکی مثبت یا منفی حمل می کنند.

۳۳-۳

اتصال عایقی^۴

اتصال یا جفت شدگی بین دو قسمت از لوله، که از نظر الکتریکی ناپیوسته بوده و به منظور فراهم آوردن ناپیوستگی الکتریکی بین آنها قرار داده شده است.

۳۴-۳

پلاریزاسیون اضافی

هنگامی که اختلاف پتانسیل سازه با الکترولیت، از آنچه برای حفاظت کاتدی موثر توصیه شده، منفی تر باشد. پلاریزاسیون اضافی عملکرد مفیدی فراهم نمی آورد و حتی ممکن است باعث خسارت به سازه توسط تولید بیش از حد گازها شود، که این گازها ممکن است باعث تردی یا خسارت به پوشش محافظ شوند.

۳۵-۳

پلاریزاسیون

تغییر پتانسیل یک الکترود در اثر عبور جریان از الکترود یا به الکترود

1 Impressed Current Anode

2 Insulated Flange

3 Gasket

4 Isolating Joint

۳-۳۶

اختلاف پتانسیل

تفاوت پتانسیل بین دو نقطه مجزا در همان میدان الکتریکی

۳-۳۷

سازه حفاظت شده

سازه ای که در آن حفاظت کاتدی به طور موثر اعمال شده است

۳-۳۸

جریان حفاظت^۱

جریان ایجاد شده برای گسیل به سازه فلزی از طریق محیط الکترولیت به منظور ایجاد حفاظت کاتدی سازه

۳-۳۹

مقاومت ویژه^۲ (یک الکترولیت)

مقاومت ویژه، مقاومت یک الکترولیت با سطح مقطع و طول واحد می باشد. که بر حسب اهم/متر (Ωm) بیان می شود. مقاومت ویژه به عوامل دیگری از جمله، به مقدار نمک های حل شده در الکترولیت، بستگی دارد.

۳-۴۰

رسوب پوسته ای^۳

ترکیبات شیمیایی غیر محلول که روی سطح سازه حفاظت کاتدی شده تشکیل می شوند. این رسوبات به عنوان رسوبات آهکی نام برده می شوند. (به تعریف ۳-۶ مراجعه شود).

۳-۴۱

الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره

الکتروود مرجعی حاوی نقره، پوشش داده شده توسط کلرید نقره، در الکترولیتی حاوی یون های کلراید

۳-۴۲

آزمایش نرخ کرنش آهسته^۴

این آزمایش شامل بارگذاری کششی آرام یک نمونه با سطح مقطع دایره ای با نرخ کرنش ثابت می باشد، بطوری که که قسمت مورد آزمایش نمونه در معرض محیط آزمایش قرار گیرد.

1 Protection Current

2 Resistivity

3 Scale Precipitation

4 Slow Strain Rate Test

الکتروستاتیک استاندارد هیدروژن

الکتروستاتیک مرجعی حاوی یک فلز الکتروپوزیتیو، مانند پلاتین، در یک الکترولیت حاوی یون‌های هیدروژن با اکتیویته واحد و اشباع شده با گاز هیدروژن در فشار استاندارد یک اتمسفر

پتانسیل سازه نسبت الکترولیت

اختلاف پتانسیل بین یک سازه و یک الکتروستات مرجع مشخص در تماس با الکترولیت در نقطه ای به اندازه کافی نزدیک به سازه، اما در واقع بدون تماس با آن، برای اجتناب از خطا بدلیل افت ولتاژ ناشی از هرگونه جریان در الکترولیت

باکتری‌های احیاء کننده سولفات

گروهی از باکتری‌ها که در بیشتر خاک‌ها و آب‌های طبیعی پیدا می‌شوند، اما تنها در شرایط نزدیک به خنثی و غیری از اکسیژن فعال می‌شوند. آنها در محیط‌شان سولفات‌ها را با تولید سولفیدها احیا می‌کنند و خوردگی مواد سازه را سرعت می‌بخشند.

جریان‌های تلوریک^۱

جریان‌های الکتریکی القا شده بوسیله تغییرات در میدان مغناطیسی زمین بر حسب زمان. این جریان‌ها اصولاً در زمین و در اقیانوس‌ها جریان می‌یابد. آنها می‌توانند در فلزات رسانای موجود در خاک یا دریا جریان یابند.

مبدل یک‌سو کننده

مبدل یک‌سو کننده وسیله ای است که ولتاژ متناوب را به مقادیر متناسب تبدیل کرده و سپس آن را به جریان مستقیم تبدیل می‌کند. جریان مستقیم ایجاد شده به این روش به عنوان منبع نیرو برای سامانه‌های حفاظت کاتدی جریان اعمالی به کار می‌رود.

1 Telluric Currents

۴ اصول خوردگی فلزات مدفون یا غوطه‌ور

۴-۱ ماهیت خوردگی فلزات

هنگامی که یک فلز در تماس با الکترولیت خورده می‌شود، اتم‌های خنثی با تشکیل یون‌هایی با بار مثبت به داخل محلول وارد می‌شوند و الکترون‌های اضافی درون فلز باقی می‌ماند. این فرآیند برای آهن می‌تواند بصورت زیر شرح داده شود:



بنابراین خوردگی با ایجاد جریان الکتریکی از فلز به الکترولیت از طریق حرکت یون‌های مثبت درون الکترولیت و الکترون‌ها درون فلز همراه است. هر قسمتی که از آن جریان جاری می‌شود نواحی آندی و واکنش، واکنش آندی نامیده می‌شود. یون‌های فلزی ممکن است با یون‌های منفی در الکترولیت واکنش داده و محصولات خوردگی نامحلول ایجاد کنند (برای مثال زنگ زدن فولاد). این چنین واکنش‌هایی بر فرآیند خوردگی تاثیر عمده ندارد مگر در جایی‌هایی که محصولات خوردگی نامحلول از حملات خوردگی بیشتر جلوگیری کنند.

برای پیشرفت واکنش خوردگی خنثی بودن کلی از لحاظ الکتریکی باید حفظ شود. بنابراین، حرکت الکترون‌ها درون فلز و حرکت یون‌های مثبت به الکترولیت در نواحی آندی باید به وسیله مصرف الکترون‌ها در نواحی دیگر موازنه شود که به عنوان نواحی کاتدی شناخته می‌شوند. واکنش‌های مختلفی می‌تواند در نواحی کاتدی رخ دهد که این‌ها تحت عنوان واکنش‌های کاتدی شناخته می‌شوند.

واکنش‌های زیر معمول‌ترین واکنش‌های رخ داده در کاتد را نشان می‌دهد:



اکسیژن + آب + الکترون‌ها $\rightarrow$ یون‌های هیدروکسید



یون‌های هیدروژن + الکترون‌ها $\rightarrow$ گاز هیدروژن



اولین واکنش از این واکنش‌ها در حضور اکسیژن حل شده و در شرایط نزدیک به خنثی رخ می‌دهد. دومی در شرایط اسیدی (یون‌های هیدروژن اضافی) غالب می‌باشد در حالی که سومی در مقادیر pH بالاتر از خنثی واکنش غالب می‌باشد.

در شرایط نزدیک به خنثی و هوادهی شده، یون‌های آهن تولید شده در آند با یون‌های هیدروکسید ایجاد شده در نواحی کاتدی واکنش داده و هیدروکسید آهن تولید می‌کنند:



این هیدروکسید آهن به راحتی توسط اکسیژن حل شده اکسید شده و اکسید فریک آبدار ($Fe_2O_3.H_2O$) تشکیل می‌دهد:



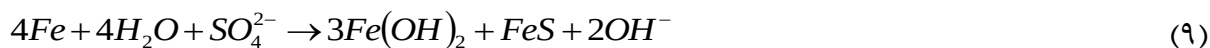
بنابراین واکنش کلی که از طریق یک سری مراحل میانی انجام می‌گیرد می‌تواند به صورت ذیل نوشته شود:



در عمل نرخ خوردگی اغلب توسط نرخ واکنش کاتدی مشخص می‌شود. در محیط‌های آبی بدون هوا و نزدیک خنثی باکتری احیاء کننده سولفات ممکن است باعث واکنش کاتدی دیگری در خوردگی آهن و فولاد باشد. این میکروب‌ها احتمالاً از طریق واکنش ذیل سولفات‌های محلول را به سولفید احیاء می‌کنند:



و خوردگی به این مشخصه رخ می‌دهد که:
الف) در شرایط عدم حضور اکسیژن، و
ب) سولفیدها در محصولات خوردگی وجود دارند.
با توجه به ترکیب شیمیایی محصولات واقعی تشکیل شده، مکانیزم خوردگی محتمل می‌تواند شامل دی پولاتریزاسیون کاتدی باشد که با معادله ساده شده (۹) نشان داده شود:



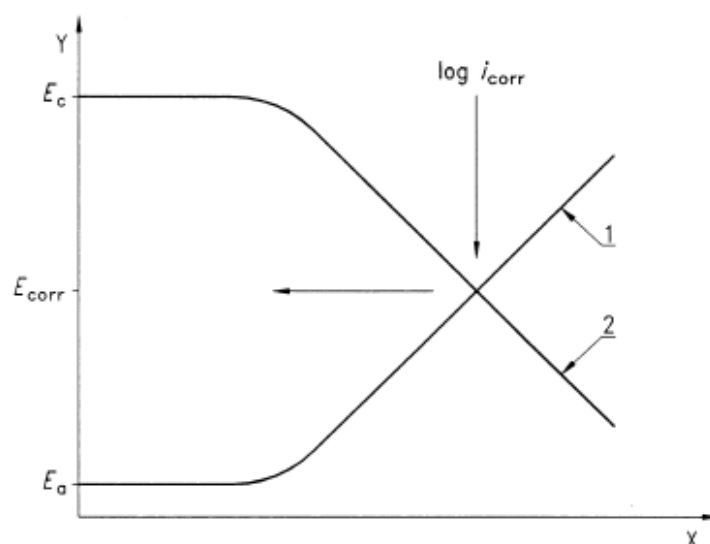
برانگیزش واکنش کاتدی به این بستگی دارد که باکتری آنزیم‌دار (هیدروژن‌زا) داشته باشد تا بتواند هیدروژن موجود در نواحی کاتدی را اکسید کند. یون‌های سولفید تولید شده توسط احیاء سولفات گاهی اوقات می‌توانند باعث برانگیزش فرآیند انحلال آندی آهن شوند.

۴-۲ پلاریزاسیون

در جایی که خوردگی رخ می‌دهد، اختلاف پتانسیل بین دو واکنش الکتروشیمیایی روی سطح، نیروی محرکه لازم برای واکنش را فراهم می‌آورد. در نتیجه، هر دو واکنش الکتروود از مقدار تعادلی شان تغییر کرده و باعث رخ دادن یک واکنش آندی خالص در یک جا و یک واکنش کاتدی خالص در جایی دیگر می‌شود. این دو پتانسیل، به دلیل مصرف بخشی یا تمام اختلاف پتانسیل برای واکنش‌های مجزا به یکدیگر نزدیک می‌شوند. برای رخ دادن خود به خود خوردگی، نه تنها می‌باید اختلاف بین دو پتانسیل واکنش باشد، بلکه پتانسیل فرآیند کاتدی باید مثبت‌تر از فرآیند آندی باشد.

این وضعیت به طور شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است، که نمودار پتانسیل الکتروود، E ، بر حسب لگاریتم آهنگ واکنش می‌باشد. به علت اینکه واکنش‌های آندی و کاتدی، به ترتیب، الکترون آزاد و مصرف می‌کنند، نرخ‌های واکنش آندی و کاتدی توسط جریان الکتریکی، I ، مشخص می‌شوند. برای سادگی، هر دو نرخ واکنش روی یک محور رسم می‌شوند، جهت جریان در نظر گرفته نشده و فقط شدت آن برای نمایش نرخ (واکنش) به کار می‌رود.

E_c پتانسیل تعادلی برای واکنش کاتدی در جاییکه نرخ واکنش کاتدی خالصی وجود ندارد، می‌باشد. تغییرات منفی منحنی از E_c نشان می‌دهد که، در حالی که پتانسیل منفی تر می‌شود، نرخ واکنش کاتدی افزایش می‌یابد. متقابلاً، E_a پتانسیل تعادلی برای واکنش آندی (به طور مثال واکنش (۱)) می‌باشد و دوباره در E_a واکنش آندی خالصی وجود ندارد. منحنی تغییرات مثبت از پتانسیل E_a نشان می‌دهد که، هنگامی که پتانسیل مثبت‌تر می‌شود، نرخ واکنش آندی افزایش می‌یابد.



