

سیستم کاران

جزوه جامع تشریحی استانداردهای NACE (انجمن مهندسين خوردگی)

تهیه کننده: سیستم کاران

WWW.SYSTEMKARAN.ORG

تلفن: ۰۲۱-۷۹۱۶۵

شماره همراه پیام رسان ها: ۰۹۱۹-۸۳۸۶۲۹۵

((کپی برداری از این جزوه با ذکر منبع ، مجاز می باشد)))

فهرست مطالب

۲	مقدمه
۲	فصل اول: فلسفه وجودی استانداردهای خوردگی
۳	فصل دوم: متدولوژی تدوین استاندارد در NACE
۴	فصل سوم: دسته‌بندی دقیق استانداردها (SP, TM, RP, MR)
۴	فصل چهارم: تشریح کامل NACE MR 0175/ISO 15156 (محیط‌های ترش)
۵	فصل پنجم: تشریح کامل NACE SP 0169 (حفاظت کاتدیک خطوط لوله)
۶	فصل ششم: تشریح NACE TM 0177 و TM 0284 (روش‌های تست خوردگی)
۷	فصل هفتم: تشریح استانداردهای پوشش (NACE SP 0108, SP 0188, RP 0188)
۸	فصل هشتم: تشریح حفاظت کاتدیک داخلی (NACE SP 0286)
۹	فصل نهم: ارتباط NACE با سایر استانداردها
۹	فصل دهم: گواهینامه‌های NACE (تشریح سطوح و مسیر حرفه‌ای)
۱۰	فصل یازدهم: واژه‌نامه تشریحی اصطلاحات کلیدی
۱۰	جمع‌بندی نهایی

مقدمه :

تعریف، تاریخچه و ساختار NACE

NACE International مخفف "National Association of Corrosion Engineers" است. این انجمن در سال ۱۹۴۳ در ایالات متحده آمریکا تأسیس شد. دلیل اصلی تأسیس آن، وقوع خسارات گسترده ناشی از خوردگی در خطوط لوله انتقال نفت خام بود. در آن زمان، مهندسان صنعت نفت مشاهده کردند که بسیاری از خطوط لوله فولادی تنها پس از چند سال بهره‌برداری، به دلیل خوردگی خاک‌های مرطوب و اسیدی، دچار نشتی و شکست می‌شوند.

از آنجا که هیچ استاندارد یکپارچه‌ای برای طراحی، اجرا و بازرسی سیستم‌های محافظت در برابر خوردگی وجود نداشت، ۱۱ مهندس پیشگام تصمیم به تأسیس انجمنی گرفتند که به‌طور تخصصی به مسئله خوردگی بپردازد. در سال ۲۰۲۱، NACE با انجمن SSPC (که بر پوشش‌های محافظ تمرکز داشت) ادغام شد و سازمان جدیدی به نام AMPP (Association for Materials Protection and Performance) پدید آمد. با این حال، استانداردهای تدوین‌شده توسط NACE همچنان با نام NACE شناخته می‌شوند و اعتبار خود را حفظ کرده‌اند.

دفتر مرکزی NACE در شهر هیوستون، ایالت تگزاس قرار دارد که خود یکی از قطب‌های صنعت نفت و گاز جهان محسوب می‌شود. این انجمن در حال حاضر بیش از ۳۶۰۰۰ عضو از ۱۳۰ کشور جهان دارد و بیش از ۳۰۰ استاندارد فعال در حوزه خوردگی منتشر کرده است.

فصل اول: فلسفه وجودی استانداردهای خوردگی

خوردگی یک پدیده طبیعی و برگشت‌ناپذیر است. هر ماده فلزی در تماس با محیط الکترولیتی (مانند خاک، آب دریا، اسیدها، قلیاها و حتی رطوبت هوا) تمایل دارد به حالت اکسیدی پایدار خود بازگردد. برای مثال، آهن در تماس با اکسیژن و آب به زنگ آهن (اکسید آهن) تبدیل می‌شود.

