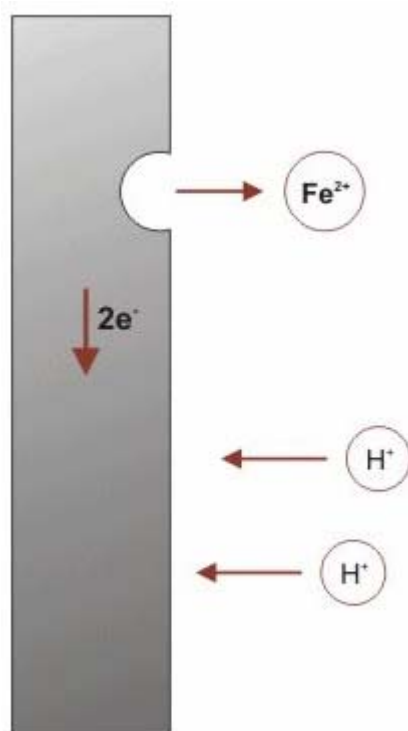


خوردگی در صنعت حفاری چاههای نفت

CORROSION IN OIL WELL DRILLING INDUSTRY



Current flows during corrosion

پیش‌گفتار

حمد و سپاس خدایی را سزاست که به ما توانایی انجام کار عنایت فرمود، اکنون که توفیق خدمت یافته ایم جا دارد از کلیه دوستان و همکارانی که در تهیه این اثر ما را یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

علیرغم کتابهای بسیار زیادی که در زمینه خوردگی فلزات تاکنون به چاپ رسیده است، کتاب حاضر اولین اثری است که در زمینه خوردگی در صنعت حفاری چاههای نفت و گاز به چاپ می‌رسد، بدیهی است که این اولین گام خالی از اشکال نیز نمی‌تواند باشد. به همین دلیل ضمن تقدیم نتیجه تلاشمان از کلیه کارشناسان و دست‌اندرکاران این صنعت انتظار داریم که با راهنمایی‌های خود ما را در برداشتن گام‌هایی استوارتر یاری نمایند.

حمید رضا مردان دزفولی

زمستان ۱۳۷۱

این اثر پس از چاپ اولیه مورد استقبال مهندسان گل شرکت ملی حفاری قرار گرفت و به عنوان کتاب مرجع در کتابخانه این شرکت به ثبت رسید و از آن سال تاکنون اداره آموزش شرکت ملی حفاری یک دوره آموزش خوردگی جهت کارشناسان برگزار می کند، این دوره آموزشی بصورت ضمن خدمت جهت مهندسان گل قدیمی و همچنین برای کارآموزان جدید الاستخدام می باشد. طی سالیان پس از چاپ اول این کتاب، صنعت حفاری متحول شده است و تکنولوژی های جدیدی وارد این عرصه شده اند، که از جمله به سیستم لوله مغزی سیار و حفاری فرو تعادلی می توان اشاره کرد، با توجه به این تحولات لازم دیدم بمنظور در نظر گرفتن خوردگی در این بخشهای کتاب را باز نویسی کرده و بخشهای جدید را به آن اضافه نمایم. کتاب فعلی حاصل باز نویسی چاپ اول و اضافه شدن تکنولوژی های جدید صنعت حفاری می باشد.

حمید رضا مردان دزفولی

زمستان ۱۳۸۶

فصل اول

مبانی مهندسی خوردگی

۱۱	..... مقدمه
۱۱	..... تعریف خوردگی
۱۱	..... انواع خوردگی
۱۱	..... مکانیزم خوردگی الکترو شیمیایی
۱۵	..... سری EMF
۱۷	..... رویین شدن
۱۸	..... خوردگی گالوانیکی
۱۸	..... خوردگی یکنواخت
۱۹	..... خوردگی شیاری و حفره ایی
۲۰	..... خوردگی پیل غلظتی
۲۱	..... خوردگی بین دانه ایی
۲۱	..... خوردگی تحت تنش
۲۳	..... خوردگی سایشی
۲۴	..... شکنندگی هیدروژنی
۲۶	..... روشهای معمول برای اندازه گیری و گزارش سرعت خوردگی
۲۷	..... روش اندازه گیری توسط رینگ کوپنها
۳۰	..... علل خوردگی حین حفاری

۳۱	فاکتورهای مؤثر در خوردگی
۳۲	خوردگی اکسیژنی
۳۳	پیل خوردگی
۳۳	دی پولاریزاسیون کاتد
۳۵	فاکتورهای مؤثر در خوردگی اکسیژنی
۳۶	تشخیص و اندازه گیری خوردگی اکسیژنی
۳۶	راه درمان خوردگی اکسیژنی
۳۶	مراحل درمان اکسیژن
۳۷	محدودیت مواد جاذب اکسیژن
۳۷	ممانعت کننده های کرمیتی
۳۷	عوامل بازدارنده خوردگی اکسیژنی
۳۸	خوردگی ناشی از گاز دی اکسید کربن (خوردگی شیرین)
۳۹	تعیین مقدار گاز دی اکسید کربن در گلهای حفاری
۴۰	راه درمان گاز دی اکسید کربن
۴۰	رسوبات
۴۲	خوردگی ناشی از گاز هیدروژن سولفور (خوردگی ترش)
۴۴	فاکتورهای مؤثر در خوردگی گاز هیدروژن سولفور
۴۸	مسمومیت گاز هیدروژن سولفور
۵۱	راه درمان هیدروژن سولفور

۵۲	..... رابطه حد خستگی ساقه حفاری با سیال حفاری
۵۵	..... پیشنهادات عملی برای کاهش شکست در محیط H_2S
۵۷	..... خواص متالورژیکی و شیمیایی لوله های حفاری
۶۶	..... باکتریها

فصل دوم

ترکیبات سیال حفاری

۶۹	..... مقدمه
۶۹	..... گازهای محلول
۶۹	..... عناصر کانی
۷۱	..... فاز جامد گلپهای حفاری
۷۲	..... شناسایی مواد شیمیایی تشکیل دهنده سیال حفاری
۷۷	..... خوردگی موضعی
۷۸	..... مکانیزم خوردگی موضعی
۸۳	..... مبارزه با خوردگی موضعی
۸۴	..... خوردگی سایشی
۸۹	..... روشهای مبارزه با خوردگی سایشی
۹۰	..... خوردگی یکنواخت

۹۴	..... خوردگی تر
۹۴	..... آلودگیهای اتمسفریک
۱۰۲	..... طریقه انتخاب پوشش مناسب
۱۰۶	..... روشهای آماده سازی سطح
۱۱۰	..... روشهای رنگزنی
۱۱۱	..... رنگزنی با بروس
۱۱۲	..... رنگزنی با غلتک
۱۱۲	..... رنگزنی به روش پاشش
۱۱۴	..... تضمین کیفیت
۱۱۵	..... مراحل بازرسی
۱۲۴	..... ساباندن توسط حلال
۱۲۴	..... آزمایش با سمباده
۱۲۵	..... آزمایش سختی
۱۲۶	..... آزمایش انعطاف پذیری
۱۲۶	..... آزمایش مقاومت به ضربه
۱۲۶	..... آزمایش های سرعتی
۱۲۷	..... آزمایش سفت شدن

۱۲۷	..... آزمایش چسبندگی
۱۲۹	..... عیوب رنگ
۱۳۳	..... دستورالعمل رنگ آمیزی
۱۳۸	..... الزامات رنگ
۱۴۰	..... استانداردهای رنگ آمیزی
۱۴۴	..... سیستم های رنگ

فصل سوم

خوردگی و کنترل آن در لوله مغزی سیار

۱۴۶	..... مقدمه
۱۵۱	..... خوردگی CT توسط اسید
۱۵۳	..... آزمایشات قبل از عملیات
۱۵۳	..... بررسی آزمایشگاهی خوردگی CT
۱۵۴	..... بازرسی CT
۱۵۵	..... نتیجه گیری

فصل چهارم

خوردگی در فرآیند حفاری زیر تعادلی

۱۶۳ تشخیص و پایش (مانیتورینگ) خوردگی
-----	--

۱۶۳	.....	هدف از برنامه
۱۶۴	.....	مهندسی خوردگی
۱۷۲	.....	مهندسی سایش
۱۷۲	.....
۱۷۳	.....	فرآیند عملیات
۱۷۵	.....	ضمیمه A: فرآیند خوردگی تحت تنش سولفیدی رشته حفاری
۱۸۸	.....	ضمیمه B: درمان سیال حفاری فرو تعادلی آلوده شده
۲۱۳	.....	ضمیمه D: ()
۲۲۴	.....	ضمیمه E: ()
۲۲۵	.....	ضمیمه F:

فصل پنجم

خوردگی در آب دریا و حفاظت کاتدی

۲۲۹	.....	تاریخچه حفاظت کاتدی
۲۳۱	.....	خوردگی در آب دریا

۲۳۵	..... خوردگی پیل اختلاف دمشی
۲۳۵	..... خوردگی بوسیله موجودات زنده
۲۳۹	..... مناطق جزر و مد و پاشش
۲۴۱	..... حفاظت کاتدی
۲۴۸	..... سیستم حفاظت کاتدی از نوع آند های فدا شونده
۲۶۸	..... مقایسه سیستم آند فدا شونده و اعمال جریان
۲۷۶	..... منابع

مقدمه

خسارتهای ناشی از خوردگی وسایل حفاری چاههای نفت، اخیراً به مقدار زیادی مورد توجه پیمانکاران و کارفرمایان قرار گرفته است. بنابراین آشنایی مهندسان گل با اثر سیال حفاری بر روی ساقه حفاری و وسایل درون چاهی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. یکی از مهمترین وظایف مهندسان گل شناخت انواع خوردگی، روش اندازه گیری میزان خوردگی، تعیین نوع خوردگی و روش مبارزه با آن می باشد.