راهنما:

$\log i$	X
پتانسیل الکتروود	Y
سینتیک آندی	۱
سینتیک کاتدی	۲

شکل ۱- نمودار پلاریزاسیون که به صورت شماتیک الکتروشیمی خوردگی در محیط آبی را نشان می‌دهد

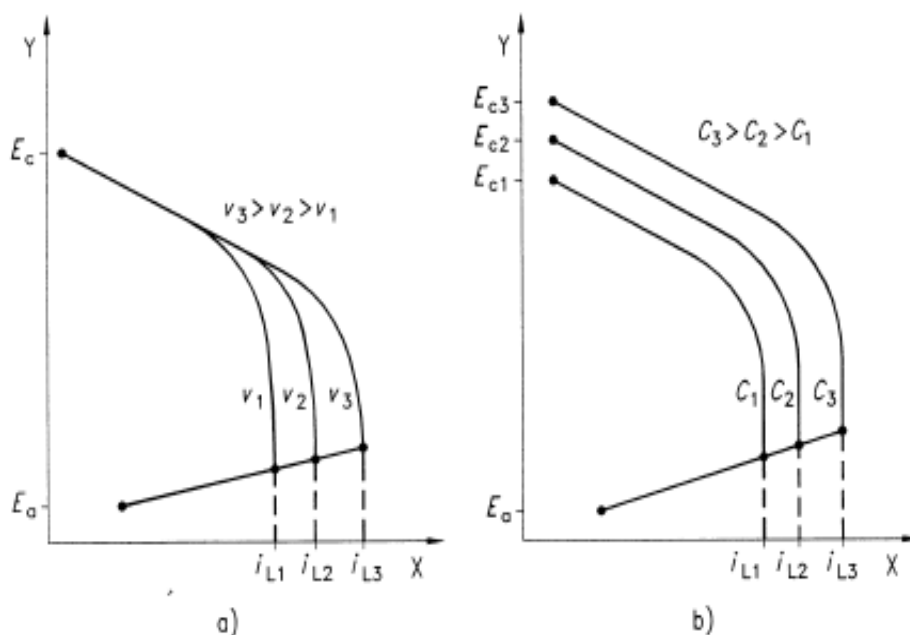
هنگامی که خوردگی رخ می‌دهد، نرخ واکنش آندی دقیقاً برابر نرخ واکنش کاتدی می‌شود. در محیط‌هایی با رسانایی بالا (به طور مثال آب دریا یا گل و لای کف دریا) فلز در حال خورده شدن یک پتانسیل مشخص نشان می‌دهد که بین E_c و E_a می‌باشد. در شکل ۱ این شرایط در جایی که منحنی‌های آندی و کاتدی یکدیگر را قطع می‌کنند رخ می‌دهد. پتانسیل در این نقطه پتانسیل خوردگی، E_{corr} نامیده می‌شود. این پتانسیل مشخصی است که فلز در حال خورده شدن نشان می‌دهد. جریان آن، i_{corr} ، جریان خوردگی نامیده می‌شود و معرف الکتریکی نرخ خوردگی می‌باشد. در عمل، فلز در حال خورده شدن مقادیر پتانسیل‌های E_a یا E_c را ندارد بلکه به صورت خودبه خود به پتانسیل E_{corr} می‌رسد.

در حالی که شکل منحنی‌های $E - \log i$ ، با شرایط محیطی غالب، می‌تواند تغییر کند، روشی که به وسیله آن نمودارهای پلاریزاسیون با عبارات E_{corr} و i_{corr} تفسیر می‌شوند مشابه قبل است.

بر روی فولاد در آب دریا، فرآیند آندی آسان تر از واکنش کاتدی رخ می‌دهد اما این فرآیند به وسیله نرخ واکنش کاتدی محدود می‌گردد. این فرآیند تا حد زیادی توسط آهنگ رسیدن اکسیژن به سطح فلز کنترل می‌شود، که می‌تواند به واسطه غلظت اکسیژن حل شده در آب دریا و نرخ جریان آب باشد.

این پدیده می‌تواند روی دیاگرام‌های پلاریزاسیون (شکل ۲) نشان داده شود.

افزایش سرعت و یا غلظت اکسیژن هر دو می‌تواند باعث افزایش جریان حدی، i_L ، شود.



راهنما:

- | | |
|--|---|
| $\log i$ | X |
| پتانسیل الکترود | Y |
| (a) اثر سرعت محلول (V_x) را نشان می‌دهد، و | |
| (b) اثر غلظت اکسیژن حل شده (C_x) را نشان می‌دهد. | |

شکل ۲- نمودارهای پلاریزاسیون نشان دهنده کنترل نرخ خوردگی توسط سینتیک کند واکنش کاتدی (در این نمونه کنترل شده توسط نرخ رسیدن اکسیژن به سطح) و اثر افزایش دسترسی به اکسیژن

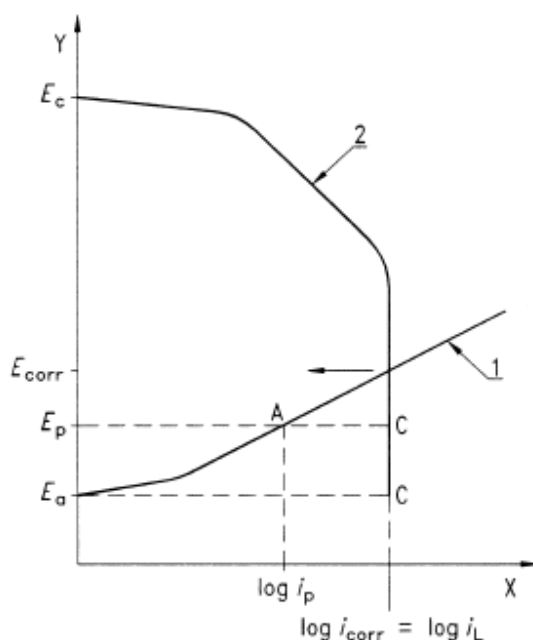
قابلیت انحلال اکسیژن در آب دریا تابعی از دما و میزان شوری می‌باشد و بنابراین با عمق آب و مکان جغرافیایی تغییر می‌کند.

۵ اصول حفاظت کاتدی

شکل ۳ نمودار پلاریزاسیون شماتیک برای خوردگی فولاد با واکنش کاتدی احیاء اکسیژن را نشان می‌دهد. پتانسیل خوردگی با E_{corr} ، مشخص شده و آهنگ خوردگی، i_{corr} برابر مقدار جریان حدی، i_L ، برای احیاء اکسیژن می‌باشد.

فرض کنید پتانسیل بتواند از E_{corr} به E_p کاهش یابد، آهنگ واکنش آندی پایین خواهد آمد و به مقدار i_p می‌رسد، و آهنگ کلی واکنش کاتدی همان i_L باقی خواهد ماند. اگرچه واکنش کاتدی اکنون الکترون‌های مورد نیازش را از دو منبع دریافت می‌کند (از طریق فرآیند آندی و از یک منبع خارجی جریان). واکنش آندی مقدار الکترونی برابر i_p تولید می‌کند، و جریان اضافی مورد نیاز (C منهای A) از یک منبع خارجی تامین می‌شود.

اگرچه پتانسیل کاهش یابد و به E_a برسد، آهنگ انحلال به مقادیر ناچیز کاهش می‌یابد و نرخ واکنش کاتدی i_L باقی می‌ماند. در حالی که هیچ واکنش آندی در این پتانسیل وجود ندارد، واکنش کاتدی اکنون باید توسط منبع الکترون خارجی حفظ شود، و جریان تامین شده بیشتری [برابر $(i_L - 0)$] برای رسیدن به E_a نسبت به E_p مورد نیاز است.



راهنما:

log i X
پتانسیل الکتروند Y

۱ واکنش آندی $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

۲ واکنش کاتدی $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

شکل ۳- نمودار شماتیک نشان دهنده این که چگونه خوردگی می‌تواند توسط اعمال حفاظت کاتدی کاهش یابد یا متوقف شود.

اگر پتانسیل به زیر مقدار E_a افت کند، تنها فرآیند ثانویه کاتدی باقی می ماند بدون اینکه بر واکنش آزاد خوردگی اثر بگذارد.

جریان مورد نیاز برای کاهش نرخ خوردگی به صفر $i(E_{\text{corr}}) - i(E_a)$ می باشد و اگر خوردگی فقط از طریق احیاء اکسیژن حل شده باشد (این جریان) برابر i_L ، جریان حدی برای احیاء اکسیژن خواهد بود.

کاهش پتانسیل خوردگی بوسیله اعمال جریان اساس حفاظت کاتدی می باشد.

در اصل حفاظت کاتدی می تواند برای کاربردهای مختلفی مورد استفاده قرار گیرد، در جایی که یک فلز در یک محلول آبی الکترولیتی از آب خالص، آب شور و آب دریا، تا خاک ها و حتی محلول های اسیدی قرار گرفته باشد.

توصیه می شود این مطلب مورد توجه قرار گیرد که این روش الکترو شیمیایی می باشد و هم سازه ای که باید حفاظت شود و هم آند مورد استفاده برای حفاظت می باید در تماس فلزی و الکترولیتی باشند. بنابراین حفاظت کاتدی نمی تواند برای کنترل خوردگی اتمسفری و انواع خوردگی مشابه آن به کار رود.

انواعی از خوردگی که می تواند توسط حفاظت کاتدی کنترل شود شامل تمام انواع خوردگی عمومی، خوردگی حفره دار شدن، خوردگی انتخابی، خوردگی شیاری، ترک خوردگی در اثر محیط، خوردگی حبابی^۱ و باکتریایی می باشند.

به طور خلاصه:

- بدون حفاظت کاتدی، فولاد با نرخ مشخص شده با i_{corr} و i_L ، هنگامی که احیاء اکسیژن واکنش کاتدی است، خورده می شود.

- با کاهش پتانسیل به E_a ، توقف خوردگی به طور کامل امکان پذیر است، اما این امر نیازمند استفاده از یک جریان خارجی معادل i_L می باشد.

- با کاهش پتانسیل به مقداری زیر E_{corr} اما بالاتر از E_a ، فلز می تواند با برخی ملاحظات اقتصادی در جریان فراهم شده، تا اندازه ای حفاظت شود.

- به علت پلاریزاسیون آندی، که ارتباط بین پتانسیل E و جریان i در آن تقریباً لگاریتمی می باشد، تغییرات اولیه و اندک منفی پتانسیل (یا پلاریزاسیون) می تواند فواید بسیاری در حفاظت داشته باشد.

- با بردن پتانسیل به زیر E_a مقداری از جریان برای احیاء الکتروشیمیایی آب به یون های هیدروکسیل مصرف می شود.

۶ اعمال حفاظت کاتدی

دو روش وجود دارد که به وسیله آن الکترون ها جهت پلاریزه کردن سطح تامین می گردند:

الف) سامانه های آند فدا شونده که در آن ها جریان حفاظت توسط فلزی با پتانسیل خوردگی الکترون گاتیوتر از نمونه حفاظت شده تامین می گردند، یعنی آلیاژهای آلومینیوم، روی و منیزیم برای فولاد و آهن و مس و آلیاژهای پایه مسی، و

1 Cavitation Corrosion

ب) سامانه های جریان اعمالی که در آن ها جریان مستقیم (معمولاً از جریان متناوب توسط یک مبدل یک سو کننده تولید میشوند) در اتصال با یک آند نسبتاً خنثی مانند گرافیت، پوشش نازکی از پلاتین یا اکسیدهای فلزی مخلوط فعال شده^۱ روی فلزاتی مانند تیتانیم یا نیوبیم، آلیاژهای سرب، سیلیسیوم-آهن و غیره، مورد استفاده قرار می گیرد، در بعضی موارد یک آند مصرفی مانند قراضه آهن یا فولاد مورد استفاده قرار می گیرد.