هزینه سالانه خوردگی در جهان حدود ۲.۵ تریلیون دلار تخمین زده می‌شود که معادل ۳ تا ۴ درصد تولید ناخالص داخلی کشورهای صنعتی است. استانداردهای NACE برای کاهش این هزینه‌ها تدوین شده‌اند. فلسفه اصلی این استانداردها عبارت است از:

- یکنواختی روش‌ها: اطمینان از اینکه مهندسان در نقاط مختلف جهان، یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری نرخ خوردگی یا طراحی حفاظت کاتدیک به کار می‌برند.
- ایمنی و جلوگیری از فاجعه: جلوگیری از حوادثی مانند ترکیدن خطوط لوله، نشت مواد سمی یا منفجره، آتش‌سوزی و تلفات جانی.
- اقتصاد و بهینه‌سازی هزینه: انتخاب صحیح متریال و روش حفاظتی، به گونه‌ای که هم از خوردگی جلوگیری شود و هم هزینه اضافی تحمیل نشود.

فصل دوم: متدولوژی تدوین استاندارد در NACE

فرآیند تدوین یک استاندارد NACE بسیار دقیق و مشارکتی است و معمولاً بین ۲ تا ۵ سال به طول می‌انجامد. مراحل اصلی آن به شرح زیر است:

مرحله اول - تشکیل کمیته فنی: یک گروه از متخصصان خوردگی از صنایع مختلف (نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاه، حمل‌ونقل) تشکیل می‌شود. هر عضو کمیته باید حداقل ۵ سال تجربه عملی در زمینه موردنظر داشته باشد.

مرحله دوم - بررسی نیاز: کمیته تعیین می‌کند که در کدام بخش صنعت، یک استاندارد مشخص وجود ندارد یا استانداردهای موجود قدیمی و ناکارآمد هستند.

مرحله سوم - تدوین پیش‌نویس اولیه: یک سند اولیه نوشته می‌شود که شامل روش‌ها، معیارها، جداول و نمودارهای فنی است.

مرحله چهارم - نظرخواهی عمومی (Balloting): پیش‌نویس برای همه اعضای NACE ارسال می‌شود و حداقل ۶ هفته فرصت اظهارنظر دارند. هر گونه تغییر باید با رأی مثبت حداقل ۲ سوم اعضا تأیید شود.

مرحله پنجم - انتشار نهایی: پس از اعمال اصلاحات، استاندارد به صورت رسمی منتشر می‌شود. هر استاندارد حداکثر هر ۵ سال یکبار بازبینی می‌شود (یا تأیید مجدد، یا اصلاح، یا لغو).

فصل سوم: دسته‌بندی دقیق استانداردها (SP, TM, RP, MR)

استانداردهای NACE بر اساس محتوا و کاربرد به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

الف) استانداردهای SP (Standard Practice)

این دسته از استانداردها، روش‌های عملی انجام یک کار مشخص را توضیح می‌دهند. آنها شامل دستورالعمل‌های گام‌به‌گام برای طراحی، نصب، راه‌اندازی، بازرسی و نگهداری سیستم‌های محافظت در برابر خوردگی هستند.

مثال: NACE SP 0169 که روش اجرای حفاظت کاتدیک برای خطوط لوله زیرزمینی را شرح می‌دهد.

ب) استانداردهای TM (Test Method)

این دسته دقیقاً مشخص می‌کنند که چگونه باید یک آزمایش خوردگی انجام شود. تمام جزئیات از جمله شکل نمونه، ابعاد، نوع محیط خورنده، دما، فشار، مدت زمان آزمون و روش ارزیابی نتایج در این استانداردها قید شده است.

مثال: NACE TM 0177 که روش تست ترک خوردگی سولفیدی (SSC) را تعیین می‌کند.

ج) استانداردهای RP (Recommended Practice)

این دسته مشابه SP هستند اما جنبه توصیه‌ای و غیراجباری دارند. در گذشته از این پیشوند بیشتر استفاده می‌شد، اما امروزه بسیاری از استانداردهای RP به SP تبدیل شده‌اند.

مثال: NACE RP 0188 درباره پوشش‌های غنی از روی.

د) استانداردهای MR (Material Requirement)

این دسته از استانداردها، نیازمندی‌های الزامی برای مواد (فلزات و آلیاژها) را در محیط‌های خورنده خاص تعیین می‌کنند.

آنها مشخص می کنند که کدام آلیاژ در کدام محیط مجاز است و چه محدودیت هایی از نظر سختی، ریزساختار و ترکیب شیمیایی وجود دارد.

معروف ترین مثال: NACE MR 0175 برای محیط های حاوی سولفید هیدروژن (H_2S).