گلهای پایه آبی که اکسیژن و دی اکسید کربن در آنها حل شده باشد، محیط مناسبی برای تولید خوردگی میباشد. کاهش PH و افزایش حالت ژلاتینی این نوع گل ها که باعث افزایش گاز محبوس شده در گل می شود، سرعت خوردگی را افزایش میدهند.

تعریف خوردگی :

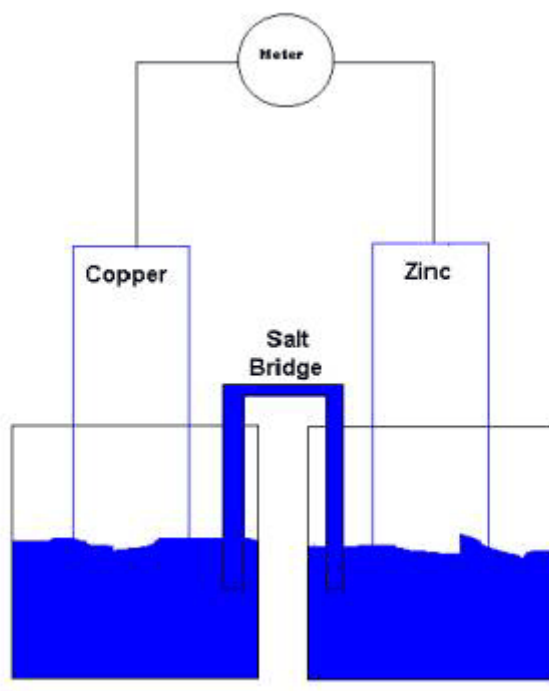
خوردگی یک میل طبیعی برای فلزات احیاء شده، جهت بازگشت به ترکیبات پیش از احیاء است. فلزات اغلب در طبیعت به صورت ترکیباتی هستند، که از نظر ترمودینامیکی پایدار میباشد، پس از احیاء پایداری خود را از دست داده و اگر مجدداً در مجاورت محیط طبیعی قرار گیرند، خورده شده و به ترکیب اولیه خود بازمیگردند.

انواع خوردگی :

خوردگی را به دو دسته تر و خشک میتوان تقسیم نمود. مکانیزم خوردگی تر، الکترو شیمیایی است. خوردگی خشک به واکنش های گاز - جامد و در درجه حرارت های بالا گفته می شود. در صنعت حفاری خوردگی تر مورد بحث می باشد. خوردگی آهن در الکترولیت گل حفاری و سیالات دیگر از انواع خوردگی تر میباشد. هرچه قدرت هدایت الکتریکی سیال بالاتر باشد، جریان عبوری بیشتر و میزان خوردگی بالاتر خواهد بود.

مکانیزم خوردگی الکتروشیمیایی :

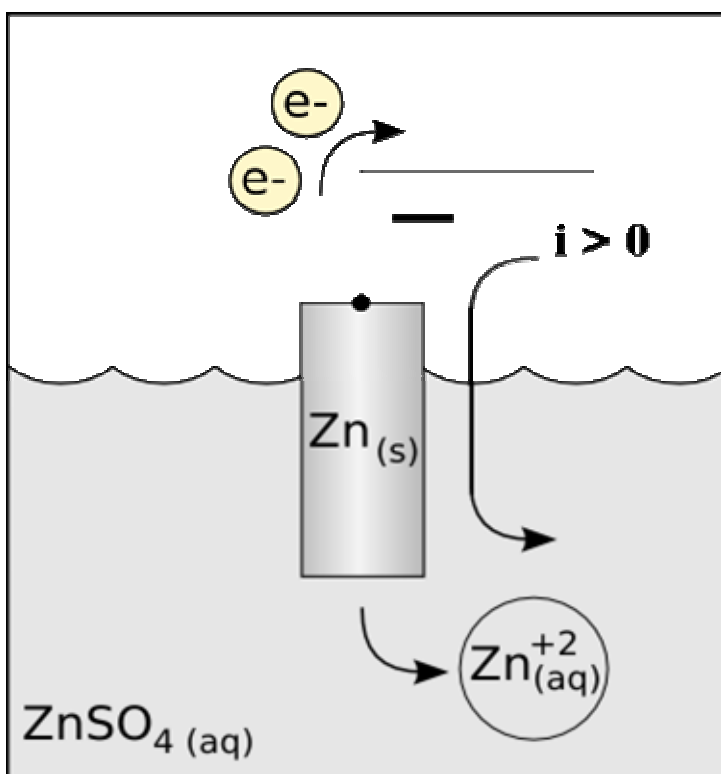
برای تشکیل یک پیل خوردگی عناصر زیر لازم است :



تصویر فوق پیل الکترو شیمیایی را نشان می دهد.

فلزی که خورده شود و واکنشهای آندیک روی آن صورت پذیرد.

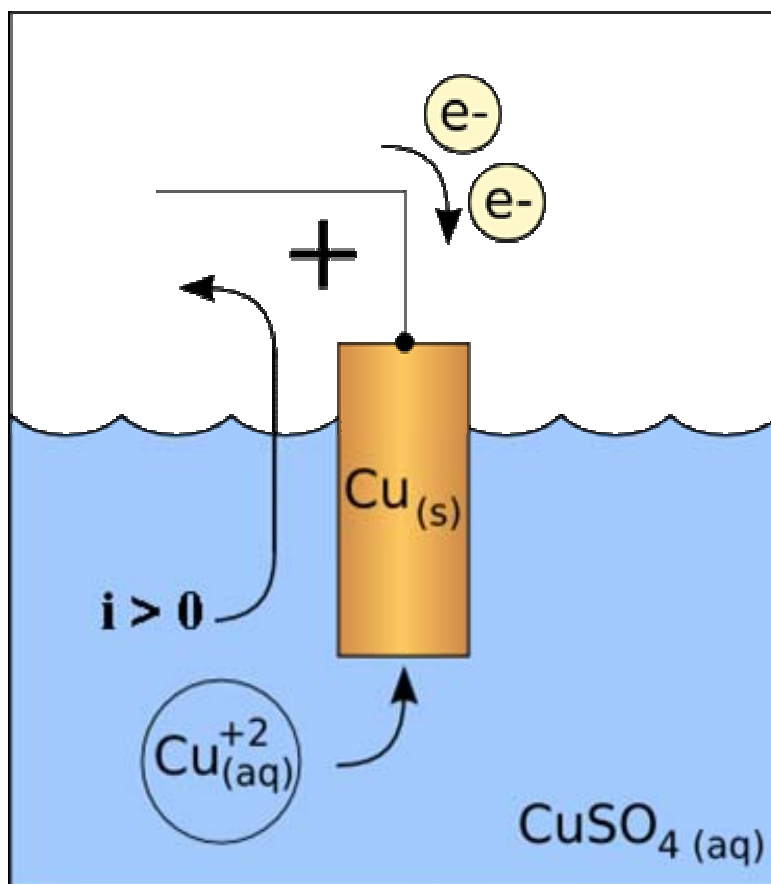
(1) آند



تصویر فوق آند در پیل الکترو شیمیایی را نشان می دهد.

(۲) کاتد

قطعه ای که واکنشهای کاتدی روی آن صورت پذیرد.



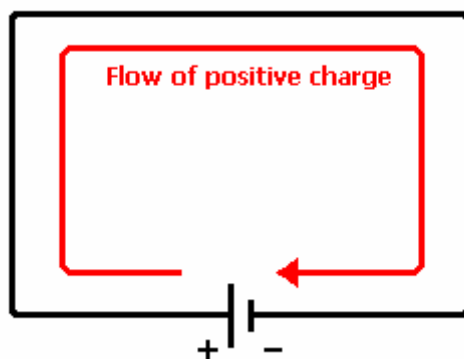
تصویر فوق کاتد در پیل الکترو شیمیایی را نشان می دهد.

(۳) سیم رابط

جریان الکتریکی بین کاتد و آند از طریق سیم رابط برقرار می شود.

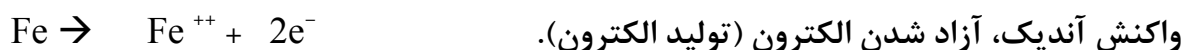
(۴) الکترولیت

یک سیال هادی جریان الکتریسیته است .



تصویر فوق حرکت جریان در مدارات الکتریکی را نشان می دهد.

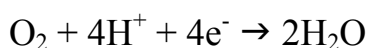
مثال خوردگی آهن در سیال حفاری :



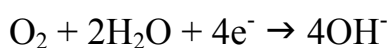
در صورتیکه سیال حفاری حالت اسیدی داشته باشد، واکنش کاتدی زیر میتواند صورت پذیرد.



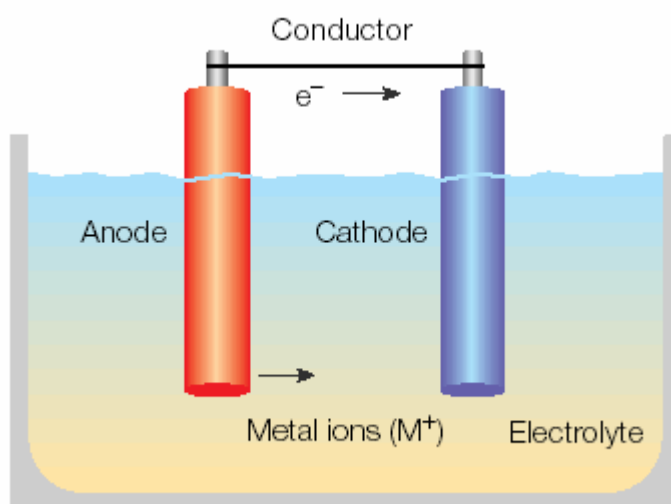
در صورتیکه اکسیژن در محلول اسیدی حل شده باشد واکنش کاتدی زیر میتواند صورت پذیرد.



در صورتیکه PH سیال حفاری بازی و یا خنثی باشد و واکنش کاتدی زیر می تواند صورت پذیرد.



در صورتیکه در سیال حفاری یونهای فلزی نیز وجود داشته باشند واکنشهای زیر نیز میتوان صورت پذیرد.