۶-۱ روش آند فدا شونده

اگر دو فلز غیر مشابه در یک الکترولیت به یکدیگر وصل شوند یک پیل گالوانیک تشکیل می شود. ولتاژ محرکه مدار باز ناشی از اختلاف پتانسیل طبیعی موجود بین دو فلز می باشد. اگر این مدار بسته شود، این اختلاف پتانسیل یک جریان الکتریکی ایجاد می کند. الکتروود منفی تر به عنوان آند عمل می کند و الکترون در مدار آزاد می کند و سریع تر انحلال می یابد در حالی که الکتروود مثبت تر به عنوان کاتد عمل کرده و به سختی انحلال می یابد. استفاده از آندهای فدا شونده در حفاظت کاتدی بر اساس این پدیده می باشد. فرض کنید سازه حفاظت شده از فولاد ساخته شده باشد، آندهای فدا شونده آلیاژ روی می تواند برای تشکیل پیل استفاده شود، زیرا این آلیاژها کمتر از فولاد نجیب می باشند (الکترون گاتیوتر هستند). اتصال آندی به سازه از طریق یک سیم فولادی انجام می گیرد که مواد آندی روی آن ریخته گری شده است. بنابراین سازه در تماس فلزی با مواد آند می باشد و همچنین هنگامی که سازه غوطه ور می شود در تماس الکترولیتی با آن می باشد. این مورد در شکل ۴ نشان داده شده است. دیده می شود که الکترون های آزاد شده توسط انحلال اتم های فلزی در احیاء کاتدی اکسیژن روی سازه مصرف می شود و یون های هیدروکسیل در سطح سازه تولید می شود.

۶-۲ روش جریان اعمالی

اغلب آندهای جریان اعمالی از نوعی است که براحتی در پلاریزاسیون آندی انحلال نیابد اما واکنش های دیگری شامل تجزیه محیط آبی، یا اکسید شدن یون های کلراید حل شده را ثابت نگه دارد، یعنی



و



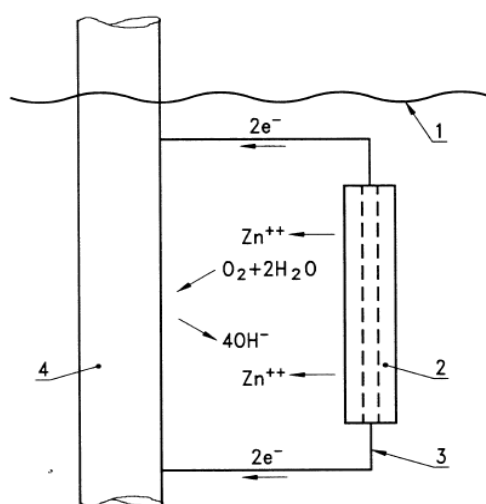
شکل ۵ یک سامانه حفاظت کاتدی توسط جریان اعمالی را که از آند خنثی در آب دریا استفاده می کند، نشان می دهد که در واکنش های ثانویه هیدروژن و کلر ایجاد می شوند.

مزایای سامانه جریان اعمالی این است که امکان داشتن مقادیر بالا و قابل تنظیم ولتاژ محرکه وجود دارد بنابراین نسبتاً تعداد آند های کمی حتی برای حفاظت سازه های بزرگ بدون پوشش در محیط هایی با مقاومت نسبتاً بالا، لازم است که نصب شود. مقایسه ای بین سامانه های آند فدا شونده و آند جریان اعمالی در جدول ۱ آورده شده است.

۳-۶ سامانه های دوگانه^۱

این سامانه ها در برگیرنده ترکیبی از آندهای فدا شونده و آندهای جریان اعمالی با توان خارجی می باشند. به علت اینکه ممکن است زمان قابل توجهی بین غوطه وری اولیه سازه و فعال شدن کامل سامانه جریان اعمالی وجود داشته باشد قرار دادن تعداد کافی از آندهای فدا شونده برای پلاریزه کردن نواحی بحرانی سازی رایج می باشد.

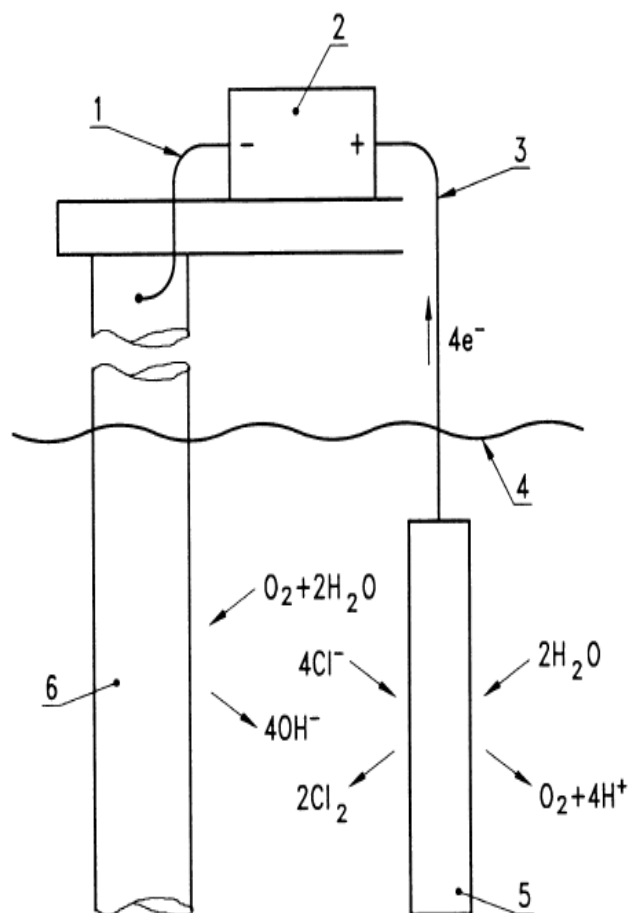
این آندهای فدا شونده همچنین باید در زمانی که سامانه جریان اعمالی به منظور بازرسی زیر دریا و عملیات نگهداری خاموش است، حفاظت سازه را تامین کنند و در طول عمر سازه باقی بمانند.



راهنما:

- | | |
|---|---------------------------|
| ۱ | آب دریا |
| ۲ | آند آلیاژ روی |
| ۳ | اتصالات آند |
| ۴ | سازه حفاظت شده در آب دریا |

شکل ۴- نمایش حفاظت کاتدی با استفاده از آند فدا شونده روی، بر روی سازه در آب دریا



راهنما:

- | | |
|---------------------------|---|
| سیم عایق دار کاتد | ۱ |
| منبع توان (جریان مستقیم) | ۲ |
| سیم عایق دار آند | ۳ |
| آب دریا | ۴ |
| آند جریان اعمالی | ۵ |
| سازه حفاظت شده در آب دریا | ۶ |

شکل ۵- نمایش حفاظت کاتدی توسط جریان اعمالی با استفاده از آند خنثی در آب دریا

جدول ۱- مقایسه سامانه های فدا شونده و جریان اعمالی

محیط	سامانه های آند فداشونده	سامانه های جریان اعمالی
محیط	استفاده از آن ممکن است به جز در خاک‌ها یا آب هایی با مقاومت کم، غیر کاربردی باشد	استفاده از آن کم تر به مقاومت خاک یا آب محدود می‌باشد اما ممکن است در آب دریا Cl_2 بگیرد.
نصب	نصب آسان	طراحی دقیق لازم است در غیر این صورت ممکن است پیچیده شود.
منبع توان	مستقل از هر منبع توان الکتریکی می‌باشد. نمی‌تواند بصورت نادرست اتصال الکتریکی یابد.	منبع خارجی لازم است. لازم است دقت شود که از اتصال الکتریکی در جهت اشتباه اجتناب گردد.
آنها	توده مواد آند ممکن است جریان آب را محدود و اغتشاش و اختلال ایجاد کند.	معمولاً سبک ترند و به تعداد کم می‌باشند. آنها ممکن است طوری طراحی شده باشند که حداقل اثر را روی جریان آب داشته باشند.
کنترل	جریان مورد نیاز خودتنظیم شونده است	قابل کنترل. کنترل معمولاً خودکار است و ممکن است پیوسته باشد.
بر هم کنش	آنها احتمال کمتری به اثر گذاری روی هر سازه مجاوری دارند.	اثرات روی سازه‌های دیگر، قرار گرفته در مجاورت آنها لازم است ارزیابی گردد.
نگهداری	به طور کلی لازم نیست. ممکن است در بعضی شرایط تعویض گردد.	تجهیزات برای عمر طولانی طراحی شده‌اند اما بازرسی منظم تجهیزات الکتریکی در حال سرویس دهی، لازم است. منبع دائمی لازم است.
خسارت	آنها بزرگ هستند و خیلی مستعد خسارت مکانیکی نمی‌باشند. در جایی که سامانه شامل تعداد زیادی آند می‌باشد، از دست دادن تعدادی آند اثرات کلی کمی روی سامانه دارد. اتصالات باید توانایی مقاومت در برابر هر نیروی وارده به سازه را داشته باشند.	آنها ساختار سبک تر دارند و بنابراین کمتر در برابر خسارت مکانیکی مقاوم می‌باشند. از دست دادن آنها می‌تواند اثرات بحرانی تر روی کارایی سامانه داشته باشد.

۷ تعیین سطح حفاظت کاتدی

۷-۱ اندازه گیری سطح حفاظت

برای مشخص کردن این که آیا یک سازه به میزان کافی حفاظت می‌شود معمول است که پتانسیل آن را در محلول اندازه می‌گیرند. بدین منظور اتصالاتی باید در سازه و در الکترولیت ایجاد شود. اتصال به سازه یک اتصال ساده فلزی می‌باشد اما برای اتصال به الکترولیت، یک هادی فلزی باید درون الکترولیت قرار گیرد. این هادی پتانسیل الکتروود مختص به خودش را دارد، که به ناچار شامل مقادیر اندازه گیری شده می‌شود. این

معضل می‌تواند با استفاده از یک هادی تجدید پذیر با پتانسیل الکتروود تعریف شده آن، حل شود. این (الکتروود) الکتروود مرجع نامیده می‌شود.

۷-۲ الکتروودهای مرجع

جزئیات الکتروودهای مرجع برای کاربردهای دریایی در پیوست الف آورده شده است. انواع استفاده شده برای کنترل سامانه های حفاظت کاتدی در آب دریا شامل الکتروودهای فلزی روی یا نقره/کلرید نقره (آب دریا/Ag/AgCl) می‌باشد زیرا آنها به اندازه کافی برای اغلب اهداف کاربردی، دقیق می‌باشند.

۷-۳ پتانسیل الکتروودهای مرجع

پتانسیل‌های الکتروودهای مرجع مختلف نسبت به الکتروود استاندارد هیدروژن در جدول الف-۱ در پیوست الف آورده شده است. الکتروود کالومل آورده شده است زیرا اغلب این الکتروود در آزمایشگاه برای بررسی دقت و شرایط الکتروودهای مرجع مورد استفاده در (شرایط) میدانی به کار می‌رود. این الکتروود برای استفاده در شرایط میدانی مقاومت کافی ندارد.

۷-۴ اندازه گیری پتانسیل

صرف نظر از نوع الکتروود مرجع به کار رفته این امر اساسی است که این الکتروود بسیار نزدیک به سطح فلز قرار بگیرد زیرا اندازه گیری اختلاف پتانسیل بین سطح فلز و الکتروولیت می‌تواند به طور قابل توجهی توسط افت پتانسیل ایجاد شده توسط جریان حفاظت و به علت جریان یافتن آن از میان الکتروولیت اطراف به سازه، تحت تاثیر قرار بگیرد. این اثر، به نام افت IR شناخته می‌شود، و سبب می‌شود که پتانسیل اندازه گیری شده منفی تر از پتانسیل واقعی فصل مشترک فلز/الکتروولیت باشد. این افت IR به مقاومت الکتروولیت و بویژه به شرایط سازه مدفون وابسته می‌باشد. همچنین مقاومت هر نوع پوشش نیز موثر خواهد بود.

۸ راهنمای حفاظت

۸-۱ کلیات

این بند مختصری درباره بعضی از مهمترین فلزاتی که ممکن است با حفاظت کاتدی در آب دریا حفاظت شوند، شرح می‌دهد و راهنمایی هایی درباره پتانسیل‌های توصیه شده برای حفاظت می‌دهد. اگرچه، با توجه به دامنه گسترده آلیاژها و کاربردها این مطلب مهم است که این مقادیر فقط به عنوان راهنمای کلی استفاده شوند و برای توصیه‌های مشخص تر استانداردهای ملی یا اروپایی متناسب با کاربردها باید بررسی شود. خلاصه‌ای از پتانسیل‌های توصیه شده برای حفاظت مواد مختلف در آب دریا در جدول ۲ آورده شده است.

۸-۲ فولاد

آزاد شدن یون‌ها از آند هنگامی متوقف می‌شود که سامانه در حال خورده شدن تا پتانسیل مدار باز آند پلاریزه شود.