فصل چهارم: تشریح کامل NACE MR 0175/ISO 15156 (محیط های ترش)

تعریف محیط ترش (Sour Service)

محیطی است که در آن گاز سولفید هیدروژن (H_2S) وجود داشته باشد و فشار جزئی آن به مقدار معینی برسد. طبق NACE MR 0175، اگر فشار جزئی H_2S بزرگتر یا مساوی 0.003 مگاپاسکال (معادل 300 قسمت در میلیون در فشار اتمسفر ۱ بار) باشد، آن محیط "ترش" محسوب می شود و باید الزامات این استاندارد رعایت شود.

انواع آسیب در محیط ترش

در حضور H_2S و همزمان با وجود آب (رطوبت یا فاز آبی) و تنش های کششی (اعم از تنش داخلی ناشی از فشار سیال یا تنش پسماند ناشی از جوشکاری)، انواع مختلفی از ترک خوردگی رخ می دهد:

۱. ترک خوردگی سولفیدی (SSC – Sulfide Stress Cracking): ترک های بسیار ریز و انشعابی در فولادهای پراستحکام که می تواند منجر به شکست ناگهانی و بدون تغییر شکل ظاهری شود.

۲. ترک خوردگی ناشی از هیدروژن (HIC – Hydrogen Induced Cracking): در اثر نفوذ اتم های هیدروژن به درون فلز و تجمع آن ها در مرز دانه ها یا ناخالصی ها ایجاد می شود.

۳. ترک خوردگی تنش (SCC – Stress Corrosion Cracking): در برخی آلیاژهای خاص مانند فولادهای زنگ نزن آستینیتی رخ می دهد.

الزامات اصلی استاندارد MR 0175

الف) محدودیت سختی برای فولاد کربنی: حداکثر سختی مجاز $HRC 22$ (معادل 248 برینل) است. هر فولاد کربنی با سختی بیشتر از این مقدار در محیط ترش مجاز نیست، مگر اینکه با تست های خاص اثبات شود که در برابر SSC مقاوم است.

ب) عملیات حرارتی مناسب: فولاد کربنی باید به صورت نرمالایز شده (Normalized)، نرمالایز شده و تمپر شده (N&T) یا کوئنچ شده و تمپر شده (Q&T) باشد. عملیات حرارتی نامناسب (مانند آنیل ساده) مجاز نیست.

ج) آلیاژهای مجاز: استاندارد MR 0175 یک لیست مثبت (Positive List) ارائه می دهد؛ یعنی فقط آلیاژهایی که به صراحت در استاندارد ذکر شده اند مجاز هستند. برای مثال:

- فولاد زنگ نزن دوفازی (Duplex) مانند UNS S 31803 و UNS S 32205 در شرایط آنیل شده مجاز است.
- فولاد زنگ نزن آستینیتی L۳۱۶ در محیط ترش مجاز نیست حساس به (SCC).
- آلیاژهای پایه نیکل مانند Inconel 718 تا دمای 300 درجه سانتی گراد و هر مقدار H_2S مجاز هستند.
- د) الزامات جوشکاری: جوش سر (Weld Cap) نباید سختی بیشتری از فلز پایه داشته باشد. پیش گرم و پس گرم باید بر اساس رویه جوشکاری تأیید شده (PQR) انجام شود.

دامنه کاربرد MR 0175

این استاندارد برای تجهیزات دوار (مانند پمپها، کمپرسورها) و غیر دوار (مانند شیرآلات، اتصالات، لوله‌ها، مخازن تحت فشار) در صنایع نفت، گاز، پالایشگاهی و پتروشیمی که با سیال ترش در تماس هستند، الزامی است. در بسیاری از پروژه‌ها، خریدار تجهیزات (کارفرما) قید می‌کند که "کلیه تجهیزات در تماس با سیال باید مطابق NACE MR 0175 ساخته شوند".

فصل پنجم: تشریح کامل NACE SP 0169 (حفاظت کاتدیک خطوط لوله)

هدف استاندارد

NACE SP 0169 با عنوان استاندارد "کنترل خوردگی خطوط لوله فولادی زیرزمینی با استفاده از حفاظت کاتدیک" منتشر شده است. هدف آن ارائه روشی استاندارد برای طراحی، نصب، راهاندازی، بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌های حفاظت کاتدیک است.