تصویر فوق تشکیل پیل خوردگی دو فلز غیر مشابه در یک الکترو لیت را نشان می دهد.

کاتد و آند میتوانند روی دو فلز مجزا باشند، و یا اینکه هر دو روی یک فلز (تصویر صفحه ۹۱) باشند، ولی در هر صورت خوردگی در آند باعث از بین رفتن تدریجی آند می شود. لازمه برقراری جریان الکتریکی بین کاتد و آند وجود یک اختلاف پتانسیل بین آنهاست، منبع ولتاژ، انرژی ذخیره شده در فلز طی فرایند احیاء می باشد. مواد مختلف انرژیهای مختلفی جهت فرایند احیاء نیاز دارند. لذا تمایل مواد برای خوردگی متفاوت است، به علت اختلاف در ساختار و فازهای تشکیل شده در یک قطعه، انرژی در نقاط مختلف به صورت موضعی مختلف است، این عامل وجود اختلاف پتانسیل در نقاط مختلف سطح یک قطعه است. اختلاف انرژی، اختلاف پتانسیل موضعی را باعث می شود. لذا در سطح یک قطعه ممکن است صدها کاتد و آند در مجاورت یکدیگر قرار گرفته باشند.

ELECTROMOTIVE FORCE

سری (EMF)

فلزات وقتی که به یکدیگر متصل میشوند، یک اختلاف پتانسیل نسبی بین آنها ایجاد می شود. در صورتیکه هیدروژن به عنوان مرجع در نظر گرفته شود، پتانسیل فلزات نسبت به آن را می توان اندازه گیری نمود. برای این منظور لازم است، درجه حرارت و غلظت یونها در الکترولیت ثابت باشند.

تبادل فلز-یون فلز (اکتیویته واحد) یک اتم گرم یون فلز مربوطه	پتانسیل الکترود نسبت به الکترود هیدروژن نرمال در ۲۵C (ولت)
Au- Au ⁺²	+1.498
Pt - Pt ⁺²	+1.2
Pd - Pd ⁺	+0.987
Ag - Ag ⁺²	+۰,۷۹۹

$\text{Hg} - \text{Hg}^{+2}$	+۰,۷۸۸
$\text{Cu} - \text{Cu}^{+2}$	+۰,۳۳۷
$\text{H}_2 - \text{H}^+$	۰,۰۰۰
$\text{Pb} - \text{Pb}^{+2}$	-۰,۱۲۶
$\text{Sn} - \text{Sn}^{+2}$	-۰,۱۳۶
$\text{Ni} - \text{Ni}^{+2}$	-۰,۲۵۰
$\text{Co} - \text{Co}^{+2}$	-۰,۲۷۷
$\text{Cd} - \text{Cd}^{+2}$	-۰,۴۰۳
$\text{Fe} - \text{Fe}^{+2}$	-۰,۴۴۰
$\text{Cr} - \text{Cr}^{+2}$	-۰,۷۴۴
$\text{Zn} - \text{Zn}^{+2}$	-۰,۷۶۳
$\text{Ae} - \text{Ae}^{+2}$	-۱,۶۶۲
$\text{Mg} - \text{Mg}^{+2}$	-۲,۳۶۳
$\text{Na} - \text{Na}^{+2}$	-۲,۷۱۴
$\text{K} - \text{K}^+$	-۲,۹۲۵

جدول فوق سری EMF را نشان می دهد.

فلزاتی که پتانسیل آنها منفی است، نسبت به هیدروژن آند هستند. فلزاتی که پتانسیل آنها مثبت است، نسبت به هیدروژن کاتد هستند. هر فلزی در جدول نسبت به فلز دیگری که بالای آن قرار گرفته است، آند است. دو فلز مشابه نسبت به هم اختلاف پتانسیلی ندارند، پس جریانی بین آنها برقرار نمی شود. اگر دو الکترود آهن و مس رابه یکدیگر متصل کنیم، آهن نسبت به مس

آند است و جریانی بین آهن و مس بر قرا می شود و الکتروود آهنی خورده خواهد شد. شدت جریان الکتریکی به نیروی محرکه (ولتاژ) بین الکترودها بستگی دارد.

passivity

روئینه شدن

بعضی فلزات توانائی این را دارند که در مقابل محیط اطراف خود تشکیل یک لایه محافظ دهند. این لایه توسط محصولات خوردگی تشکیل می شود، و به عنوان یک مانع در مقابل خوردگی عمل میکند، به این فرآیند تشکیل لایه محافظ و افزایش پتانسیل فلزات روئینه شدن گویند، آلومینیوم از فلزاتی است که امکان روئینه شدن را دارد.



عکس فوق روئینه شدن یک قطعه فلز آلومینیم را نشان می دهد.

انواع خوردگی

GALVANIC CORROSION.

۱- خوردگی گالوانیکی.

UNIFORM CORROSION .

۲- خوردگی یکنواخت.

CONCENTRATION CELL CORROSION .

۳- خوردگی پیل غلظتی.

PITTING CORROSION .

۴- خوردگی حفره ای.

INTERGRANULAR CORROSION .

۵- خوردگی بین دانه ایی.

STRESS CORROSION .

۶- خوردگی تحت تنشی.

DEZINCIFICATION .

۷- روی زدایی.

EROSION CORROSION .

۸- خوردگی سایشی.

GALVANIC CORROSION

خوردگی گالوانیکی

هرگاه دو فلز غیر هم جنس در یک الکترولیت تشکیل یک پیل خوردگی دهند، خوردگی گالوانیکی حاصل می شود.

پتانسیل دو فلز نسبت به یکدیگر در الکترولیت‌های مختلف، متفاوت است. سرعت خوردگی به نسبت سطح کاتد/آند بستگی دارد، هرچه سطح کاتد بزرگتر از آند باشد، سرعت خوردگی و از بین رفتن آند بیشتر است.

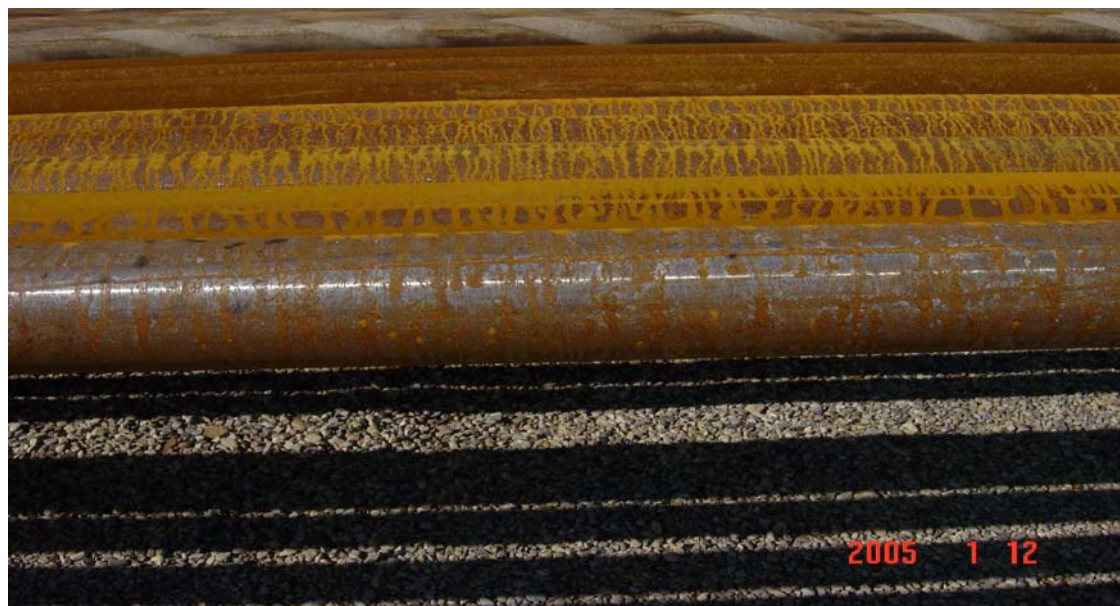


عکس فوق خوردگی گالوانیکی را نشان می دهد.

UNIFORM CORROSION

خوردگی یکنواخت

سطح اغلب فلزات در محیط خورنده به صورت یکنواختی دچار خوردگی می شود که به آن خوردگی یکنواخت گویند. این نوع خوردگی در اثر تغییر پیوسته مکان کاتد و آند در سطح فلز، به علت پولاریزاسیون ایجاد می شود. قدرت تخریب و اهمیت این نوع خوردگی از انواع دیگر کمتر است. خوردگی فولاد در هوای مرطوب اغلب از این نوع است. در تصویر صفحه ۹۱ مکانیزم خوردگی یکنواخت فولاد نشان داده شده است.



عکس فوق خوردگی یکنواخت سطح لوله های حفاری را نشان می دهد.

PITTING AND CRAVICE CORROSION خوردگی شیباری و حفره ای

در صورتیکه سطح کاتد و آند تغییر نکند، خوردگی حفره ایی اتفاق می افتد. سطح حفره یا شیار، آند است. این نوع خوردگی از انواع خوردگی موضعی است. در اثر ادامه فرایند خوردگی، حفره عمیقتر می شود و باعث سوراخ شدن لوله ها میگردد، در صورتیکه مکان لاستیک حلقوی محافظ لوله ها ثابت باشد، در زیر لاستیک این خوردگی اتفاق خواهد افتاد.



عکس فوق لاستیک حلقوی محافظ لوله ها را نشان می دهد.

این نوع خوردگی ممکن است منجر به سوراخ شدن لوله حفاری شود.



عکس فوق خوردگی شیاری لوله های حفاری را نشان می دهد.