پلاریزه کردن فولاد تا مقدار E_a (نشان داده شده در شکل ۳) عملی نمی‌باشد. اندازه گیری‌ها نشان داده است هنگامی که فولاد تا -0.80 ولت (بر حسب الکتروود مرجع $Ag/AgCl$ در آب دریا) پلاریزه شود، نرخ خوردگی تا مقادیر کم و قابل قبول پایین می‌آید. در نتیجه این پتانسیل، کمترین سطح منفی است که معمولاً برای حفاظت کاتدی فولاد ساده کربنی در آب دریا استفاده می‌شود.

در شرایط فولاد غوطه‌ور شده در محلول‌های حاوی باکتری‌های فعال احیاء کننده سولفات (اصولاً در شرایط بی‌هوازی) پتانسیل حفاظت برای فولاد ساده کربنی باید -0.90 ولت (بر حسب الکتروود مرجع $Ag/AgCl$ در آب دریا) به جای -0.80 ولت باشد.

با استفاده از پتانسیل‌های منفی تر ممکن است تاول زدن مقداری از پوشش‌ها، اثرات مضر روی خواص خستگی و خطر تردی هیدروژنی فولادهای مستعد (بند ۱۱ را ببینید) را داشته باشیم و با توجه به این اثرات محدود کردن پتانسیل، معمول می‌باشد.

برای فولاد ساده کربنی حد منفی -1.10 ولت (بر حسب الکتروود مرجع $Ag/AgCl$ در آب دریا) به طور کلی به عنوان حد منفی پذیرفته شده است به طوری که این مقدار پتانسیل ممکن است برای فولاد بدون پوشش نزدیک به آندهای فداشونده آلومینیوم گزارش شود.

در مورد فولادهای استحکام بالا^۱ (استحکام تسلیم بیشتر از 700 N/mm^2) به علت خطر تردی هیدروژنی بسیار مهم است که از پلاریزه کردن اضافی اجتناب کنیم (بند ۱۱ را ببینید). بنابراین معمول است که از پتانسیل‌هایی در محدوده -0.80 تا -0.95 ولت (بر حسب الکتروود مرجع $Ag/AgCl$ در آب دریا)، در بسیاری از کاربردها، استفاده شود.

در پی موارد ترک خوردگی ناشی از هیدروژن در فولادهای استحکام بالای استفاده شده در ساخت سکوها، حفاری دریایی با پایه‌های قابل حرکت، به‌ویژه در نواحی نزدیک جوشها، با استفاده از آزمایش‌هایی با نرخ کرنش کند، نشان داده شده است که مشروط بر این که پتانسیل‌های کاتدی منفی تر از -0.83 ولت (بر حسب الکتروود مرجع $Ag/AgCl$ در آب دریا) نباشد، خسارت هیدروژنی به فولاد اندک می‌باشد.

با توجه به این مورد، باید توجه شود که پتانسیل منفی تا مقدار -0.83 ولت (بر حسب الکتروود مرجع $Ag/AgCl$ در آب دریا) محدود بماند. در جایی که احتمال خوردگی میکروبی باشد باید از پوشش استفاده شود و در جاهایی که دسترسی محدود می‌باشد استفاده از بایوسایدها^۲ باید مورد توجه قرار گیرد.

شکل ۶ مقایسه‌ای بین الکتروودهای مرجع معمول استفاده شده برای محیط‌های دریایی همراه با خلاصه‌ای از اثرات پتانسیل روی فولاد در محیط آب دریا را نشان می‌دهد.

1 High Strength Steels

2 Biocides

Potential (V) Ag/AgCl/ Sea water		Potential (V) Zn/Sea water
-0,40	- خوردگی شدید	+0,65
-0,50	-	+0,55
-0,60	- خوردگی آزاد	+0,45
-0,65	-	
-0,70	- حفاظت نسبی آستانه حفاظت کامل	+0,35
-0,80	-	+0,25
-0,90	- برای شرایط (هوازی)	+0,15
-1,00	- مقداری پلاریزاسیون اضافی توصیه شده برای شرایط	+0,05
-1,10	- افزایش پلاریزاسیون اضافی	-0,05

میتواند بر چسبندگی بعضی رنگها اثر بگذارد

افزایش خطر تردی هیدروژنی فولادهای مستعد و اثرات مخرب بر رفتار خستگی

شکل شماره ۶- روندهای خوردگی، حفاظت کاتدی و پلاریزاسیون اضافی که به عنوان تابعی از پتانسیل الکتروود بیان شده است.

۳-۸ سایر مواد فلزی

۱-۳-۸ آلیاژهای آلومینیوم

آلیاژهای آلومینیوم به علت ترکیب سبکی همراه با استحکام و مقاومت به خوردگی سالهای زیادی است که در صنایع دریایی استفاده می‌شوند.

آلومینیوم فلزی بسیار واکنش پذیر با میل ترکیبی زیاد با اکسیژن می‌باشد. اگرچه، به علت طبیعت خنثی و محافظ فیلم اکسیدی تشکیل شده روی سطح فلز، این فلز به بسیاری از اتمسفرها و محدوده گسترده از مواد شیمیایی، مقاوم می‌باشد.

دو گروه مجزا از آلیاژهای کار شده آلومینیوم در کاربردهای دریایی استفاده می‌شود. یک گروه شامل آلیاژهای آلومینیوم منیزیم با استحکام متوسط و غیر عملیات حرارتی پذیر با مقدار منیزیم در محدوده ۳/۵ تا ۴/۹ درصد. آلیاژهای گروه دیگر آلیاژهای عملیات حرارتی پذیر آلومینیوم منیزیم سیلیسیوم با مقدار منیزیم بین ۰/۶ و ۱/۲ درصد و مقدار سیلیسیوم ۰/۴ تا ۱/۳ درصد.

آلیاژهای آلومینیوم ریخته شده زیاد استفاده نشده‌اند اما این آلیاژها باید قابلیت ریختگی خوب، مقاومت به خوردگی و ناتراوایی، داشته باشند. آلیاژهایی با مقدار سیلیسیوم در محدوده ۱۰-۱۲ درصد به علت قابلیت ریخته‌گی و مقاومت به خوردگی خوب ارجحیت دارند و آلیاژهایی که اغلب در حالت ریخته‌شده (خام، بدون عملیات حرارتی) استفاده می‌شوند، اما آلیاژهایی با مقدار منیزیم بین ۰/۱۵ و ۰/۴ درصد می‌توانند عملیات حرارتی شوند.

در تمام موارد مقدار مس معمولاً تا ۰/۱ درصد محدود می‌شود تا خوردگی حفره دار شدن حداقل گردد. اگرچه این آلیاژها به خاطر مقاومت به خوردگی شان انتخاب شده‌اند، می‌توان آنها را حفاظت کاتدی کرد. پتانسیل آلیاژهای آلومینیوم-منیزیم و آلومینیوم-منیزیم-سیلیسیوم در آب دریا به طور کلی در محدوده ۰/۷۰- تا ۰/۹۰- ولت (بر حسب الکتروود مرجع Ag/AgCl در آب دریا) می‌باشد و این آلیاژها با تغییر پتانسیل به اندازه ۰.۱ ولت در جهت منفی از مقدار پتانسیل خوردگی در آب دریا، بصورت کاتدی حفاظت شوند.

حد منفی معمولاً ۱/۱۰- ولت (بر حسب الکتروود مرجع Ag/AgCl در آب دریا) در نظر گرفته می‌شود زیرا از مقادیر پتانسیل‌های منفی بالا به‌ویژه در شرایط سکون باید اجتناب گردد چون (شرایط) قلیایی ایجاد شده ممکن است باعث حملات شدید به آلومینیوم به منظور ایجاد آلومینات^۱ شود. آندهای روی، و آلومینیوم-روی-آیندیم^۲ و آلومینیوم-روی-قلع می‌توانند برای حفاظت آلومینیوم استفاده شوند اما از استفاده از آندهای آلومینیوم حاوی جیوه، باید اجتناب گردد.

۸-۳-۲ فولاد زنگ نزن

فولاد زنگ نزن نامی عمومی است که به تمام گستره فولادهای آلیاژی داده شده است که خاصیت اصلی آنها مقاومت به خوردگی شان می‌باشد. مقاومت در برابر محیط‌های مختلف می‌تواند با تغییر ترکیب شیمیایی فولاد در محدوده ای وسیع، ایجاد شود. یک خصوصیت معمول تمام فولادهای زنگ نزن مقدار کرم بالای آنها، به میزان حداقل ۱۲ درصد، می‌باشد که یک لایه اکسیدی روی سطح ایجاد می‌کند تا فولاد را در بسیاری از محیط‌ها روئین کند.

گروه بندی فولاد زنگ نزن بر اساس ریز ساختار و انواع در دسترس شان شامل: آستنیتی، فریتی، مارتنزیتی و دوفازی^۳ (مخلوطی از آستنیت و فریت) می‌باشند، اما اساساً مواد آستنیتی و دوفازی برای کاربردهای دریایی استفاده می‌شوند.

در آب دریا فولادهای زنگ نزن مستعد به خوردگی حفره دار شدن و خوردگی شیاری می‌باشند و pH، دما و مقدار اکسیژن می‌تواند روی این رفتار تاثیر بگذارد. ثابت شده است که آغاز حفره دار شدن و مقاومت به خوردگی شیاری می‌تواند به طور وسیعی مربوط به کرم، مولیبدن، نیتروژن و گاهی اوقات مقدار تنگستن فولادهای زنگ نزن باشد.

1 Aluminate

2 Aluminium Zinc Indium Anodes

3 Duplex Stainless Steels

به طور کلی با استفاده از فولاد زنگ نزن با عدد معادل مقاومت به حفره دار شدن ($PREN^1$) حداقل ۴۰،
 $PREN = \%Cr + \frac{3}{3} \times \%Mo + 16 \times \%N$ ، خوردگی حفره دار شدن و شیار در آب دریا و در دمای
 $20^\circ C$ غیر محتمل می باشد. بنابراین اعمال حفاظت کاتدی روی بسیاری از فولادهای زنگ نزن مورد
استفاده در محیط دریایی مفید می باشد.

۸-۳-۲-۱ فولادهای زنگ نزن آستنیتی

بسیاری از فولادهای زنگ نزن آستنیتی با استفاده از پتانسیل ۰/۶۰- ولت (بر حسب الکتروود مرجع
Ag/AgCl در آب دریا) می توانند حفاظت شوند، اما برای فولادهای زنگ نزن مقاوم تر به خوردگی پتانسیلی
حدود ۰/۳۰- ولت (بر حسب الکتروود مرجع Ag/AgCl در آب دریا) برای بسیاری از کاربردها کافی می باشد.
اگرچه، با توجه به رنج گسترده فولادهای زنگ نزن آستنیتی در دسترس، پتانسیل هایی خارج محدوده داده
شده در جدول ۲ باید فقط زمانی استفاده شوند که آن پتانسیل ها توسط اسناد عملکردی کاربردی یا آزمایش
های آزمایشگاهی مناسب بررسی شده باشند.

۸-۳-۲-۲ فولادهای زنگ نزن دوفازی

به علت مقاومت به خوردگی عمومی خوب، فولادهای زنگ نزن دوفازی کاربرد وسیعی در مناطق ساحلی و
به ویژه در خطوط لوله پیدا کرده اند.

فولادهای زنگ نزن دوفازی اساساً مقاوم به خوردگی عمومی در آب دریا می باشند اما ممکن است مستعد به
خوردگی موضعی، به فرم حفره دار شدن، یا به احتمال زیاد، حملات شیار در دماهای بالا باشند. بنابراین،
معمولاً حفاظت کاتدی تا حدودی به کار می رود.

خوردگی شیار معمولاً در پتانسیل های کمتر منفی، نسبت به پتانسیل های مورد نیاز برای حفاظت کاتدی
فولاد ساده کربنی، آغاز شده و گسترش می یابد. در سامانه هایی که فولاد ساده کربنی و فولادهای زنگ نزن
دوفازی در ارتباط الکتریکی می باشند این دو ماده باید تا پتانسیل یکسانی پلاریزه شوند تا هر گونه کوپل
خوردگی گالوانیک که در غیر این صورت ممکن است وجود داشته باشد، کاهش یابد.

لازم است که به اثرات پتانسیل های منفی تر به هنگام طراحی سامانه های حفاظت کاتدی برای فولادهای
زنگ نزن دوفازی، توجه شود. فولادهای زنگ نزن دوفازی در شرایط معمول کوئینچ و آنیل شده ریز
ساختاری حاوی ۴۰-۵۰ درصد فریت و ۵۰-۶۰ درصد آستنیت دارند. اگرچه مواد آستنیتی سازگار با
محدوده پتانسیل های موجود در حفاظت کاتدی می باشند، مشخص شده است که مواد فریتی در اثر تردی
هیدروژنی در اینچنین پتانسیل هایی خسارت می بینند.