اصول حفاظت کاتدیک

حفاظت کاتدیک یک روش الکتروشیمیایی است که در آن، سازه فلزی (مانند خط لوله) به قطب منفی یک منبع جریان مستقیم متصل می‌شود. با این کار، سازه به کاتد تبدیل می‌شود و واکنش اکسایش (انحلال فلز) در سطح آن متوقف می‌شود. دو نوع سیستم حفاظت کاتدیک وجود دارد:

- سیستم گالوانیک (آند فدا شونده): از فلزات فعال‌تر مانند منیزیم، روی یا آلومینیوم به عنوان آند استفاده می‌شود. این سیستم نیازی به منبع تغذیه خارجی ندارد و خودبه‌خود جریان تولید می‌کند. مناسب برای جریان کم و مناطق دورافتاده.
- سیستم جریان اجباری (Impressed Current): از یک یکسوکننده (Rectifier) برای تبدیل جریان متناوب شهری به جریان مستقیم استفاده می‌شود. آندها از مواد مقاوم به خوردگی مانند تیتانیوم با پوشش MMO، گرافیت یا آهن سیلیسیمی ساخته می‌شوند. این سیستم برای جریان زیاد و خاک‌های با مقاومت ویژه بالا مناسب است.

معیارهای حفاظت (Criterion)

NACE SP 0169 چند معیار برای اثبات اینکه یک خط لوله به درستی محافظت می‌شود، ارائه می‌دهد:

۱. معیار پتانسیل -۸۵۰ میلی‌ولت: پتانسیل خط لوله نسبت به الکترود مرجع مس/سولفات مس (Cu/CuSO_4) در شرایط قطع جریان (Instant-Off) باید منفی‌تر از -۸۵۰ میلی‌ولت باشد. منظور از "شرایط قطع جریان" این است که منبع تغذیه حفاظت کاتدیک برای یک لحظه بسیار کوتاه (حدود ۰.۵ ثانیه) قطع می‌شود و بلافاصله پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود تا اثر افت اهمی (IR Drop) حذف گردد.

۲. معیار پلاریزاسیون ۱۰۰ میلی‌ولت: اگر نتوان از معیار اول استفاده کرد (مثلاً به دلیل وجود جریان‌های مزاحم)، باید اندازه‌گیری شود که با اعمال حفاظت کاتدیک، پتانسیل خط لوله حداقل ۱۰۰ میلی‌ولت نسبت به پتانسیل حالت طبیعی (بدون حفاظت) منفی‌تر شده باشد.

روش اندازه گیری پتانسیل

برای اندازه گیری دقیق پتانسیل خط لوله زیرزمینی، از الکتروود مرجع مس/سولفات مس استفاده می شود. الکتروود روی سطح زمین، دقیقاً بالای خط لوله قرار می گیرد. یک ولت متر با امپدانس بالا (دست کم ۱۰ مگا اهم) بین الکتروود مرجع و یک ترمینال تست (Test Station) متصل به خط لوله قرار می گیرد. مقدار پتانسیل بر حسب ولت (یا میلی ولت) خوانده می شود.

ایستگاه های تست (Test Stations)

در طول مسیر خط لوله، در فواصل معمولاً ۱ تا ۲ کیلومتر، ایستگاه های تست نصب می شوند. هر ایستگاه شامل یک جعبه پلاستیکی یا فلزی است که سیم های متصل به خط لوله و آندها به ترمینال هایی ختم می شوند. بازرسان با اتصال ولت متر به این ترمینال ها می توانند پتانسیل نقاط مختلف لوله را اندازه گیری کنند.

تداخل جریان (Interference)

یکی از مسائل پیچیده در حفاظت کاتدیک، پدیده تداخل است. اگر دو خط لوله در نزدیکی هم قرار داشته باشند، حفاظت کاتدیک یک خط می تواند باعث افزایش نرخ خوردگی در خط دیگر شود (تداخل ناخواسته). NACE SP 0169 روش هایی مانند اتصال موقت (Bonding) یا استفاده از مقاومت متغیر برای رفع تداخل ارائه می دهد.

بازرسی دوره ای

طبق این استاندارد، هر خط لوله تحت حفاظت کاتدیک باید حداقل هر ۱۲ ماه یک بار مورد بازرسی کامل قرار گیرد. بازرسی شامل اندازه گیری پتانسیل در تمام ایستگاه های تست، بررسی عملکرد یکسو کننده ها (ولتاژ و جریان خروجی)، بازدید بصری از آندها و کابل ها، و ثبت تمام داده ها در یک گزارش استاندارد است.