CONCENTRATION CELL CORROSION

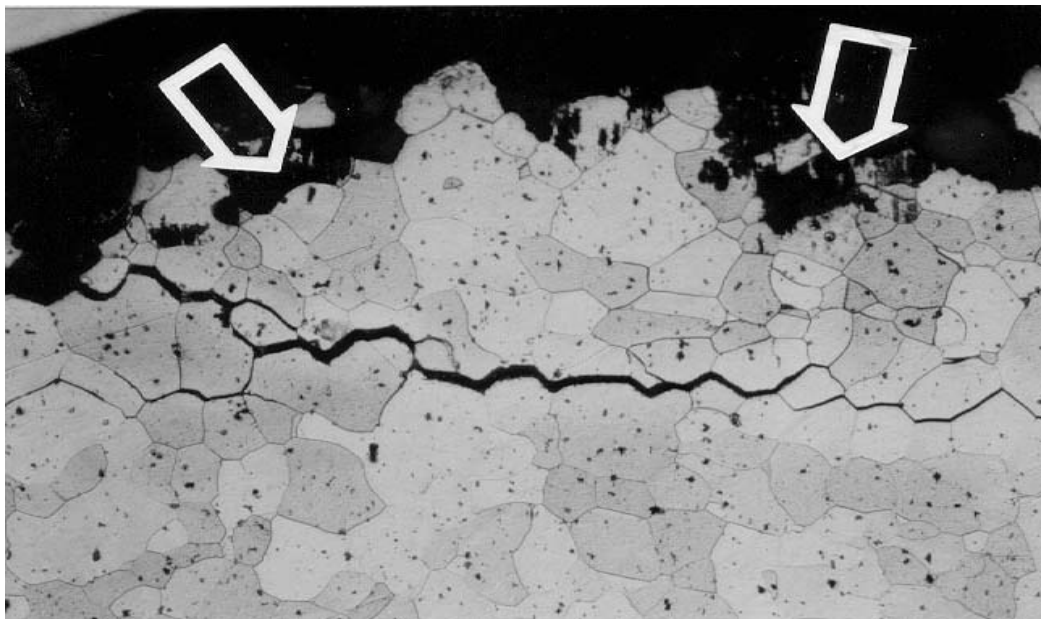
خوردگی پیل غلظتی

به این نوع خوردگی، خوردگی زیر رسوبات نیز میگویند. خوردگی اکسیژنی که بعداً مورد بحث قرار می گیرد نیز از انواع خوردگی غلظتی است. پوشیده شدن قسمتی از سطح لوله های حفاری توسط گل، محصولات خوردگی و لاستیک حلقوی محافظ لوله ها باعث ایجاد این نوع خوردگی می شود، اختلاف غلظت اکسیژنی ناحیه پوشیده شده توسط رسوبات و ناحیه آزاد باعث شده که سطح زیر این رسوبات آند و بقیه لوله کاتد شود.

INTERGRANULAR CORROSION

خوردگی بین دانه ایی

این نوع خوردگی که در مرز دانه ها اتفاق میافتد از انواع خوردگی موضعی می باشد. طی فرایند انجماد، مرز دانه ها آخرین نقاطی هستند که منجمد میشوند، لذا غلظت عناصر آلیاژی و ناخالصی در مرز دانه فلزات بیشتر است. اختلاف غلظت آلیاژی بین سطح و مرز دانه ها باعث اختلاف انرژی و در نتیجه تمایل به خورده شدن سطح و مرز دانه ها می شود در نتیجه مرز دانه ها آند و سطح دانه ها کاتد می شود.

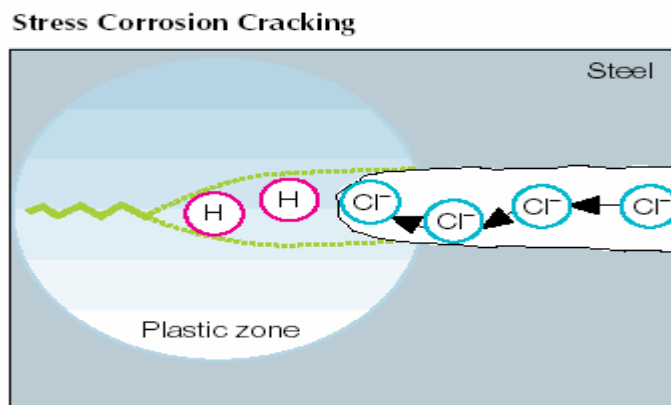


عکس فوق خوردگی بین دانه ایی یک قطعه آلومینیم را نشان می دهد.

STRESS CORROSION

خوردگی تحت تنش

هر کدام از انواع خوردگی موضعی که تحت تأثیر تنش تشدید شود، را خوردگی تحت تنشی گویند. ترکیب دو عامل خوردگی و تنش کششی باعث ترک خوردگی و سپس شکست فلز می شود. یکی از مشخصات خوردگی تحت تنشی عدم وجود خوردگی یکنواخت می باشد.



تصویر فوق اثر هم زمان تنش کششی و خوردگی در یک ترک را نشان می دهد.



عکس فوق مقطع شکست خوردگی تحت تنشی را نشان می دهد. (خوردگی تحت تنشی معمولاً به صورت شاخه ای می باشد.)

DEZINCIFICATION

روی زدایی

یکی از انواع خوردگی است که در آلیاژهای مس - روی اتفاق می افتد. در آلیاژهای (برنز و برنج) هر دو فلز مس و روی وارد الکترولیت شده سپس مس مجدداً سطح نمونه را پوشانده و روی در محلول باقی می ماند، به این علت در صورتیکه این آلیاژها مدتی در محیط خورنده قرار گیرند سطح فلز قرمز و متخلخل می شود. به این فرآیند روی زدایی گویند.

EROSION CORROSION

خوردگی سایشی

خوردگی در اثر سایش ناشی از حرکت سیال شدید می شود. با افزایش مواد جامد در سیال این نوع خوردگی شدید می شود. سایش باعث از بین رفتن محصولات خوردگی ایجاد شده در سطح فلز می شود و به الکترولیت اجازه تماس با سطح فلز جهت ادامه خوردگی را میدهد. افزایش سرعت گردش سیال حفاری، میزان مواد جامد گل و جریان آشفته سیال حفاری از عواملی هستند که باعث تشدید این نوع خوردگی میشوند، با کاهش سرعت گردش سیال حفاری و میزان مواد جامد گل، یا برقراری جریان لایه ای در سیال حفاری، سرعت این نوع خوردگی کاهش میباید.



عکس فوق خوردگی سایشی لوله های حفاری را نشان می دهد.

اغلب سیت و ولو پمپ های گل دچار خوردگی سایشی می شوند.



عکس فوق خوردگی سایشی در سیت پمپ گل را نشان می دهد.

HYDROGEN EMBRITTLEMENT

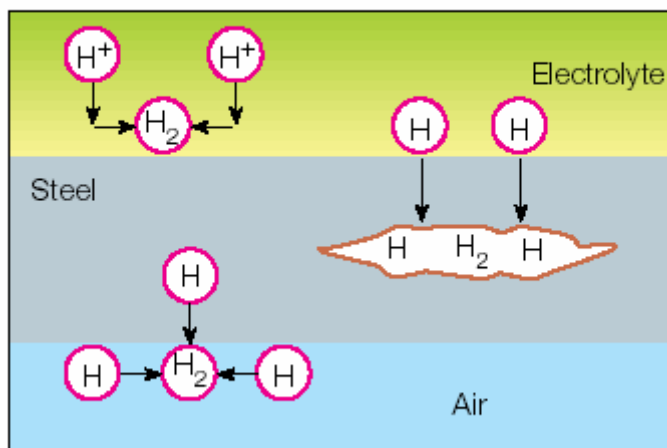
شکنندگی هیدروژنی

بعضی از فلزات در صورتیکه در شرایط مناسبی با هیدروژن تماس حاصل نمایند، ترد و شکننده میشوند، که به آن شکنندگی هیدروژنی گویند. هر چه استحکام و سختی فولادها بیشتر باشد، آمادگی بیشتری به شکنندگی هیدروژنی دارند، گفته شده است فولادهایی که سختی آنها زیر 23 HRC است، دچار شکنندگی هیدروژنی نمی شوند. فولادهایی که سختی آنها بین 23-26 HRC است، استعداد ایجاد شکنندگی هیدروژنی را دارند و فولادهایی که سختی آنها بیش از 26 HRC است، در صورتیکه در مجاورت هیدروژن قرار گیرند، صد در صد ترد و شکننده میشوند. فولاد N-80 و لوله هایی که از فولاد های کلاس پایین ساخته شده اند مستعد شکنندگی هیدروژنی نیستند، فولادهای P110 و P105 و فولاد های کلاس بالا مستعد شکنندگی هیدروژنی هستند.

هیدروژن به صورت اتمی میتواند در فولاد ها نفوذ کند، ولی هیدروژن مولکولی این امکان را ندارد، بر اساس یک تئوری، هیدروژن اتمی درون فولاد به هیدروژن مولکولی تبدیل شده و

افزایش حجم ناشی از این واکنش باعث ایجاد ترک و افزایش سختی فولادهای دانه ریز و نرم می شود، به آن فرایند شکنندگی هیدروژن HYDROGEN EMBRITTLEMENT گویند.

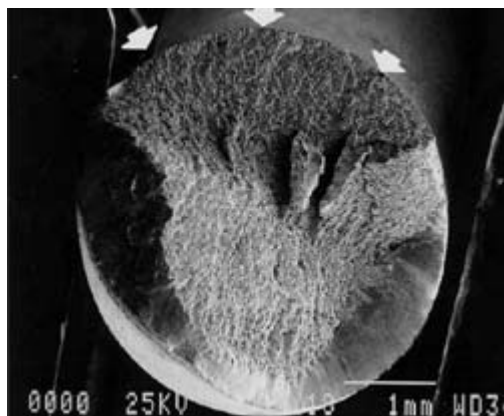
Hydrogen Embrittlement



تصویر فوق مکانیزم ایجاد شکنندگی هیدروژنی را نشان می دهد.