فولادهای زنگ نزن دوفازی چنانکه ساختار متالورژیکی آنها نامناسب باشد یعنی، ساختار حاوی فریت بسیار
زیادی باشد اگر بیش از حد پلاریزه شوند^۲ مستعد به ترک خوردن می باشند. جوش ها و نواحی متأثر از
حرارت آنها مکان های بسیار محتمل برای اینچنین ریز ساختارهای نامساعدی می باشند. اگرچه، در صورتی

1 Pitting Resistance Equipment Number

2 Over-Polarized

که تعادل فاز مناسب وجود داشته باشد یعنی، حداقل ۴۰ درصد آستنیت در ریز ساختار باشد و فلز اصلی در حالت کوئینچ و آنیل شده باشد، این (فولادها) مستعد به ترک خوردن در آب دریا در پتانسیل‌های حفاظت کاتدی و دانسیته جریان‌های توصیه شده، نخواهد بود. حد منفی ۱/۰۵- ولت (بر حسب الکتروود مرجع Ag/AgCl در آب دریا) توصیه می‌شود اگرچه حد مثبت‌تری ممکن است در جایی که ریز ساختار مواد یا فلز جوش در شرایط بهینه نباشند، استفاده شود. مواد جوشکاری شده می‌توانند به همان اندازه مقاوم به ترک خوردن باشند مشروط به این که مقدار و توزیع آستنیت در منطقه متأثر از دما به اندازه کافی باشد. حد مثبت برای حفاظت ممکن است به اندازه فولادهای زنگ نزن آستینیتی، در نظر گرفته شود (به قسمت ۸-۳-۲-۱ رجوع شود).

۸-۳-۲-۳ آلیاژهای مس

مس و آلیاژهای مس کاربردهای زیادی در اسباب و متعلقات سازه های دریایی پیدا کرده است، نه تنها به عنوان روکش های مقاوم به خوردگی بلکه در هیدرولیک و کاربردهای مشابه آن در جاهائیکه اجزاء کوچکی به سازه‌ها متصل می‌باشند. این مورد در واحدهای زیر آبی و مجموعه های سرچاهی بسیار معمول می‌باشد. مس و آلیاژهای مس که به طور صحیح انتخاب شده باشند، مقاومت به خوردگی عالی دارند و مقادیر کم یون‌های مس در فصل مشترک فلز/آب دریا، زیست و رشد موجودات دریایی را متوقف می‌کند. به طور کلی حفاظت کاتدی برای اجتناب از خوردگی مس و آلیاژهای آن مورد نیاز نمی‌باشد، اگرچه اجزاء متصل به فولاد حفاظت کاتدی شده، مورد حفاظت قرار می‌گیرند که این ممکن است باعث از دست دادن خاصیت ضد جرم‌گرفتگی (ضد خزه بستن)، بسیاری از سطوح پایه مسی شود. این امر می‌تواند در مکان‌هایی که رشد بسیار زیاد (موجودات) دریایی می‌تواند منجر به افزایش قابل توجه وزن و نیروی کششی شود، مهم باشد.

دانسیته جریان‌های مورد نیاز برای حفاظت آلیاژهای مس یا کوپل‌های آلیاژ آهن/مس ممکن است به طور قابل توجهی بالاتر از (دانسیته جریان) مورد نیاز برای حفاظت فولاد، به تنهایی، باشد به‌ویژه هنگامی که سطح مس عاری از اکسید باشد. اگرچه، در مکان‌هایی که نرخ خوردگی فقط با احیاء اکسیژن حل شده کنترل می‌شود، دانسیته جریان از جریان حدی احیاء اکسیژن، بیش تر نمی‌باشد.

۸-۳-۲-۴ آلیاژهای پایه نیکل

آلیاژهای نیکل - مس به دلیل مقاومت به خوردگی برای بسیاری از کاربردها در محیط دریایی استفاده شده‌اند شامل روکش‌های رایزرها^۱، بست‌ها^۲، محورپروانه^۳ و درواترباکس‌ها^۴. در اغلب موارد این اقلام متصل به سطوح بزرگ فولادی با پتانسیلی در محدوده ۰/۸- تا ۱/۱۰- ولت (بر حسب الکتروود مرجع

1 Risers
2 Fastener
3 Propeller shafts
4 Water Boxes

Ag/AgCl در آب دریا) می‌باشند اما پتانسیل‌هایی حدود ۰/۲- ولت (بر حسب الکتروود مرجع Ag/AgCl در آب دریا) ممکن است برای حفاظت کافی باشد.

شکست پیچ‌های ساخته شده از آلیاژهای استحکام بالای نیکل-مس و نیکل-کروم - آهن در زیر دریا گزارش شده است. روش شکست به هیدروژن تولید شده در کارکرد معمولی آندهای فدا شونده نسبت داده شده است و سامانه‌های حفاظت کاتدی توسط جریان اعمالی سبب تردی این مواد می‌شوند. در حال حاضر توصیه میزان ایمن حفاظت کاتدی برای این مواد امکان پذیر نمی‌باشد اما به نظر می‌رسد که تست‌های کشش با نرخ کرنش کند^۱ با استفاده از نمونه در معرض هیدروژن قرار گرفته می‌تواند برای آزمایش مواد حساس به تردی هیدروژنی به کار رود.

جدول ۲- خلاصه‌ای از پتانسیل نسبت به الکتروود مرجع نقره/کلرید نقره در آب دریا توصیه شده برای حفاظت کاتدی فلزات مختلف در آب دریا

ماده	حداقل پتانسیل منفی (ولت)	حداکثر پتانسیل منفی (ولت)
آهن و فولاد محیط هوایی محیط بی‌هوایی (عاری از اکسیژن)	-۰/۸۰ -۰/۹	-۱/۱۰ -۱/۱۰
فولادهای استحکام بالا	-۰/۸۰ (یادآوری ۱ را ببینید)	-۰/۹۵ (یادآوری ۱ را ببینید)
آلیاژهای آلومینیوم (Al Mg & Al Mg Si)	-۰/۸۰ (تغییر پتانسیل منفی به اندازه ۰/۱۰ ولت)	-۱/۱۰
فولادهای زنگ زن فولادهای آستنیتی - (PREN ≥ 40) - (PREN < 40) دوفازی	-۰/۳۰ -۰/۶۰ (یادآوری ۲ را ببینید) -۰/۶۰ (یادآوری ۲ را ببینید)	محدودیت ندارد محدودیت ندارد (یادآوری ۳ را ببینید)
آلیاژهای مس بدون آلومینیوم با آلومینیوم	-۰/۴۵ تا -۰/۶۰ -۰/۴۵ تا -۰/۶۰	بدون محدودیت -۱/۱۰
آلیاژهای پایه نیکل	-۰/۲۰	(یادآوری ۴ را ببینید)

یادآوری ۱ برای فولادهایی با استحکام بالا که مستعد به ترک خوردن در اثر هیدروژن می‌باشند حداکثر پتانسیل منفی باید مثبت‌تر از (کمتر منفی) ۰/۸۳- ولت (بر حسب الکتروود مرجع Ag/AgCl در آب دریا) باشد.

یادآوری ۲ برای اغلب کاربردها این پتانسیل‌ها برای محافظت شیارها کافی می‌باشند اگر چه پتانسیل‌های بالاتر ممکن است مورد توجه قرار گیرد.

یادآوری ۳ بسته به ساختار متالورژیکی این آلیاژها می‌توانند مستعد به ترک خوردن باشند و از پتانسیل‌های منفی بالا باید اجتناب گردد. (بند ۲-۲-۳-۸ را ببینید)

یادآوری ۴ آلیاژهای استحکام بالای نیکل-مس و نیکل-کروم آهن می‌توانند در معرض ترک خوردن به کمک هیدروژن قرار گیرند و از پتانسیل‌هایی که باعث آزاد شدن هیدروژن می‌شوند باید اجتناب گردد.

۹ ملاحظات طراحی

۹-۱ مقدمه

هدف این بخش این است که بعضی از عواملی که ممکن است بر طراحی یک سامانه حفاظت کاتدی اثر بگذارند به طور خلاصه شرح دهد. اطلاعات جزئی تر در استانداردهای ایرانی دیگر یا در صورت نبود در استانداردهای اروپائی موجود می باشد.

هنگام طراحی یک سامانه حفاظت کاتدی، مهم است که اطمینان حاصل کنیم تمام سازه به اندازه کافی حفاظت می شود و آن نواحی اساساً پلاریزاسیون اضافی نشوند تا از اثرات مخرب احتمالی ذکر شده در بند ۱۱ و ۱۲ اجتناب گردد.

با استفاده از آندهای فدا شونده، که منابع کم ولتاژ جریان می باشند، رسیدن به توزیع یکنواخت و قابل قبول جریان خیلی مشکل نمی باشد مشروط بر این که امکان توزیع یکنواخت آندها به طور متناسب با مساحت سطح در معرض محیط، وجود داشته باشد. اگرچه، اگر مساحت موضعی فولاد زیاد باشد و محدودیت هایی در قرار دادن آندها قرار داده شود مشکلاتی ممکن است پیش بیاید (به طور مثال در مسیر گره ها و غیره) و استفاده از پوشش می تواند مفید باشد.

آندهای جریان اعمالی ممکن است به عنوان منابع نقطه ای جریان بالا در نظر گرفته شوند. این مورد باید در طراحی در نظر گرفته شود تا در نواحی دورتر از آندها حفاظت مناسب به دست آید بدون این که مقادیر قابل توجه پلاریزاسیون اضافی در مجاورت آند داشته باشیم. به منظور رسیدن به توزیع مناسب حفاظت، ممکن است توجه و استفاده از عایق های دی الکتریک در نواحی آندها و یا نصب آند همراه با مقداری فاصله از سازه، مفید باشد.

اطلاعات مورد نیاز برای طراحی یک سامانه حفاظت کاتدی جامع تا حد زیادی به نوع، پیچیدگی و پارامترهای عملیاتی سازه بستگی دارد. به طور کلی اطلاعات مورد نیاز شامل موارد زیر می باشد.

الف) داده های فنی و عملی سازه

ب) جریان مورد نیاز

۹-۲ داده های فنی و عملیاتی

۹-۲-۱ عمر طراحی

برای بسیاری از سازه ها مانند سازه های دریایی^۱ ثابت و خطوط لوله، سامانه باید توانائی حفاظت از سازه را برای تمام عمر طراحی داشته باشد اما برای کشتی ها و دیگر سازه های شناور که توانایی این را دارند که در محل حوضچه خشک^۲ قرار گیرند و با آندهای فدا شونده حفاظت می شوند عمر طراحی سامانه باید منطبق با فواصل زمانی تعمیرات^۳ کشتی باشد.

1 Offshore

2 Dry Dock

3 Docking Interval

۹-۲-۲ مواد ساخت

نوع موادی که باید محافظت شود باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا فولادهای استحکام بالا، فولادهای زنگ نزن دوفازی و برخی آلیاژهای غیر آهنی هنگامی که در معرض پتاسیل‌های منفی اضافی (پلاریزاسیون اضافی) قرار می‌گیرند مستعد به کاهش خواص مکانیکی شان می‌باشند و توصیه‌های داده شده در بند ۷ با در نظر گرفتن حداکثر حد منفی باید ملاحظه شود.

این ممکن است بر انتخاب سامانه‌ها، مکان‌آنها و احتمال استفاده از پوشش‌ها یا عایق‌های دی الکتریک اثر بگذارد.

۹-۳ سطوحی که باید حفاظت شود

تمام سطوح خارجی غوطه‌ور شده (شامل آنهایی که زیر سطح متوسط آب سازه‌های ثابت دریایی هستند)، باید توسط حفاظت کاتدی، حفاظت شوند. این شامل سازه اصلی و متعلقات (اتصالات) آن می‌باشد.

معمول است هنگامیکه مساحت کاتد در نظر گرفته می‌شود به سطح ظاهری غوطه‌ور ارجاع داده شود و این از نقشه‌هایی با جزئیات کامل و ابعاد سازه، محاسبه می‌شود. اگر چه یک سطح خورده شده یا در معرض هوا قرار گرفته زیر خواهد بود و مساحت واقعی سطح ممکن است بیشتر باشد. میزان مجاز، برای عناصری از سازه که مدفون بوده و از لحاظ الکتریکی متصل به سازه می‌باشند، باید در نظر گرفته شود.