فصل ششم: تشریح NACE TM 0177 و TM 0284 (روش های تست خوردگی)

الف - NACE TM 0177 تست ترک خوردگی سولفیدی (SSC)

این استاندارد یکی از مهمترین روش های تست در صنعت نفت و گاز است. هدف آن ارزیابی مقاومت یک ماده فلزی در برابر ترک خوردگی سولفیدی در محیط حاوی H_2S است. این استاندارد چهار روش مختلف برای اعمال تنش بر نمونه ارائه می دهد:

روش A (خمش چهار نقطه): نمونه به شکل یک نوار مستطیل است. چهار نقطه تکیه گاه روی نمونه قرار می گیرند و با پیچ کردن یک پیچ مرکزی، تنش خمشی کنترل شده به نمونه اعمال می شود. نمونه به مدت ۷۲۰ ساعت در محلول استاندارد NACE محلول کلرید سدیم ۵ درصد + اسید استیک ۰.۵ درصد + اشباع از گاز H_2S غوطه ور می شود. پس از پایان آزمون، نمونه با میکروسکوپ نوری (حداقل بزرگنمایی ۱۰۰ برابر) از نظر وجود ترک بررسی می شود.

روش B (کشش آهسته): SSRT - نمونه استوانه ای شکل در یک سلول پر از محلول خورنده قرار می گیرد و با نرخ کرنش بسیار آهسته (معمولاً 10^{-6} بر ثانیه) کشیده می شود. همزمان، نمودار تنش-کرنش ثبت می شود. کاهش ازدیاد طول تا نقطه شکست یا کاهش سطح مقطع نسبت به نمونه شاهد (در هوای خشک) نشان دهنده حساسیت به SSC است.

روش C (حلقه C - C-Ring) نمونه به شکل یک حلقه بریده شده است. با باز کردن حلقه و قرار دادن پیچ در دو انتها، تنش

کششی در سطح خارجی حلقه ایجاد می‌شود.

روش D (تیر دوسر گیردار) : DCB نمونه شکافدار (Notched) است و با یک گوه (Wedge) در شکاف باز می‌شود. تنش در نوک شکاف بسیار زیاد است. این روش برای ارزیابی مقاومت به انتشار ترک (Crack Arrest) در آلیاژهای با استحکام بالا استفاده می‌شود.

(ب) NACE TM 0284 - تست ترک خوردگی ناشی از هیدروژن (HIC)

این استاندارد برای ارزیابی مقاومت فولادهای صفحاتی (مانند ورق‌های مورد استفاده در مخازن ذخیره) در برابر ترک خوردگی ناشی از هیدروژن به کار می‌رود. بر خلاف SSC که نیاز به تنش خارجی دارد، HIC بدون نیاز به تنش خارجی رخ می‌دهد و صرفاً در اثر نفوذ هیدروژن اتمی و تجمع آن در مرز ناخالصی‌ها (مانند آخال‌های منگنز سولفید) ایجاد می‌شود. روش آزمون بدین صورت است که یک نمونه فولادی به ابعاد استاندارد (۱۰۰ × ۲۰ × ضخامت ورق) به مدت ۹۶ ساعت در محلول NACE TM 0284 (که مشابه محلول TM 0177 است اما غلظت اسید استیک متفاوت دارد) غوطه‌ور می‌شود. پس از پایان آزمون، نمونه برش داده می‌شود و با میکروسکوپ سه پارامتر زیر اندازه‌گیری می‌شود:

- CLR (Crack Length Ratio): نسبت طول کل ترک‌ها به طول نمونه.
 - CTR (Crack Thickness Ratio): نسبت ضخامت ترک‌خورده به ضخامت کل نمونه.
 - CSR (Crack Sensitivity Ratio): نسبت سطح مقطع ترک‌خورده به سطح مقطع کل.
- مقادیر کمتر این نسبت‌ها به معنای مقاومت بالاتر فولاد به HIC است.

فصل هفتم: تشریح استانداردهای پوشش (NACE SP 0108, SP 0188, RP 0188)

(الف) NACE SP 0108 - پوشش سه‌لایه (LPP3 و LPE3)

این استاندارد به پوشش خارجی لوله‌های فولادی زیرزمینی و دریایی اختصاص دارد. سیستم پوشش سه‌لایه شامل لایه‌های زیر است:

- لایه اول - اپوکسی ذوبی (FBE): ضخامت حدود ۱۰۰-۱۵۰ میکرون. این لایه به عنوان چسب اولیه به فلز می‌چسبد و مقاومت شیمیایی اولیه را تأمین می‌کند.
- لایه دوم - چسب (Adhesive): کاپلیمر اتیلن یا پروپیلن با گروه‌های عاملی قطبی. ضخامت ۱۰۰-۲۰۰ میکرون. این لایه چسبندگی بین لایه اپوکسی و لایه بیرونی را تضمین می‌کند.
- لایه سوم (لایه سوم) پلی‌اتیلن یا پلی‌پروپیلن: (ضخامت ۲ تا ۴ میلی‌متر. لایه اصلی مقاومت مکانیکی، مانع نفوذ آب و عایق الکتریکی را فراهم می‌کند.