هر اسیدی میتواند عامل تولید اتم هیدروژن مورد نیاز برای ایجاد شکنندگی هیدروژنی باشد. بعضی از تئوریها اعتقاد دارند، اثر یون هیدروژن H^+ در نهایت مشابه اتم H هیدروژن است. برای مثال هیدروژن سولفور H_2S با آهن لوله های فولادی ترکیب شده و تولید سولفید آهن FeS میکند و دو یون هیدروژن برای نفوذ در لوله ها نیز آزاد میکند. دی اکسید کربن CO_2 در آب تولید اسید کربنیک H_2CO_3 میکند. این نیز میتواند اثر مشابهی روی فولادها داشته باشد. در این واکنش کربنات آهن و دو یون هیدروژن تولید می شود.

اخیراً مطالب زیادی در مورد خوردگی نفت و گاز در لوله ها نوشته شده است. بخصوص با افزایش روز افزون مصرف مواد با استحکام بالا، توجه به این مسئله نیز افزایش یافته است. برای رسیدن به استحکام مورد نیاز در مواد، انعطاف پذیری فدا می شود. نتیجتاً، مواد تولید شده با ساختاری دانه ریز، شکننده و بسیار مستعد شکست میباشند. دلایل شکست زیاد است. بعضی از این علتها توسط خوردگی تشدید میشوند.



عکس فوق مقطع شکست یک فنر ناشی از شکنندگی هیدروژنی را نشان می دهد.

COMMON METHODS OF MEASURE AND REPORTING

CORROSION RATE:

روشهای معمول برای اندازه گیری و گزارش سرعت خوردگی:

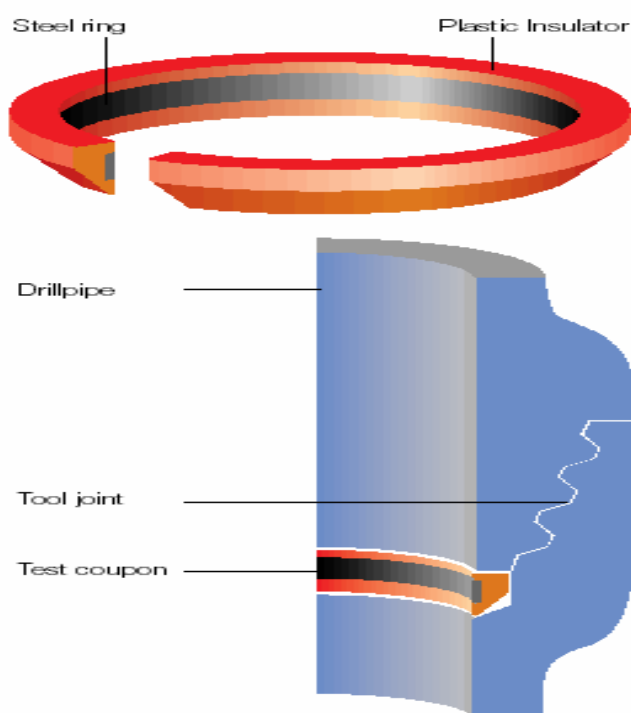
اندازه گیری کاهش وزن ناشی از خوردگی یکی از روشهای معمول گزارش دادن سرعت خوردگی است. رینگ مربوط به آزمایش خوردگی را درون لوله ها قرار داده و پس از مدتی آنرا بیرون آورده، وزن می کنند و از این طریق خوردگی سیال حفاری را بررسی می کنند. با مطالعه رینگ کوپن میتوان نوع، طبیعت و سرعت خوردگی را بدست آورد. این، امکان اتخاذ روش مناسب برای مبارزه با آنرا به ما میدهد. رینگ کوپن به گونه ای طراحی شده است که اطلاعاتی در مورد شکنندگی هیدروژنی و یا خوردگی تحت تنشی نیز به ما میدهد. کوپن ها ممکن است به شکل رینگ، ورق، میله و یا استوانه ای ساخته شوند. اغلب کوپن های رینگ مانند را در ناحیه فرورفتگی ابزار اتصال، قرار میدهند. اندازه آن به گونه ای است که در این ناحیه محکم شده و تحت تنش قرار نمی گیرند. قطر داخلی آن به اندازه قطر داخلی ابزار اتصال است، تا تولید جریان های آشفته در سیال حفاری ننماید، بهتر این است که رینگ ها از جنس ابزار اتصال ساخته شوند. بهترین محل قرار گرفتن رینگ کوپن ها در ساب محافظ کیلی (KELLY SAVER) و اولین لوله حفاری پس از لوله های وزنه می باشد. اطلاعات مربوط به رینگ کوپن در ضمیمه E فصل ۴ بشکل کاملی بیان شده است.

RING COUPON MONITORING

روش اندازه گیری توسط رینگ کوپن ها

PROCEDURE

الف) رینگ کوپن ها را حداقل به مدت ۴۰ ساعت باید درون لوله قرار داد. خوردگی در ساعات اول خیلی زیاد است ولی سرعت خوردگی پس از مدتی کاهش می یابد، لذا در صورتیکه مدت آزمایش کمتر از این باشد. اطلاعات بدست آمده با شرایط واقعی مطابقت ندارد. اغلب رینگ کوپن ها را برای پنج تا هفت روز درون لوله ها قرار میدهند، تا تصویر دقیقتری از وضعیت خوردگی را به دست آورند. مناسبترین مکان قرار دادن رینگ کوپن ها در اولین لوله حفاری ، بالای لوله های وزنه و در ساب محافظ کیلی (KELLY SAVER SUB) است. رینگ ها را میتوان برای مدت زمان عمر یک مته درون لوله های حفاری نگه داشت. حفره درون BOX لوله ها قبل از قرار دادن رینگ ها باید تمیز شود تا بستن لوله ها پس از قرار دادن رینگ ها دچار اشکال نشود. در مواردی سابهای مخصوصی برای قرار دادن رینگ کوپن ها ساخته می شود. قرار دادن رینگ کوپن ها میبایست توسط دستکش های خشک صورت پذیرد.



تصویر فوق شکل و محل قرار گرفتن رینگ کوپن در لوله های حفاری را نشان می دهد.

ب) فرم مخصوص رینگ کوپن ها را باید بطور دقیق پر نمود . این فرم شامل اطلاعاتی از قبیل محل قرار گرفتن رینگ ، جنس رینگ، خواص سیال حفاری ، نوع خوردگی، وزن اولیه رینگ، زمان و عمق لحظه قرار دادن رینگ، عمق در زمان بیرون آوردن رینگ، شماره رینگ ، رنگ محصولات خوردگی و هر اطلاعاتی که لازم باشد. مگ کوبار MAGCOBAR یک فرم استاندارد برای این منظور دارد.

ج) پس از گذشت مدت زمان آزمایش رینگ را از ساقه حفاری خارج کرده و سیال حفاری روی آنرا توسط پارچه ، تمیز می کنند. رینگ ها به لحاظ خوردگی و اثرات مکانیکی باید مورد بررسی قرار گیرند. در مواردی که خوردگی شدید باشد ، علت آن باید سریعاً مورد مطالعه قرار گرفته و راه حلی برای آن پیدا کنند. سپس آن را درون یک پلاستیک و یا کیسه قرار داده، درون پاکت پست قرار دهند .

سرعت خوردگی یکنواخت به روشهای مختلفی مورد اندازه گیری قرار می گیرد . اغلب

خوردگی به ازای، پوند بر فوت مربع در سال ($Lb/ft^2 / yr$) یا کیلوگرم بر متر مربع در سال ($kg / m^2 / yr$) و یا به ازای، هزارم اینچ miLs در سال (m p y) اندازه گیری می شود.

محدوده شدت و ضعف میزان خوردگی را به صورت زیر مشخص شده است.

سرعت خوردگی	$Lb/ft^2 / yr$	$Kg/m^2/yr$	m p y
کم (قابل قبول)	0-2	0-10	0-50
معمولی	2-4	10-20	50-100
زیاد	4-6	10-20	100-150
شدید	6+	30 +	150+

میزان خوردگی بر حسب کیلوگرم بر متر مربع در سال را توسط رابطه زیر میتوان حساب کرد.

$$\text{Kg/m}^2/\text{Yr} = ((\text{کاهش وزن بر حسب میلیگرم}) / (1,000,000)) \times ((10,000 / (\text{سطح به سانتیمتر}^2)) \times ((365) / (\text{روزهای آزمایش})))$$

یا

$$= (((\text{کاهش وزن بر حسب میلیگرم}) \times (87.60)) / ((\text{Cm}^2) \times (\text{Hr}))) = (((\text{کاهش وزن بر حسب میلیگرم}) \times (13.58)) / ((\text{in}^2) \times (\text{hr})))$$

مقدار خوردگی بر حسب پوند بر فوت مربع در سال را از رابطه زیر میتوان حساب کرد.

$$\text{Lb/ft}^2/\text{yr} = ((\text{کاهش وزن بر حسب میلیگرم}) / (453,600)) \times ((144) / (\text{in}^2)) \times ((365) \times (\text{روزهای آزمایش}))$$

$$= (((\text{کاهش وزن بر حسب میلیگرم}) \times (2.781)) / ((\text{in}^2) \times (\text{ساعات آزمایش})))$$

مقدار خوردگی بر حسب میلی اینچ در سال را میتوان از رابطه زیر بدست آورد.

$$\text{Mpy} = ((\text{کاهش وزن بر حسب میلیگرم}) / ((\text{g/Cm}^3) \times (\text{Cm}^3/\text{in}^3) \times (16.387) \times (\text{in}^2) \times (365) / (\text{تعدادروز آزمایش})))$$

در زیر تعدادی از تبدیل سرعتهای خوردگی برای رینگ های فولادی داده شده است.

$$\text{M p y} = 24.62 \times \text{Lb/ft}^2$$

$$\text{M p y} = 5.03 \times \text{kg/m}^2/\text{yr}$$

$$\text{Lb/ft}^2/\text{yr} = 0.20 \times \text{m p y}$$

$$\text{Kg/m}^2/\text{yr} = 4.90 \times \text{L b/ft/yr}$$

معمولاً سرعت خوردگی در رینگ پائینی بخاطر بالا بودن درجه حرارت بیشتر است. در صورتیکه سطح داخلی لوله های حفاری توسط پوششهای محافظ پوشیده باشند، سرعت خوردگی در رینگ ها بیشتر خواهد بود. چرا که خوردگی روی سطح رینگ ها متمرکز می شود. در خوردگی های موضعی اگر چه ممکن است کاهش وزن رینگ کم باشد، ولی عمق حفره های ایجاد شده ممکن است زیاد باشد. جهت سفارش رینگ کوپن ها ، لازم است مشخصات داده شده در زیر را همراه شماره قطعه ارسال فرمایند.