۹-۴ پوشش‌های محافظ

در حالی که پوشش‌های آلی به طور کامل غیر قابل نفوذ در برابر اکسیژن و آب نمی‌باشند، آنها هنگامی که به سطح یک فلز اعمال می‌شوند خوردگی را محدود می‌کنند. واکنش خوردگی روی سطح رنگ شده در زیر پوشش سالم اتفاق نمی‌افتد اما در روزنه‌ها و سوراخ‌های ریز رخ می‌دهد. اگر حفاظت کاتدی به سطح رنگ شده اعمال گردد، پوشش به عنوان مانع مقاوم مهمی در برابر جریان عمل می‌کند و جریان خوردگی به روزنه‌ها یا سوراخ‌های ریز جریان می‌یابد. در حفاظت کاتدی اثر پوشش این است که مساحت سازه فولادی در معرض (محیط) قرار گرفته را کاهش می‌دهد و بنابراین جریان کلی مورد نیاز برای حفاظت را کاهش می‌دهد و توزیع جریان را تسهیل می‌کند.

۹-۵ در دسترس بودن منبع الکتریکی

استفاده از حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان بستگی به در دسترس بودن منبع الکتریکی مداوم دارد.

۹-۶ محدودیت‌های وزن

در مورد سازه‌های ثابت دریایی، وزن شناوری ممکن است بسیار مهم باشد که می‌تواند بر روی نوع سامانه مورد استفاده اثر بگذارد. استفاده از سامانه ترکیبی ممکن است به طور قابل توجهی باعث کاهش وزن در مقایسه با سامانه کامل آند فداشونده شود (قسمت ۶-۳ رجوع شود).

۷-۹ سازه‌های مجاور

حضور سازه‌های دیگری در مجاورت (سازه مورد حفاظت) می‌تواند باعث خوردگی توسط جریان‌های سرگردان یا خروج جریان از سازه حفاظت شده شود. عایق کاری یا اتصال به یکدیگر با در نظر گرفتن میزان مجاز برای مواد اضافی که باید محافظت شود باید مورد توجه قرار گیرد.

۸-۹ ملاحظات نصب

برای نصب آند های فدا شونده ممکن است نیاز باشد که تعداد زیادی آند به سازه متصل شوند و به علت ملاحظات تنش ممکن است محدودیت هایی برای مکان هایی که این آندها ممکن است اتصال یابند، وجود داشته باشد.

در حالی که استفاده از آندهای کمتری در روش جریان اعمالی امکان پذیر است تعیین مسیر کابل های تغذیه کننده آندها و الکترودهای مرجع ممکن است مشکلاتی ایجاد کند. توصیه می‌شود که کابلها از طریق سازه عبور داده شوند و در هر جایی که امکان نفوذ آب وجود دارد جهت جلوگیری از ورود آب از آب بند مناسب استفاده گردد.

در جایی که کابل ها از میان مجرای سیم، متصل به سازه عبور می‌کنند این مجرا باید به طور مناسبی طراحی شود تا در برابر تمام شرایط محتمل رویاروی مقاومت کند. در تمام موارد از کابل های رها شده طولانی باید اجتناب گردد. کابل ها نباید از فضاهایی عبور کنند که احتمالاً حاوی گاز ناشی از نفت با نقطه اشتعال پایین باشد.

۹-۹ جریان مورد نیاز

همانطور که در بند ۸ بحث شد معیار حفاظت این است که پتانسیل فلز نسبت به الکترولیت مجاور آن باید در تمام وضعیت ها منفی تر از پتانسیل های حفاظت مناسب آن فلز باشد. جریان مورد نیاز برای رسیدن به این منظور مطابق با نوع سازه محافظت شده و شرایط غالب محیطی می‌تواند متفاوت باشد.

برای خطوط لوله با طول زیاد و آنهایی که به خوبی پوشش داده شده‌اند اثرات ژئومغناطیسی^۱ یا تلوریک باید مورد توجه قرار گیرد زیرا آنها می‌توانند باعث تغییرات پتانسیل شوند. پتانسیل های ایجاد شده در خطوط لوله پوشش دار ممکن است با نصب اتصالات عایق در خط کاهش یابد و ممکن است در جایی که آندهای فداشونده حفاظت کاتدی را فراهم می‌آورند کمتر مشخص باشد.

توصیه‌هایی برای دانسیته جریان های مورد استفاده برای هر کاربرد عملی در استانداردهای مربوط به آن آورده شده است.

فاکتورهای مختلف محیطی که بر جریان مورد نیاز اثر می‌گذارد در بند ۱۰ بحث شده است.

1 Geomagnetic

۱۰ اثر عوامل محیطی روی جریان مورد نیاز

۱۰-۱ مقدمه

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محیط و نرخ تغییرات روزانه یا فصلی آنها در ارزیابی دانسیته جریان مورد نیاز، لازم است که مورد توجه قرار گیرد. فاکتورهای اصلی موثر بر دانسیته جریان لازم در آب دریا، سرعت حرکت آب، میزان شوری، pH، دما و عمق آب و اثرات آن روی مقدار اکسیژن حل شده، رسوبات آهکی و خزه های دریایی^۱ می باشد. این بند اثرات محتمل این فاکتورها روی دانسیته جریان لازم را شرح می دهد.

۱۰-۲ اکسیژن حل شده

یکی از مهم ترین فاکتورهایی که باید در طراحی سامانه حفاظت کاتدی در نظر گرفته شود اکسیژن حل شده در آب دریا می باشد. مشخص شده است که رابطه مستقیمی بین مقدار اکسیژن حل شده و نرخ خوردگی در آب دریا وجود دارد و دانسیته جریان کاتدی مورد نیاز برای محافظت از خوردگی متناسب با نرخ است که اکسیژن حل شده به سطح فولاد نفوذ می کند. مقدار اکسیژن حل شده در آب دریا به طور قابل توجهی با عمق آب و مکان جغرافیایی تغییر می کند و نظر به این که انحلال پذیری تابعی از دما و میزان نمک می باشد ممکن است با تغییر فصل تغییر کند.

۱۰-۳ جریان های دریایی

در حالی که نرخ انتقال اکسیژن حل شده به سطح فولاد توسط نفوذ کنترل می شود، افزایش جریان های دریایی باعث افزایش دانسیته جریان های لازم برای حفاظت کاتدی فولاد بدون پوشش می شود، به ویژه در حین پلاریزاسیون اولیه و قبل از اینکه رسوبات آهکی و خزه های دریایی زمان لازم برای ایجاد شدن داشته باشند. رسوبات به کمک جریان دریا می تواند سطح سازه را صیقل داده و دانسیته جریان حفاظتی را افزایش دهند.

۱۰-۴ رسوبات آهکی

رسوبات آهکی کامل تشکیل شده، نرخ نفوذ اکسیژن حل شده در آب دریا به سطح فولاد را کاهش می دهند و بنابراین دانسیته جریان لازم برای حفظ پلاریزاسیون کاتدی را کاهش می دهند. رسوبات آهکی مواد معدنی رسوب کرده روی کاتد می باشند که در اثر افزایش قلیائیت ناشی از پلاریزاسیون کاتدی ایجاد شده اند.

اجزاء اصلی رسوبات آهکی CaCO_3 پلی مورف (چند شکلی)، آراگونیت^۱ و کلسیت^۲، و ترکیبات منیزیم Mg(OH)_2 ^۳ می باشد اما ترکیب شیمیایی واقعی بستگی به فاکتورهایی مانند pH، دما، دانسیته جریان، نرخ جریان آب و عمق آب دریا می باشد.

آب دریا گاز دی اکسید کربن (CO_2) را از اتمسفر و همچنین از موجودات زنده دریایی نزدیک به سطح اقیانوس می گیرد که باعث ایجاد شرایط فوق اشباع برای CaCO_3 می شود. واکنش های تعادلی دی اکسید کربن/کربنات و آب می تواند به صورت زیر بیان شود:



با اضافه شدن یون OH^- به سیستم از طریق فرآیندهای کاتدی سپس واکنش های ذیل



ممکن است همراه با رسوب کردن در نواحی کاتدی اتفاق بیافتد. در محدوده دانسیته جریانی پوسته هایی تشکیل می شوند که اغلب کربنات کلسیم می باشند و با افزایش دانسیته جریان این پوسته ها نازک تر و فشرده تر می شود و حفاظت بهبود می یابد. به طور کلی پذیرفته شده است که یک دانسیته جریان آغازین بالا باید روی فولاد پلاریزه نشده بلافاصله پس از غوطه وری اعمال گردد تا پلاریزاسیون کاتدی سریع ترغیب شده و یک رسوب آهکی بسیار محافظ تشکیل گردد. اگرچه در دانسیته جریان های بسیار بالا این رسوب ممکن است مقادیر قابل توجهی منیزیم داشته باشد، که اساساً به صورت Mg(OH)_2 حضور دارد و احتمالاً با مقداری MgCO_3 همراه می باشد. Mg(OH)_2 در آب دریا ناپایدار است و به طور معمول زیر pH حدود ۹/۷ رسوب نمی کند. به طور کلی، رسوبات غنی از کربنات کلسیم محافظ تر از آنهایی هستند که غنی از منیزیم می باشند.

۱۰-۵ دما

دما اثر قابل توجهی روی مقاومت ویژه آب دریا، اکسیژن حل شده و تشکیل رسوب آهکی دارد. دما همراه با میزان شوری آب دریا اثر مهمی روی مقاومت ویژه آب دریا دارند و این مستقیماً با مقاومت موثر آندهای فدا شونده ارتباط دارد، و این باید در طراحی سامانه های حفاظت کاتدی در نظر گرفته شود.

1 Aragonite
2 Calcite
3 Brucite

اثر دما روی دانسیته جریان حدی پیچیده می باشد بدین صورت که زمانی که دما افزایش می یابد قابلیت انحلال اکسیژن کاهش می یابد اما ثابت نفوذ اکسیژن افزایش می یابد. اثر خالص آن ممکن است افزایش اندک دانسیته جریان لازم با افزایش دما باشد. این وضعیت با افزایش قابلیت انحلال CaCO_3 با کاهش دما پیچیده تر می شود. این امر طبیعت محافظ رسوبات را کاهش می دهد و به طور بالقوه ای دانسیته جریان لازم برای محافظت را افزایش می دهد.

۱۰-۶ میزان نمک

اثر اصلی میزان نمک روی حفاظت کاتدی تاثیر آن روی مقاومت ویژه آب دریا می باشد و به طور کلی، در یک دمای مشخص، با افزایش میزان شوری مقاومت ویژه و مقدار اکسیژن حل شده کاهش می یابد. بنابراین افزایش میزان نمک از این لحاظ که میزان اکسیژن حل شده و مقاومت آند را کاهش می دهد، مفید می باشد.

در جایی که سامانه های جریان اعمالی استفاده می شوند، هر گونه رقیق شدن توسط آب شیرین ممکن است باعث نوسانات گسترده در توان مورد نیاز شود و این ممکن است منجر به خسارت دیدن یک سو سازها (رکتیفایرها) شود مگر این که آنها به صورت مناسبی محافظت شوند.

۱۰-۷ pH

pH آب دریا آزاد از ۷/۴ تا ۸/۴ تغییر می کند و به مقدار زیادی با یک سیستم کربنات پیچیده بافر می شود. اگرچه، کاهش کم pH ممکن است در نزدیک بستر دریا از طریق تجزیه مواد آلی رخ دهد. این تجزیه اکسیژن را مصرف می کند و بنابراین نرخ خوردگی باید کاهش یابد اما کاهش pH باعث توقف تشکیل رسوبات آهکی می شود. به عبارت دیگر، قلیائیت ایجاد شده در اثر واکنش های کاتدی به ایجاد رسوبات آهکی کمک می کند و دانسیته جریان مورد نیاز برای حفاظت را کاهش می دهد.

۱۰-۸ خزه دریایی^۱

خزه دریایی روی سازه های دریایی به مقادیر مختلفی ایجاد می شوند بسته به ماده، مکان جغرافیایی، عمق و فصل.