پوشش سه‌لایه به روش اکستروژن (Extrusion) یا به صورت نوار پیچی (Tape Wrapping) روی لوله گرم شده اعمال می‌شود. ضخامت نهایی بسته به قطر لوله و شرایط محیطی از ۱,۸ میلی‌متر تا ۴,۵ میلی‌متر متغیر است.

(ب) NACE SP 0188 - پوشش اپوکسی ذوبی (FBE) برای آرماتور فولادی

این استاندارد کاربرد پوشش FBE روی میلگردهای فولادی مورد استفاده در بتن مسلح را پوشش می‌دهد. دلیل استفاده از

این پوشش، جلوگیری از خوردگی میلگردها در بتن در معرض کلریدها (مانند پلهای ساحلی، پارکینگها) است. الزامات این استاندارد عبارتند از:

- ضخامت لایه خشک بین ۱۷۵ تا ۴۰۰ میکرون.
 - تست جرقه (Holiday Detection) با ولتاژ ۶۷.۵ ولت به ازای هر ۲۵ میکرون ضخامت برای تشخیص حفره‌ها.
 - تست چسبندگی (Pull-off) با حداقل مقاومت ۷ مگاپاسکال.
- ج - NACE RP 0188 پوشش غنی از روی (Zinc-Rich)
- این سند راهنما، روش استفاده از پوشش‌های حاوی پودر روی (با غلظت حداقل ۸۵ درصد وزنی در لایه خشک) را شرح می‌دهد. این پوشش‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:
- معدنی (Inorganic Zinc-Rich): چسبنده سیلیکاتی (پایه اتیل سیلیکات). مقاومت عالی در برابر حلال‌ها و دمای بالا (تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) دارد اما انعطاف‌پذیری محدودی دارد.
 - آلی (Organic Zinc-Rich): چسبنده اپوکسی یا اورتان. انعطاف‌پذیرتر است و برای سازه‌هایی که دچار خمش یا ضربه می‌شوند مناسب‌تر است.
- این پوشش‌ها به عنوان پرایمر (لایه اول) روی فولاد سندبلاست شده (درجه Sa 2.5) اعمال می‌شوند و نقش حفاظت کاتدیک برای فولاد را ایفا می‌کنند (زیرا روی نسبت به آهن فعال‌تر است).

فصل هشتم: تشریح حفاظت کاتدیک داخلی (NACE SP 0286)

NACE SP 0286 با عنوان "حفاظت کاتدیک سطوح داخلی مخازن ذخیره آب و مواد شیمیایی غیراشعال" منتشر شده است. این استاندارد از جهات مختلف با حفاظت کاتدیک خارجی تفاوت دارد:

تفاوت اول - دسترسی محدود: سطوح داخلی مخازن معمولاً در حین بهره‌برداری قابل دسترسی نیستند. بنابراین طراحی آن‌ها باید به گونه‌ای باشد که نیاز به تعمیر و نگهداری مکرر نداشته باشند.

تفاوت دوم - الکترولیت با مقاومت کم: در داخل مخزن، آب یا محلول شیمیایی الکترولیت است. مقاومت ویژه آب معمولاً بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ اهم-سانتی‌متر است (بسیار کمتر از خاک). این امر باعث می‌شود که جریان حفاظت کاتدیک به راحتی در تمام نقاط مخزن پخش شود.

تفاوت سوم - آندهای خاص: به دلیل فضای محدود و احتمال تماس کارگران در زمان بازدید، از آندهای با جریان اجباری از جنس تیتانیوم با پوشش مخلوط اکسید فلزی (MMO) استفاده می‌شود. این آندها به صورت میله‌های بلند (تا طول مخزن) یا صفحات تخت نصب می‌شوند.