نوع و اندازه ابزار اتصال لوله های حفاری:

3.5 in X.H and F.H.

3.5 in I.F and X.H.

4 in F.H.

4 in I.F and 4.5 in X.H.

4 in F.H and X.H and I .F.

4.5 in I .F and 5 in X.H.

5 9/19 in or 5 1/5 in API REG and F.H and 6 5/8 API REG.

CAUSES OF CORROSION WHILE DRILLING علل خوردگی حین حفاری

گازهای اکسیژن ، دی اکسید کربن و هیدروژن سولفور به علت واکنشهایی که با فولادها دارند ، مسئله را میباشند. اکسیژن پائین ترین حلالیت را دارد . در مقابل ، حلالیت دی اکسید کربن و هیدروژن سولفور صد برابر بیشتر از اکسیژن می باشد.

آثار گازها با یکدیگر متفاوت است، اکسیژن را به سختی با اکسیژن سنج میتوان اندازه گرفت، ولی گاز هیدروژن سولفور و دی اکسید کربن سریعاً به واسطه تخریبی که در حالت قلیایی سیال حفاری ایجاد می کنند، قابل تشخیص میباشند . بعضی اوقات باعث اسیدی شدن سیال حفاری نیز میشوند . وجود اکسیژن در سیال حفاری باعث تشکیل اکسید آهن روی رینگ

ها می شود. ولی دی اکسیدکربن باعث تشکیل کربنات آهن و هیدروژن سولفور با باعث تشکیل سولفات آهن می شود.

فاکتورهای مؤثر در خوردگی (سرعت تخریب فلز)

FACTORS AFFECTING CORROSION (RATE OF METAL LOSS)

مهمترین عواملی که باعث افزایش سرعت خوردگی میشوند عبارتند از:

PH - ۱

با وجود اکسیژن در محیط، کاهش PH زیر حالت خنثی، سرعت خوردگی را شدیداً افزایش میدهد. افزایش PH بالای حالت خنثی خوردگی را به آهستگی کاهش میدهد. (مشاهده شده است که سرعت خوردگی در آلیاژهای آلومینیوم در PH بالاتر از 8.5 افزایش می باشد.)

TEMPERATURE

۲- درجه حرارت

سرعت بیشتر انواع خوردگی با افزایش درجه حرارت، افزایش مییابد.

VELOCITY

۳- سرعت

بطور کلی افزایش سرعت سیال ممکن است، باعث افزایش سرعت خوردگی شود. یکی از مناطقی که سرعت سیال حفاری بسیار بالاست فلوید ایند پمپ گل است، سرعت بالا به همراه فشار و ذرات سخت و ساینده ایجاد جت می کند که قادر است فولاد را بریده و باعث نشت سیال حفاری شود.



عکس فوق بریده شدن لبه نشیمنگاه کپ گسکت در یک ساکشن فلوید ایند پمپ گل را نشان می دهد.

HETROGENEITY

۴- ناهمگنی

اختلاف غلظت عناصر در ساختار میکروسکوپی لوله ها ممکن است ، باعث افزایش سرعت خوردگی شود . گاه خوردگی در اطراف ناحیه سطح مقطع لوله حاصل می شود . که به آن خوردگی حلقوی نیز گفته می شود ، علت آن غیریکنواختی دانه ها می باشد . این اشکال ، توسط انجام عملیات حرارتی مناسب قابل بر طرف نمودن می باشد.

HIGH STRESS

۵- تنش بیش از حد

نواحی که تحت تأثیر تنش بیشتری قرار دارند، سریعتر خورده میشوند . به همین علت لوله های حفاری که درست بالای لوله های وزنه قرار دارند، سریعتر خورده میشوند .

OXYGEN CORROSION

خوردگی اکسیژنی

خیلی از گلها امروزه بیش از گلهای سابق خورنده میباشند . برای کنترل میزان اکسیژن محلول در گل از مواد جاذب اکسیژن میبایست، استفاده نمود . در عمل مشاهده شده است که

اگر میزان اکسیژن محلول در گل بیش از یک PPM باشد، خوردگی حاصل می شود. در صورتیکه CO_2 و H_2S در گل موجود باشد، وجود کمتر از پنج قسمت اکسیژن در بیلیون باعث افزایش سریع سرعت خوردگی می شود.

کاهش PH گل و افزایش هدایت الکتریکی آن باعث افزایش سرعت خوردگی می شود. اکسیژن از راههای مختلفی وارد سیستم گل می شود که به عبارت زیر میباشند.

(۱) الک لرزان

(۲) تفنگهای سطحی

(۳) هپر

(۴) مکش پمپهای گریز از مرکز

در نتیجه اغلب، گل حین ورود به پمپ، از اکسیژن اشباع شده است. لذا در لوله های حفاری، لوله های جداری و پمپ گل، خوردگی اکسیژنی حاصل می شود. این نوع خوردگی در نواحی اتفاق میافتد که سطح فلز توسط گل و یا لاستیکهای محافظ پوشیده شده باشد. در صورتیکه لوله های حفاری بخوبی از گل پاک نشده باشند، در ناحیه آئی که گل به سطح لوله چسبیده، یک پیل غلظتی تشکیل می شود، این باعث ایجاد جریان خوردگی می شود.

CORROSION CELL

پیل خوردگی

به مجموعه کاتد، آند و الکترولیت پیل خوردگی گویند. میزان جریان عبوری از پیل خوردگی مستقیماً به میزان فلز از دست رفته (خورده شده) بستگی دارد. مقدار جریان لازم جهت از دست رفتن فلز در سال خیلی کم است.

CATHODIC DEPOLARIZATION

دی پولاریزاسیون کاتد

در الکترولیت‌های اسیدی ، واکنشهای کاتدیک همراه با آزاد کردن هیدروژن به صورت گازی میباشند، هیدروژن آزاد شده روی سطح کاتد نشست و باعث ایجاد یک لایه عایق بین الکترولیت و سطح فلز می شود . این باعث کاهش جریان خوردگی می شود.



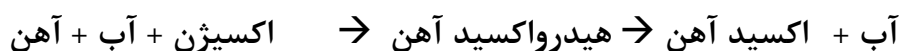
به فرایند فوق پولاریزاسیون گویند. وجود اکسیژن در الکترولیت باعث شده تا هیدروژن آزاد شده در سطح کاتد با اکسیژن ترکیب شده و تولید آب کند. این باعث از بین رفتن لایه عایق گاز H_2 در سطح کاتد شده و مجدداً، جریان خوردگی را برقرار میسازد.



در محلولهای خنثی و یا قلیایی نیز اکسیژن نقش دی پولاریزاسیون را دارد. یعنی باعث از بین رفتن لایه هیدروژن تشکیل شده در سطح کاتد می شود. اکسیژن با مولکول آب ترکیب شده و تولید یون هیدرواکسید میکند. این باعث افزایش جریان خوردگی می شود.



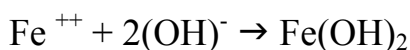
واکنش خوردگی آهن در آب با وجود اکسیژن را به صورت زیر میتوان نوشت.



واکنشهای مرحله به مرحله به عبارت زیر می باشد.



(3) ترکیب هیدرواکسید با یون آهن و تولید هیدرواکسید آهن که سطح کاتد را می پوشاند.



این فرایند تا زمانیکه اکسیژن در الکترولیت وجود دارد و یا سطح کاتد توسط یک لایه هیدرواکسید آهن پوشیده شود، ادامه پیدا میکند. مصرف شدن الکترونهای تولید شده در مرحله ۲ روی سطح کاتد، مانع پولاریزه شدن رسوبات هیدرواکسید آهن، روی کاتد می شود.

راه درمان خوردگی اکسیژنی جلوگیری از تشکیل پیل خوردگی می باشد. بدین لحاظ باید حتی المقدور لوله را تمیز نگه داشت و یا نسبت به انجام امورات زیر اقدام نمود.

(۱) حذف اکسیژن موجود در سیال حفاری از طریق استفاده از مواد جاذب اکسیژن.

(۲) پوشاندن سطح لوله ها توسط ممانعت کننده ها برای جلوگیری از تماس الکترولیت با سطح لوله ها.

فاکتورهای مؤثر در خوردگی اکسیژنی FACTORS AFFECTING O₂ CORROSION

فاکتورهای مؤثر در خوردگی اکسیژنی، حلالیت اکسیژن (O₂) و PH محیط میباشند. بطور کلی میتوان گفت هرچه آب سردتر باشد، حلالیت اکسیژن در آن بیشتر است. برای مثال حلالیت O₂ در آب صفر درجه سانتیگراد (32F) برابر (14.6ppm) یا (14.6 mg/L) است. ولی حلالیت O₂ در درجه حرارت 86F (25 C) برابر (7.8 mg/L) یا (7.8ppm) می باشد. بنابر یک شبیه سازی دینامیکی سیستم حفاری در آزمایشگاه مشخص شده است که با افزایش درجه حرارت در اعماق چاه، غلظت اکسیژن محلول در سیال کاهش پیدا نمیکند. چرا که اکسیژن امکان خارج شدن از سیال حفاری و وارد شدن به اتمسفر را ندارد. لذا در زمستان که هوا سرد است و حلالیت اکسیژن زیاد است، به طور طبیعی سرعت خوردگی افزایش می یابد. خوردگی اکسیژنی در هر PH قلیایی اتفاق می افتد. بطور کلی سرعت خوردگی در PH بالا کاهش می یابد. آزمایشات نشان داده اند که، حلالیت اکسیژن در محلولهای اشیاء از نمک کاهش می یابد. بدین لحاظ مواد جاذب اکسیژن و ممانعت کننده های کمتری در این گل ها مورد نیاز است.