خزه باعث افزایش وزن و بارگذاری موجی سازه می شود، هزینه نگهداری را افزایش می دهد و ممکن است پوشش را تخریب کند. خزه دریایی سطح موثر استیل در معرض آب دریا را کاهش می دهد، از نفوذ اکسیژن به سطح جلوگیری می کند و بنابراین دانسیته جریان مورد نیاز برای حفاظت را کاهش می دهد. اگرچه، از طرف دیگر موجودات زنده خزه ممکن است در داخل رسوبات آهکی گیر کرده و باعث ایجاد حفره درون رسوب در اثر مرگ موجود زنده شوند. این محیط کوچک ایجاد شده توسط مرگ موجود زنده خزه ممکن است شرایطی با نرخ بالای خوردگی ایجاد کند.

1 Marine Fouling

خزه دریایی گرفتن فلز قیمتی آندهای جریان اعمالی در حین کار غیر محتمل و بعید می‌باشد و اگر چه، خزه گرفتن آندهای فدا شونده ممکن است رخ دهد، این امر محتمل است که فقط پوسته سخت قسمت هایی از آند را بپوشاند و کارایی آنها را کاهش دهد.

۱۰-۹ اثر عمق

تغییر عمق احتمالاً با تغییر در دما، قابلیت انحلال اکسیژن و نرخ جریان دی اکسید کربن و پارامترهای محیطی دیگر همراه می‌باشد. این پارامترها و به‌ویژه اثر آنها روی تشکیل رسوبات آهکی باید مورد توجه قرار گیرند.

اثر عمق به تنهایی روی دانسیته جریان حفاظت کاتدی لازم واضح و مشخص نمی‌باشد اما به نظر نمی‌رسد که عمق اثر مهمی داشته باشد.

به نظر می‌رسد که عمق اثرات اندکی بر روی عملکرد آندهای آلومینیوم و روی دارد. مشخص شده است که در اعماق، فشار هیدرواستاتیک بر تردی هیدروژنی فولادهای استحکام بالای حفاظت کاتدی شده اثر می‌گذارد. در آزمایش‌ها نیروی لازم برای شکست نمونه‌های شیار دار از فولاد استحکام بالا با افزایش فشار هیدرواستاتیک کاهش می‌یابد اگرچه نرخ نفوذ هیدروژن تحت تاثیر افزایش فشار قرار نمی‌گیرد.

۱۰-۱۰ تغییرات فصلی و توفان‌ها

تغییرات دمای آب نزدیک به سطح و توفان‌ها که اغلب همراه با تغییرات فصل می‌باشند احتمال دارد باعث شکستن رسوبات آهکی شده و این ممکن است منجر به افزایش دانسیته جریان لازم در سازه‌های نزدیک به سطح شود.

۱۱ اثرات ثانویه حفاظت کاتدی

اعمال حفاظت کاتدی ممکن است موجب اثرات ثانویه ای مانند افزایش قلیائیت و تولید گاز هیدروژن و احتمالاً کلر شود.

اثراتی که ممکن است رخ دهند شامل موارد زیر می‌باشند:

۱۱-۱ قلیائیت

قلیائیت ممکن است پوشش‌های پایه روغنی آلکیدی و رزین‌های التو^۱ را توسط عمل صابونی شدن^۲ تخریب کند (بند ۱۲ رجوع شود). قلیائیت به تشکیل رسوبات آهکی کمک می‌کند که ممکن است مفید باشند زیرا دانسیته جریان لازم برای نگهداری حفاظت کاتدی را کاهش می‌دهد. اگرچه، اینچنین رسوباتی ممکن است

1 Oleo-Resinous

2 saponification

سبب زبر شدن پروانه موتور ها یا کشتی ها شده که میتواند باعث اثرات حفره دار شدن^۱ در جاهای دیگری در سامانه شود.

اگر فلز حفاظت شده آسفوتر باشد ممکن است توسط قلیاها مورد حمله قرار گیرد. آلومینیوم حساس به این اثر می باشد و بنابراین حفاظت کاتدی باید فقط وقتی به آن اعمال گردد که پتانسیل در محدوده مشخص باقی بماند (به بند ۸ رجوع شود). رنگ هایی با رنگ دانه های آلومینیوم همچنین ممکن است توسط قلیا در شرایط سکون تخریب گردند.

در شرایط استثنائی سرب نیز همچنین می تواند مورد حمله قرار گیرد اما غلظت قلیا در الکترولیت باید بالا باشد.

۱۱-۲ ترک خوردگی ناشی از محیط

دو مورد از الزامات اساسی طراحی سازه ها، تاسیسات زیر دریا و خطوط لوله این است که آنها باید استحکام ایستایی کافی و تحمل خستگی را داشته باشند.

در شرایط سکوی دریایی ثابت، استحکام ایستایی باید بیشتر از مقدار لازم برای تحمل وزن معمول سازه باشد و در برابر بار تحمیل شده توسط امواج بسیار بلند (به طور مثال 100 year) مقاومت کند، در حالی که استحکام ایستایی خطوط فشار بالای نفت و گاز باید به اندازه کافی باشد تا در برابر تنش های بالای تحمیل شده به خط مقاومت کند. هم استحکام ایستایی و هم تحمل خستگی تاسیسات دریایی می تواند با ترک خوردن به کمک محیط تخریب گردد و بنابراین لازم است به اثر حفاظت کاتدی بر این پدیده توجه کنیم. ترک خوردن در اثر محیط شامل خستگی خوردگی و تردی هیدروژنی می شود و استفاده از میزان مختلف حفاظت کاتدی می تواند به طور قابل توجهی روی مستعد بودن و مقاومت مواد به این پدیده تاثیر بگذارد.

۱۱-۲-۱ خوردگی خستگی

خستگی فرآیندی با تاخیر در شروع ترک و گسترش نسبتاً کند آن می باشد که ممکن است در سازه های فلزی که در معرض بارهای سیکلی قرار گرفته اند رخ دهد. در حضور یک محیط خورنده ترک خوردن در زمان کوتاه تری در نتیجه نوسان تنش یا محیط خورنده به تنهایی، رخ می دهد. وجود ترک های خستگی یا خوردگی خستگی می تواند به مقدار زیادی استحکام ایستایی و توانایی تحمل بار سازه های فولادی را کاهش دهد.

به طور کلی، ترک های خستگی تمایل دارند از ترک های ریز، عیوب یا نواحی تمرکز تنش آغاز گردند و در سازه های جکت^۲ فولادی دریایی آنها همواره از پاشنه جوش ها^۳ جایی که بیشترین میزان تنش پسماند را دارد، آغاز می گردند.

1 Cavitation Effects
2 Jacket
3 Toes Of Welds

عمر خوردگی خستگی فولادهای کربن منگنز دار با استحکام تسلیم کمتر از 400 N/mm^2 در آب دریا حدوداً نصف عمر خستگی در هوا می‌باشد همانطور که از منحنی‌های به دست آمده از ترسیم تنش S بر حسب تعداد سیکل‌ها تا شکست N، مشخص شده است. اعمال میزان کنترل شده حفاظت کاتدی عمر خوردگی خستگی را تا حدود مقدار (به دست آمده در) هوا در نمونه‌های کوچک صفحه‌ای، باز می‌گرداند. آزمایش روی اتصالات لوله‌ای بزرگ جوشکاری شده نشان می‌دهد که حفاظت کاتدی عمر خوردگی خستگی را به مقدار آن در هوا، به طور کامل باز نمی‌گرداند. این بدین علت است که عمر نمونه‌های صفحه‌ای توسط آغاز ترک و رشد ترک‌های کوتاه کنترل می‌شود در حالی که عمر نمونه‌های لوله‌ای توسط رشد ترک‌های بسیار بزرگتر کنترل می‌شود.

۱۱-۲-۲ تردی هیدروژنی

به طور کلی مشخص شده است که در نتیجه اعمال حفاظت کاتدی در پتانسیل‌های بسیار منفی تر هیدروژن اتمی تولید شده به علت اندازه کوچکش می‌تواند به درون شبکه فلزی نفوذ کند در حالی که هیدروژن مولکولی با اندازه‌ای بزرگتر نمی‌تواند.

اثرات ترد کننده هیدروژن در فولاد مربوط به این است که حضور هیدروژن در فریت یا مارتنزیت با خواص پلاستیسیته تداخل ایجاد می‌کند. تحت این شرایط، هنگامیکه فولاد با نرخ و دمای مناسبی تحت کرنش قرار می‌گیرد نمی‌تواند به طور پلاستیک جریان یابد تا به طور موضعی یک شکاف یا محل تمرکز تنش را اصلاح کند. در نتیجه، یک ترک ایجاد شده و شکست ترد متعاقباً می‌تواند رخ دهد. برای این که این امر رخ دهد، هیدروژن باید زمان داشته باشد تا به نواحی حرکت نابجائی‌ها نفوذ کند تا از جریان پلاستیک جلوگیری نماید. بنابراین تردی هیدروژنی اغلب محتمل است که در نرخ‌های کرنش کند رخ دهد. در دماهای پایین، نرخ نفوذ هیدروژن ممکن است برای واکنش با جابجائی نابجائی‌ها بسیار کند باشد در حالی که در دماهای بالا هیدروژن در ایجاد تردی بی‌تاثیر می‌باشد.

۱۱-۳ کلر

برای حفاظت کاتدی توسط جریان اعمالی در یک محیط دریایی واکنش‌های آند ممکن است باعث تشکیل الکترولیتی کلر شود. آب دریا معمولاً کمی قلیایی می‌باشد و کلر تشکیل هیپوکلریت سدیم^۱ و اسید هیپوکلروس^۲ می‌دهد. تحت شرایط راکد، کلر ممکن است به صورت گاز خارج شود و این می‌تواند برای بازرسی و حفاظت از کارکنان خطرناک باشد.

هیپوکلریت سدیم می‌تواند نرخ خوردگی بسیاری از آلیاژها را افزایش دهد و این باید در نظر گرفته شود به‌ویژه در جائی که یک سامانه حفاظت کاتدی توسط جریان اعمالی برای شرایط راکد پیشنهاد شده است و در جائی که ممکن است از هیپوکلریت سدیم غنی شود.

1 Sodium Hypochlorite

2 Hypochlorous Acid

۱۱-۴ جریان های سرگردان و اثرات تداخلی

در جایی که یک سازه حفاظت شده، یا آندها یا بستر های آندی، نزدیک دیگر سازه های فلزی مدفون شده یا غوطه ور شده که به طور کامل از زمین عایق نشده اند قرار می گیرد، سازه فلزی ممکن است قسمتی از جریان محافظ را به علت اختلاف پتانسیل موجود در آب یا گل بگیرد و آن را در نقاط دیگری که خوردگی رخ می دهد به زمین باز گرداند.

روش مقابله با این اثر بستگی به شرایط دارد اما ممکن است شامل استفاده از اتصالات تخلیه جریان بوده، توسط عایق کردن فلنجه ها یا اتصالات یا بوسیله عایق کردن سازه ها توسط پوشش مناسب صورت گیرد.

۱۲ استفاده حفاظت کاتدی همراه با پوشش های سطحی

۱-۱۲ مقدمه

در حالی که پوشش های آلی به طور کامل غیر قابل نفوذ در برابر اکسیژن و آب نمی باشند، آنها هنگامی که به سطح یک فلز اعمال می شوند خوردگی را محدود می کنند. واکنش خوردگی روی سطح رنگ شده در زیر پوشش سالم رخ نمی دهد اما در روزنه ها و سوراخ های ریز رخ می دهد. اگر حفاظت کاتدی به سطح رنگ شده اعمال گردد، پوشش به عنوان مانع مقاوم مهمی در برابر جریان عمل می کند و جریان به روزنه ها یا سوراخ های ریز جریان می یابد. در حفاظت کاتدی اثر پوشش این است که توزیع جریان بهبود یافته و جریان مورد نیاز و اثرات تداخل کاهش می یابد.

در غیاب حفاظت کاتدی در جایی که آسیبی به پوشش وارد آید فلز در معرض آب دریا قرار می گیرد که در مورد فولاد در معرض خوردگی قرار می گیرد. با اعمال حفاظت کاتدی، فولاد در معرض محیط قرار گرفته در جهت منفی پلاریزه می شود که نرخ واکنش کاتدی را افزایش می دهد اما مهم تر از آن، نرخ واکنش آندی را کاهش می دهد. اگرچه، مواد قلیایی در سطح حفاظت کاتدی شده به وجود می آیند و این ممکن است باعث جدایش کاتدی پوشش در مسیر هر عیب پوشش شود اما مکانیزم واقعی جدایش پیوند در اثر قلیا مشخص نیست.