نحوه نصب: آندها از طریق یک نفوذ الکتریکی عایق‌شده (Electrical Penetration) در بالای مخزن وارد می‌شوند و در فاصله ۲۰-۳۰ سانتی‌متر از کف مخزن معلق می‌شوند. یکسوکننده در خارج از مخزن نصب می‌شود.

معیار حفاظت: پتانسیل کف و دیواره داخلی مخزن نسبت به الکترود نقره/نقره کلرید (Ag/AgCl) باید منفی‌تر از -۷۸۰ میلی‌ولت باشد معادل -۸۵۰ میلی‌ولت نسبت به (Cu/CuSO₄).

فصل نهم: ارتباط NACE با سایر استانداردها

NACE به تنهایی عمل نمی‌کند، بلکه با سایر نهادهای استانداردسازی هماهنگی نزدیک دارد:

ارتباط با : ISO بسیاری از استانداردهای NACE با استانداردهای ISO همسان شده‌اند. مهمترین مثال: NACE MR 0175 عیناً برابر با ISO 15156 است. به همین دلیل، معمولاً استاندارد با عنوان دوگانه "NACE MR 0175 / ISO 15156" شناخته می‌شود.

ارتباط با ASTM : ASTM روش‌های تست را تدوین می‌کند (مانند ASTM G48 برای تست خف‌خوردگی). NACE در استانداردهای TM خود به ASTM ارجاع می‌دهد و بالعکس. برای مثال، NACE TM 0177 برای آماده‌سازی محلول تست به ASTM D 1141 ارجاع می‌دهد.

ارتباط با : API موسسه نفت آمریکا (API) در استانداردهای خود مانند API 571 (مکانیزم‌های آسیب) به طور گسترده به NACE ارجاع می‌دهد. همچنین در استاندارد API 5L (لوله‌های خط) قید می‌شود که لوله‌های مورد استفاده در محیط ترش باید مطابق NACE MR 0175 باشند.

ارتباط با : SSPC پس از ادغام، استانداردهای پوشش مشترک با عنوان "NACE No. xx / SSPC-Paint yy" منتشر می‌شوند.

فصل دهم: گواهینامه‌های NACE (تشریح سطوح و مسیر حرفه‌ای)

الف) گواهی بازرسی پوشش (CIP – Coating Inspector Program)

این گواهی برای بازرسانی طراحی شده است که پوشش‌های صنعتی را بر روی سازه‌های فولادی (لوله، مخازن، پل‌ها، کشتی‌ها) بازرسی می‌کنند.

سطح ۱: آموزش ۵ روزه به صورت تئوری و عملی. مباحث شامل: آماده‌سازی سطح (درجه سندبلاست، زبری، گرد و غبار)، اصول اعمال پوشش (برس، رول، اسپری)، ابزارهای اندازه‌گیری ضخامت مرطوب و خشک، و تست جرقه. فارغ‌التحصیلان می‌توانند به عنوان بازرس کمکی (Assistant Inspector) زیر نظر یک بازرس سطح ۲ کار کنند.

سطح ۲: داشتن سطح ۱ و حداقل ۲ سال تجربه عملی. آموزش ۵ روزه پیشرفته شامل: شناسایی عیوب پوشش (حباب، پین هول، نشست، پوسته پوسته شدن)، روش‌های بازرسی در شرایط خاص (ارتفاعات، فضاهای بسته، زیر آب)، تفسیر مشخصات فنی (Specification) و نوشتن گزارش‌های بازرسی. فارغ‌التحصیلان می‌توانند به عنوان بازرس ارشد (Senior Inspector) مسئولیت کامل بازرسی یک پروژه را بر عهده بگیرند.

سطح ۳: (Peer Review) بدون آموزش کلاسی. متقاضی باید سطح ۲ داشته باشد و حداقل ۵ سال تجربه به عنوان بازرس سطح ۲ داشته باشد. سپس در یک جلسه شفاهی با حضور سه بازرس سطح ۳ دیگر، دانش و تجربه وی ارزیابی می‌شود. این بالاترین سطح گواهی CIP است و به دارنده اجازه می‌دهد برنامه‌های آموزشی برای سطوح ۱ و ۲ تدریس کند.

ب) گواهی حفاظت کاتدیک (CP – Cathodic Protection)

CP Level 1 (تکنسین): آموزش ۴.۵ روز.

مباحث: اصول اولیه الکتروشیمی، نحوه اندازه‌گیری پتانسیل، استفاده از الکترودهای مرجع، شناسایی ایستگاه‌های تست، رفع عیب‌های ساده.