RECOGNIZING AND MONITORING OXYGEN CORROSION

تعیین مقدار دقیق مورد نیاز، از طریق اندازه گیری مقدار سولفید در لوله برگشتی سیال حفاری (FLOW LINE) میسر است. مقدار سولفید در سیال حفاری در (FLOW LINE) نباید بیش از (50-150ppm) باشد.

LIMITATION OF THE OXYGEN محدودیت مواد جاذب اکسیژن

SCAVENGERS

در صورتیکه غلظت کلسیم بیش از 1000 mg/L باشد، اثر جاذب اکسیژن کم می شود. آزمایشات نشان داده اند اگر غلظت کلسیم زیاد باشد، میزان مصرف مواد جاذب اکسیژن افزایش می یابد و به لحاظ اقتصادی باید مورد بررسی قرار گیرد. این مواد را در سیال حفاری با هوا نباید به کار برد.

CHROMATE INHIBITORS ممانعت کننده های کرومیتی

هر گاه از مواد جاذب اکسیژن در سیال حفاری نتوان استفاده کرد، از مواد ممانعت کننده می توان استفاده نمود. ممانعت کننده های کرومیتی به صورت مایع و در بشکه های ۵۵ گالنی (0.21 m^3) موجود می باشند. تزریق ممانعت کننده ها به سیستم گردش حفاری شبیه مواد جاذب اکسیژن می باشد. وقتی که از ممانعت کننده های کرومیتی (CrO_4) استفاده می کنید، پیشنهاد می شود. حداقل 500 ppm (CrO_4) کرومیت جهت ممانعت از خوردگی در سیال باقی بماند. ساقه حفاری باید کاملاً توسط کرومیت پوشیده شود، در غیر این صورت در نواحی که پوشیده نشده است، خوردگی تشدید می شود. جهت تعیین میزان کرومیت در سیال حفاری از کیت مخصوص استفاده می نمایند. ممانعت کننده های کرومیتی را نباید با مواد جاذب اکسیژن سولفیدی به کار برد.

OXYGEN CORROSION PREVENTATIVE عوامل بازدارنده خوردگی اکسیژنی

MEASURES

هر عاملی که باعث کاهش اکسیژن محلول در سیال حفاری شود، میتواند اثر مثبتی در کاهش خوردگی سیال حفاری داشته باشد. بکار انداختن گاز زدا، قرار دادن تفنگ گل و ورودی گل از طریق هپر درون سیال حفاری، کنترل میزان PH سیال حفاری، استفاده از لوله های حفاری که توسط مواد پلاستیکی پوشش داده شده باشند، همچنین پوشاندن سطح لوله ها توسط ممانعت کننده های خوردگی از جمله عواملی هستند که باعث کاهش اکسیژن محلول در سیال حفاری میشوند. از این طریق میتوان خوردگی اکسیژن را کاهش داد. از ممانعت کننده های نوع آمونیمی که روی لوله های حفاری بکار برده می شود، استفاده نمود. تصمیم به استفاده از هر کدام آنها به نوع سیال موجود در چاه و نوع عملیات بستگی دارد. جهت اطلاع کامل از مشخصات کامل هر ممانعت کننده به اطلاعات فروشنده مراجعه فرمائید.

خوردگی ناشی از گاز دی اکسید کربن (خوردگی شیرین).

خوردگی ناشی از ورود گاز دی اکسید کربن از طریق سازند و یا هوا را خوردگی شیرین گویند. خوردگی ناشی از گاز هیدروژن سولفور را خوردگی ترش گویند. خوردگی ناشی از گاز دی اکسید کربن (CO₂) بصورت حفره های عمیق و یا ترکهای تیز در نواحی که احتمال خستگی فلز میرود ظاهر میشوند.

گاز دی اکسید کربن در مجاور رطوبت تشکیل اسید کربنیک میدهد.



اسید کربنیک تولیدی باعث کاهش PH سیال حفاری می شود. رابطه زیر واکنش

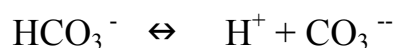
شیمیایی خوردگی فولاد توسط اسید کربنیک را نشان میدهد.



همانگونه که مشاهده می شود ، ترکیب گاز کربنیک با آب تولید اسید کربنیک می کند ، این اسید ضعیف مانند هر اسید دیگری قادر است فولاد را از بین برد. ولی قدرت تخریب آن به اندازه اکسیژن محلول در سیال حفاری نمی باشد. آثار مخرب هم زمان گاز دی اکسید کربن و اکسیژن میتواند بسیار مخربتر از عمل کرد هر کدام از آنها به تنهایی باشد.

بدلیل تعادل موجود بین $CO_2 / HCO_3^- / CO_3^{--}$ مقدار گاز دی اکسید کربن لازم در محیط قلیائی برای تولید خوردگی تابعی از PH است. کاهش PH باعث می شود که بی کربنات (HCO_3^-) به اسید کربنیک (H_2CO_3) تبدیل شود و خوردگی افزایش یابد. افزایش فشار باعث خارج شدن گاز دی اکسید کربن از سیال حفاری شده و این باعث افزایش PH می شود.

تأثیر مواد قلیائی بر روی دی اکسید کربن ALKINITY EFFECT ON CARBON DIOXIDE



بطور کلی افزایش فشار باعث افزایش حلالیت CO_2 در سیال حفاری می شود، افزایش درجه حرارت باعث کاهش حلالیت CO_2 می شود. کانیهای حل شدنی در مجاور CO_2 از کاهش PH آب جلوگیری می کنند، این روی سرعت خوردگی مؤثر است.

تعیین مقدار گاز دی اکسید کربن در گل های حفاری DETERMINATION OF CO_2 IN DRILLING MUD

دی اکسید موجود در گل را توسط معرفهای مختلف میتوان نشان داد.

(۱) کاهش در PH.

(۲) افزایش سرعت خوردگی.

(۳) افزایش مقدار RHEOLOGY.

(۴) افزایش مقدار CO_3^{--} , HCO_3^- .

(۵) تشکیل لایه های کربنات آهن ، کربنات منگنز و کربنات کلسیم.

(۶) تعیین آن توسط وسائل تشخیص گاز.

TREATMENT FOR CARBON DIOXIDE راه درمان گاز دی اکسید کربن

(۱) استفاده از گاز زدا که باعث کاهش گاز محلول در سیال حفاری می شود.

(۲) اضافه نمودن کاستیک سودا و یا آهک که باعث افزایش PH سیال حفاری می شود .

این دو طریق استاندارد درمان خوردگی ایجاد شده در اثر گاز دی اکسید کربن محلول

است . البته برای جلوگیری از رسوب آهک و افزایش اثر آن باید آهک را به آهستگی وارد

سیستم گردش گل حفاری نمود، پیشنهاد می شود که این درمانهای استاندارد همراه با مصرف

ممانعت کننده های تولیدی توسط شرکت های معتبر صورت گیرد.

SCALE S رسوبات

خوردگی به سیال حفاری بستگی دارد و تشکیل رسوبات را به صورت زیر میتوان خلاصه نمود:

۱- در سیال حفاری که گاز زدایی شده است ، سرعت خوردگی را PH تعیین می کند. با اسیدی

شدن گل و یا کاهش PH سرعت خوردگی افزایش می یابد.

۲- در سیال حفاری که کلسیم و CO_3 وجود ندارد ، سرعت خوردگی را میزان O_2 تعیین می

کند. بطور کلی هر چه میزان اکسیژن محلول در سیال بیشتر باشد، سرعت خوردگی بیشتر

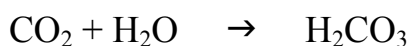
خواهد بود.

۳- در سیال حفاری که $\text{CO}_2 / \text{CO}_3$ وجود دارد و PH نیز پایین است . حالت اسیدی باعث حل

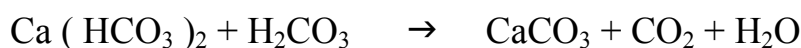
شدن رسوبات تشکیل شده می شود و سرعت خوردگی بالاست ، اگر PH بالا باشد ، سرعت

خوردگی پایین است و رسوبات تشکیل می شوند. در ناحیه زیر رسوبات ، پیل غلظتی خوردگی تشکیل می شود و باعث ایجاد خوردگی موضعی می شود.

حلالیت کربنات کلسیم CaCO_3 در آب کم است. با وجود CO_2 مقداری بی کربنات کلسیم $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ تشکیل می شود که حلالیت آن خیلی بیش از CaCO_3 است.



با افزایش درجه حرارت واکنش فوق معکوس شده و CO_2 آزاد می شود و CaCO_3 رسوب می کند.



تعادل شیمیایی واکنش فوق به مقدار $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ، کل نمک کلسیم ، کل مواد جامد و درجه حرارت بستگی دارد.

RECOGNIZING SCALE

تشخیص رسوبات

با وجود $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$ در محیط ، در صورتیکه مقدار کلسیم و PH بالا باشند ، احتمال تشکیل رسوبات زیاد است. این رسوبات مشخصاً، بر روی لوله های حفاری تشکیل می شوند. برای تشخیص رسوبات می توان از اسید آرسنیک استفاده کرد. کربنات آهن و منگنز در صورتیکه با محلولهای اسیدی تماس حاصل نمایند به آرامی قلیان می کنند و حبابهایی در سطح سیال آشکار می شود. سرعت قلیان کربنات کلسیم بیشتر است. برای تشخیص رسوبات کربنات کلسیم از رینگ های آزمایش خوردگی نیز می توان استفاده کرد.