پوشش های متداول نوع ال او رزینی یا آلکیدی توسط مواد قلیایی مورد حمله قرار می گیرند، یعنی آنها در معرض عمل صابونی شدن قرار می گیرند و برای استفاده همراه با حفاظت کاتدی توصیه نمی شوند. پوشش های حاوی آلومینیوم رفتار متفاوتی پیدا کرده و ممکن است که در شرایط راکد توسط قلیای تولید شده در کاتد مورد حمله قرار گیرند. همچنین استفاده از پرایمرهای پلی وینیل بوتیرال هنگامیکه با حفاظت کاتدی ترکیب شوند باعث کاهش چسبندگی می شود.

پوشش همچنین ممکن است از طریق الکترو اسمز رطوبت جذب کند و مایع از طریق حفره های پوشش بدلیل اختلاف پتانسیل پوشش، عبور کند. آب درون تاول ها به علت واکنش کاتدی قلیایی می شود و بنابراین خوردگی کاهش می یابد.

در عمل رسیدن به پتانسیل برابر در تمام سطحی که باید محافظت شود امکان پذیر نمی باشد و در بعضی نواحی پتانسیل می تواند به اندازه کافی منفی باشد که گاز هیدروژن آزاد شود. این می تواند روی چسبندگی پوشش از طریق عمل مکانیکی تاثیر بگذارد.

به طور مشابه، گاز کلر ممکن است در نزدیکی آندهای سامانه های حفاظت کاتدی توسط جریان اعمالی ایجاد شود و در شرایط راکد این کلر ممکن است به رنگ مجاور آندها حمله کرده و آنرا از بین ببرد. هنگامی که میزان حفاظت از خوردگی قابل کنترل نمی باشد دسترسی به تمامی اجزاء سطح قبل از اینکه آنها را مدفون کرده یا غوطه ور سازیم برای اعمال پوشش ضروری می باشد.

به عبارت دیگر حفاظت کاتدی در فواصلی روی نواحی عاری از پوشش عمل می کند و حفاظت پس از نصب می تواند کنترل شود.

پوشش دهی و حفاظت کاتدی باید به عنوان روش هایی از ممانعت از خوردگی مورد توجه قرار گیرند که مکمل یکدیگرند و به یکدیگر وابسته می باشند تا اینکه بخواهند با یکدیگر رقابت کنند.

۱۲-۲ انتخاب پوشش

مناسب ترین نوع پوشش بستگی به نوع سازه و محیط آن دارد. در انتخاب یک پوشش، توصیه می شود که به اهداف همه جانبه از لحاظ اقتصادی شامل هزینه سازه محافظت شده و هزینه های اولیه و اجرائی برنامه حفاظت دست یابیم. بهتر است به عمر طراحی سازه و هزینه های اقتصادی تعمیرات پوشش نیز توجه شود. اطلاعات بیشتر در استانداردهای ایرانی مربوطه و در صورت نبود در سایر استانداردهای معتبر موجود می باشد.

۱۲-۳ تخریب پوشش

پوشش ها به مرور زمان خراب می شوند و این احتمالاً از طریق خسارت مکانیکی در فرآیند نصب، عملیات تمیز کاری به منظور حذف موجودات دریایی رشد کرده و اثرات سایشی امواج و جریان می باشد.

به منظور به حساب آوردن این عوامل در مرحله طراحی، معمول است که ضریب های شکست پوشش را تعریف می کنیم. این ضرائب تقریباً وابسته به شرایط واقعی نصب و اجرا می باشد و لزوماً معیاری از مقدار شکست قابل دید نمی باشند اما بهتر است در ارتباط با جریان مورد نیاز در نظر گرفته شود.

فاکتور شکست پوشش (F)، کاهش قابل انتظار دانسیته جریان کاتدی به علت اعمال یک پوشش عایق الکتریکی را شرح می دهد. هنگامی که $F=0$ باشد پوشش به طور کامل عایق در نظر گرفته می شود اما هنگامی که $F=1$ باشد پوشش خواص حفاظتی ندارد و دانسیته جریان مشابه آنچه برای سطح فولاد بدون پوشش بود، در نظر گرفته می شود.

توصیه هایی در مورد فاکتورهای مورد استفاده برای یک چیدمان بخصوص در استانداردهای ایرانی مرتبط و در صورت نبود در سایر استانداردهای معتبر موجود می باشد.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
الکترودهای مرجع

الف - ۱) الکترودهای مرجعی که در ادامه توضیح داده می شوند به طور معمول برای اندازه گیری پتانسیل های ساختار/الکترولیت یا به عنوان الکترودهای حسگر برای کنترل سیستم مورد استفاده قرار می گیرند. هنگامی که الکترودهای خصوصیات زیر را داشته باشد اندازه گیری با دقت کافی، می تواند بدست آید:

۱) اجازه دهد جریان کافی کشیده شود تا میلی ولت متر بدون تغییر قابل توجه در پتانسیل آن عمل کند،

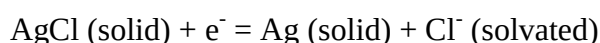
۲) توسط محیط آلوده یا تخریب نشود.

الکترودهای مرجع مورد استفاده برای پایش سیستم های حفاظت کاتدی دریایی الکترودهای نقره/کلرید نقره/آب دریا و الکترودهای روی/آب دریا می باشند. در حالی که الکترودهای مرجع مس/سولفات مس اغلب برای تماس با خاک و آب شیرین مناسب می باشد این الکترودها برای استفاده در آب دریا توصیه نمی شود.

الکترودهای مرجع روی/آب دریا ارزان تر و بسیار مقاوم تر از الکترودهای نقره/کلرید نقره/آب دریا می باشند و می توانند، به جز در مواردی که پایداری^۱ بسیار زیادی مورد نیاز باشد، مورد استفاده قرار گیرند. آزمایش الکترودهای روی در آب دریای تمیز نشان داده است که تغییرات بین الکترودها ± 30 میلی ولت است و برای الکترودهای نقره/کلرید نقره/آب دریا این تغییرات ± 5 میلی ولت می باشد.

الف - ۲) الکترودهای نقره/کلرید نقره/آب دریا

این الکترودها از نقره فلزی پوشش شده با کلرید نقره و مقدار کمی نمک محلول تشکیل یافته است. هنگامی که الکترودها در آب دریا قرار گیرد پتانسیل پایداری به دست می آورد که مقدار آن وابسته به مقدار کلرید موجود در آب دریا، می باشد. واکنش الکتروشیمیایی برای الکترودهای نقره/کلرید نقره به صورت ذیل می باشد:



و این واکنش نسبت به یون های کلراید برگشت پذیر نامیده می شود. غلظت یون های کلراید در محلول (یعنی آب دریا) بر پتانسیل الکترودها اثر می گذارد.

به منظور طول عمر زیاد برای بهره برداری در محیط دریایی، ضروری است از الکترودها مقاوم با یک لایه ضخیم کلرید نقره استفاده شود. این الکترودها می تواند با فرو بردن الکترودها با پوشش نازک در کلرید نقره مذاب تولید شود. پایداری غلظت کلراید در آب دریا پتانسیل الکترودها ثابت و پایدار را تضمین می کند.

1 stability

الکترودهای مورد استفاده در بهره برداری دریایی همچنین باید در برابر سایش و جرم گرفتگی یا آلودگی های دیگر بوسیله محفظه ای با ساختار مناسب محافظت شوند، تا امکان تماس با الکترولیت آب دریا از طریق محفظه روزنه دار باقی بماند. این (محفظه ها) باید قبل از استفاده به مدت چند ساعت در آب دریای تازه قرار گیرند. انتهای کابل باید عایق شود تا از اتصال کوتاه شدن الکتروده جلوگیری گردد.

تغییر مقدار نمک آب بر پتانسیل چنین الکترودی تاثیر خواهد گذاشت. رقیق شدن آب دریا در خلیج ها باعث مثبت تر شدن الکتروده می شود. در بسیاری از نواحی این تغییر بیشتر از ۶۰ میلی ولت به ازای ۱۰ برابر تغییر در غلظت نمی باشد بنابراین در بسیاری از نواحی این اثر با پذیرش پتانسیل های کمی منفی تر قابل پذیرش است. اگرچه این اثر در اندازه گیری هایی با مقدار نمک متفاوت غیر قابل پذیرش می باشد، و الکتروده باید در محلول با غلظت مشخص کلرید پتاسیم در یک محفظه غیر روزن دار غوطه ور شود، این الکتروده از محیط بوسیله یک درپوش متخلخل جدا گردد. هنگامی که الکتروده مورد استفاده نمی باشد، این نوع الکتروده باید در محلول کلرید پتاسیم نگه داری شود.

الف-۳) الکتروده روی / آب دریا

این الکتروده از فلز روی در تماس با آب دریا تشکیل یافته است. با وجود اینکه اجزای یونی بسیاری در آب دریا وجود دارد و وجود واکنش های الکترودی دیگر، الکتروده روی / آب دریا پتانسیل ثابت ± 30 میلی ولت را بدون در نظر گرفتن تغییرات آب دریا حفظ می کند. این مهم است که روی باید به اندازه کافی خالص باشد و مقدار آهن آن از 0.014% درصد بیشتر نباشد. هم روی با خلوص بالا و هم روی با مشخصات آند به طور موفقیت آمیزی به عنوان الکتروده مرجع مورد استفاده قرار گرفته اند.

آلودگی سطح الکتروده بر پتانسیل آن در بازه زمانی طولانی می تواند تاثیر بگذارد. این مشکل آلودگی می تواند با اطمینان یافتن از اینکه سطح روی با آهنگ کنترل شده ای خورده می شود، برطرف گردد. این الکتروده باید از تکیه گاه هایش ایزوله و عایق گردد زیرا ارتباط الکتریکی مستقیم بین روی و ساختار حفاظت شده منجر به پلاریزاسیون الکتروده می گردد. ریسک پلاریزاسیون می تواند با اطمینان یافتن از اینکه مساحت سطح روی در معرض آب دریا به اندازه کافی بزرگ می باشد، کاهش یابد.

الف-۴) الکترودهایی جهت واسنجی

الکتروده استاندارد هیدروژن مبنایی برای الکترودهای مرجع می باشد و الکترودی است که کمترین حساسیت را به تغییر ترکیب الکترولیت دارد. الکترولیت اسیدی تحت پوشش گاز هیدروژن در فشار یک اتمسفر می باشد و الکترولیت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد نگه داشته می شود. اگرچه، این الکتروده که از یک فویل پلاتین پلاتینیز شده در الکترولیت اسید با pH یک تشکیل شده است، برای استفاده در سایت مناسب نمی باشد.

یک الکتروده مرجع مقاوم تر الکتروده اشباع کالومل می باشد که از جیوه، کلرید جیوه و محلول اشباع کلرید پتاسیم تشکیل یافته است. الکتروده کالومل اغلب در آزمایشگاه برای بررسی شرایط الکترودهای مرجع استفاده شده در سایت مورد استفاده قرار می گیرد اما برای استفاده در سایت مقاومت کافی ندارد. پتانسیل های الکترودهای مرجع مختلف نسبت به الکتروده استاندارد هیدروژن در جدول الف-۱ آورده شده است.

جدول الف-۱ پتانسیل های الکترودهای مرجع مختلف نسبت به الکتروده استاندارد هیدروژن
(در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد)

الکتروده	ولت
نقره/کلرید نقره/پتاسیم اشباع	+ ۰/۲۰
نقره/کلرید نقره/آب دریا	+ ۰/۲۵ (تقریبی)
کالومل (کلرید پتاسیم معمولی)	+ ۰/۲۸
کالومل (کلرید پتاسیم اشباع)	+ ۰/۲۴
روی/آب دریا (الف-۳ را ببینید)	- ۰/۷۸ (تقریبی)

یادآوری ۱ بطور معمول در آزمایش های میدانی اثر دما در نظر گرفته نمی شود.

یادآوری ۲ پتانسیل های الکترودهای مرجع نسبت به الکتروده استاندارد هیدروژن داده شده است که الکتروده استاندارد هیدروژن فقط در آزمایشگاه ها مورد استفاده قرار می گیرد. هدف جدول این است که بتوان پتانسیل های اندازه گیری شده با یک الکتروده را با الکتروده دیگر بیان کرد. به عنوان مثال دیده شده است که الکتروده روی/آب دریا ۱/۰۳ ولت منفی تر از الکتروده نقره/کلرید نقره/آب دریا می باشد. پتانسیل ۰/۸۰ - اندازه گیری شده با الکتروده نقره/کلرید نقره/آب دریا بنابراین ۱/۰۳ ولت مثبت تر نسبت به الکتروده روی /آب دریا می باشد (یعنی ۰/۲۳ + ولت).