CP Level 2 (طراح): سطح ۱. آموزش ۵ روز. مباحث: محاسبه جریان مورد نیاز، طراحی آندهای گالوانیک و جریان اجباری، حل مسئله تداخل جریان، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی (مانند CP Designer).

CP Level 3 (متخصص): سطح ۲ و حداقل ۸ سال تجربه (که ۳ سال آن در سطح ۲ باشد). ارزیابی از طریق ارائه یک پروژه عملی کامل و دفاع شفاهی در برابر کمیته تخصصی.

فصل یازدهم: واژه‌نامه تشریحی اصطلاحات کلیدی

پتانسیل خوردگی: (Corrosion Potential) پتانسیلی که یک فلز در یک محیط خاص بدون اعمال حفاظت کاتدیک به خود می‌گیرد. در فولاد در خاک، معمولاً بین ۵۵۰- تا ۷۰۰- میلی‌ولت نسبت به Cu/CuSO_4 است.

افت اهمی: (IR Drop) افت ولتاژی که در اثر عبور جریان حفاظت کاتدیک از مقاومت الکترولیت (خاک یا آب) ایجاد می‌شود. این افت می‌تواند باعث خوانش اشتباه پتانسیل شود (برای مثال پتانسیل اندازه‌گیری شده ۹۰۰- میلی‌ولت باشد اما پتانسیل حقیقی لوله فقط ۷۵۰- میلی‌ولت باشد). به همین دلیل، اندازه‌گیری در حالت قطع جریان (Instant-Off) ضروری است.

الکتروود مرجع: (Reference Electrode) یک نیمه سلول با پتانسیل پایدار و شناخته شده که برای اندازه‌گیری پتانسیل سازه‌های فلزی استفاده می‌شود. انواع متداول: مس/سولفات مس (برای خاک و آب شیرین)، نقره/نقره کلرید (برای آب دریا)، کالومل (برای محیط‌های آزمایشگاهی).

حفاظت کاتدیک بیش از حد: (Overprotection) اگر پتانسیل یک سازه بیش از حد منفی شود (مثلاً منفی‌تر از ۱۱۰۰- میلی‌ولت نسبت به Cu/CuSO_4)، ممکن است دو مشکل ایجاد شود: (۱) تولید گاز هیدروژن در سطح فلز که می‌تواند به پوشش آسیب بزند ((Blistering, ۲) تردی هیدروژنی (Hydrogen Embrittlement) در فولادهای پر استحکام.

محیط ترش: (Sour Service) به محیطی گفته می‌شود که فشار جزئی H_2S در فاز گازی آن حداقل ۰.۰۰۳ مگاپاسکال باشد. در محیط‌های با H_2S کمتر، استاندارد MR 0175 لزومی ندارد.

محیط شیرین: (Sweet Service) محیطی که مقدار H_2S ناچیز (کمتر از ۰.۰۰۳ مگاپاسکال فشار جزئی) یا صفر است. در این محیط‌ها، خوردگی معمولاً به شکل یکنواخت یا حفره‌دار رخ می‌دهد، نه ترک خوردگی سولفیدی.

جمع‌بندی نهایی

استانداردهای NACE یک سیستم کامل و یکپارچه برای مدیریت خوردگی در صنایع مختلف فراهم می‌کنند. از انتخاب مواد در محیط‌های ترش (MR 0175) گرفته تا طراحی حفاظت کاتدیک SP0169، از روش‌های تست خوردگی TM 0177 و TM 0284 تا مشخصات فنی پوشش‌ها SP0108، SP0188، تمام جنبه‌های مهندسی خوردگی پوشش داده شده است.

درک عمیق این استانداردها نه تنها برای مهندسان خوردگی، بلکه برای تمام مهندسانی که با سازه‌های فلزی در محیط‌های

خورنده سروکار دارند (نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاه، آب و فاضلاب، حمل و نقل دریایی، پل سازی و ...) ضروری است.
نکته مهم: همیشه باید آخرین ویرایش استاندارد را از وبسایت رسمی AMPP دریافت کرد. استفاده از نسخه‌های قدیمی ممکن است به دلیل پیشرفت دانش و فناوری، خطر آفرین باشد.

سیستم کاران

تلفن

۰۲۱-۷۹۱۶۵

شماره همراه پیام رسانها

۰۹۱۹-۸۳۸۶۲۹۵

WWW.SYSTEMKARAN.ORG