TREATMENT FOR SCALE

راه درمان رسوبات (جلوگیری از تشکیل رسوبات)

فسفات آلی محلول در آب به صورت مؤثری قادر است که از رسوب لایه های فلزات قلیایی بر لوله ها و دیگر مواد بکار رفته در صنایع نفت جلوگیری نماید. این مواد در بشکه های ۵۵ گالنی (0.21 m^3) تهیه می شوند. میزان استفاده از آن باید به اندازه ای باشد که بتوانیم (5 -

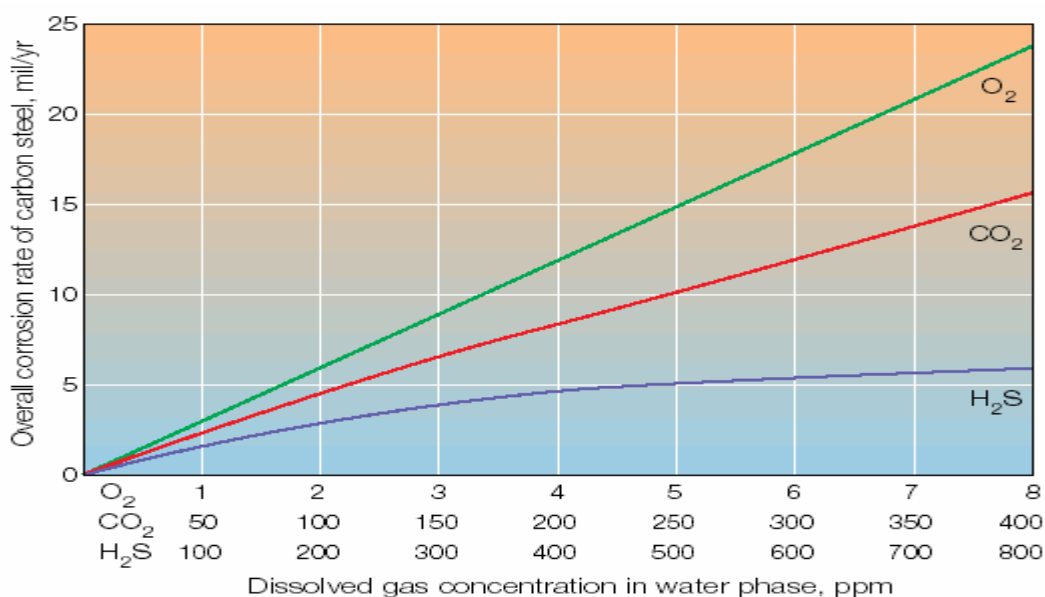
FLOW LINE) از فسفات PO_4 را همواره در مسیر برگشت گل (10 mg/L) 5 – 10 p pm داشته باشیم.

اندازه گیری میزان فسفات در گل توسط کیت های مخصوصی صورت می پذیرد. در صورتیکه میزان فسفات بیش از حد باشد باعث DEFLOCCULATION (کاهش حالت ژلاتینی) سیال حفاری می شود. مقدار مصرف معمول آن در روز در حدود (3 – 5) گالن یا (0.019 - 0.011) متر مکعب در روز است. این مواد را با جاذب اکسیژن و ممانعت کننده ها می توان به کار برد.

HYDROGEN SULFID (خوردگی ترش)

CORROSION

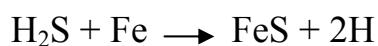
گاز هیدروژن سولفور اغلب از طریق سازند وارد سیال حفاری می شود. یکی دیگر از منابع تولید گاز هیدروژن سولفور فعالیت های میکرو ارگانیسم ها است. این گاز فقط در محیط مرطوب قادر به تولید خوردگی می باشد. وقتی که این گاز در مجاورت H_2O , CO_2 , O_2 قرار گیرد می تواند شدیداً تولید خوردگی نماید.



نمودار فوق مقایسه سرعت خوردگی فولاد کربنی در آب حاوی گاز های مختلف را نشان می دهد.

همانگونه که در تصویر بالا نشان داده شده است، سرعت خوردگی فولاد کربنی در آب حاوی اکسیژن محلول ۸۰ بار بیشتر از آب حاوی دی اکسید کربن و ۴۰۰ بار بیشتر از خوردگی آب حاوی هیدروژن سولفور می باشد.

واکنش شیمیایی خوردگی توسط گاز هیدروژن سولفور را می توان به صورت زیر نوشت:



هیدروژن + رسوب سولفید آهن → آهن + هیدروژن سولفور

این واکنش حفره های عمیقی در آهن و فولاد تولید می کند. در اثر خوردگی ناشی از

هیدروژن سولفور ، هیدروژن اتمی تولید می شود. هیدروژن تولید شده وارد فولاد شده و به

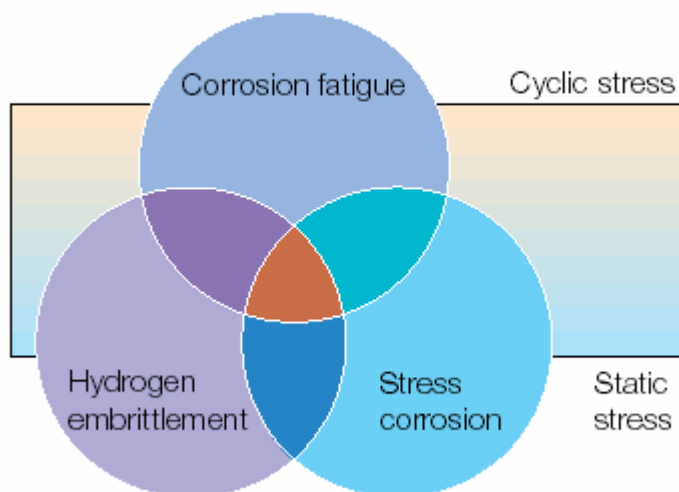
فولاد خاصیت شکنندگی هیدروژنی (HYDROGEN EMBRITTLMENT)

می دهد. همچنین هیدروژن اتمی درون فولاد به هیدروژن مولکولی تبدیل شده و انبساط حجم

ناشی از آن باعث طبله کردن فولادهای انعطاف پذیر و ترک خوردن فولادها (شکننده) یا

استحکام بالا می شود.

Sulfide Stress Corrosion



تصویر فوق : در صورتیکه تنش به صورت دینامیکی باشد، خوردگی خستگی و

در صورتیکه استاتیکی و کششی باشد، شکنندگی هیدروژنی و خوردگی تنشی تولید می کند.

فولادهایی که تنش تسلیم آنها کمتر از 90.000 PSI باشد، در مقابل شکنندگی هیدروژنی مصونیت دارند. فولادهایی که سختی آنها کمتر از HRC 22 می باشد، نیز در مقابل ترک خوردگی ناشی از هیدروژن سولفور مصونیت دارند. سولفید آهن سیاه رنگ می باشد. در محلهایی که این رسوب تشکیل شود، خوردگی موضعی تشدید شده و باعث حفره دار شدن فولاد در ناحیه رسوبات خواهد شد. افزایش غلظت هیدروژن سولفور باعث کاهش عمر فولاد می گردد. کاهش غلظت هیدروژن سولفور زیر 0.1 ppm (0.1 mg/L) تأثیر ناچیزی بر عمر فولاد دارد. تمایل به ترک دار شدن فولاد در محیط هیدروژن سولفور در PH بالای 10 شدیداً کاهش می یابد. تحقیقات اخیر نشان داده است، که استعداد فولاد به ترک دار شدن در مجاور هیدروژن سولفور، با افزایش درجه حرارت تا دمای (66 C) ، (150 F) کاهش می یابد. تصور بر این است که افزایش درجه حرارت باعث افزایش امکان حرکت هیدروژن اتمی محبوس شده در شبکه کریستالی فولاد می شود، این، باعث خارج شدن هیدروژن از فولاد می گردد. در حفاری سازندهایی که حاوی H_2S است، باید دائماً لوله ها را تحت نظر داشت و گشتاور اعمالی به ابزار اتصال را مورد توجه قرار داد. جلوگیری از ایجاد ترکهای سطحی، در ناحیه لوله گیر و آچارگیر و همچنین بررسی پوشش درون لوله ها باید مد نظر قرار گیرد. بدین لحاظ لوله ها باید مستمراً مورد بازرسی قرار گیرند.

فاکتورهای مؤثر در خوردگی گاز هیدروژن سولفور

در موارد فراوانی مشاهده شده است که لوله های جداری و حفاری در تماس با گاز هیدروژن سولفور دچار شکست ترد شده اند. اغلب شکستها در ناحیه ابزار اتصال بوده که در حین حفاری و یا باز کردن لوله ها مشاهده شده است. نتایج تحقیقات در این موارد نشان داده است که :

1- دو مکانیزه شکست مجزا ولی در ارتباط با یکدیگر به عبارت زیر عمل می کنند.

الف) خوردگی تحت تنشی که هر نوع خوردگی می تواند عامل آن باشد.

ب) شکنندگی هیدروژنی تحت تنشی که بدون ایجاد مقدار قابل توجهی خوردگی تولید می شود.

۲- الکترولیت: الکترولیت منبع تولید هیدروژن سولفور است. این گاز لازم است که در یک الکترولیت حل شود و امکان تجزیه به یون هیدروژن را پیدا کند. لذا در محیط های خشک و در درجه حرارت های بالا که آب ، امکان میعان را ندارد. شکنندگی هیدروژنی ایجاد نمی شود. ساقه حفاری که در اعماق چاه قرار دارد کمتر دچار خوردگی می شود، ولی قسمتی از لوله ها که در ناحیه دهانه چاه قرار دارند و دمای آنها حدود 90 F است، بیشتر خورده شده و آمادگی شکنندگی هیدروژنی تحت تنشی را دارند.

۳- تنش: قطعات تحت تأثیر تنش کششی بیش از حد مجاز دچار این نوع شکست می شوند حد مجاز آنرا جنس قطعه، عملیات حرارتی و محیط تعیین می کند.

۴- متالورژی: فولادهای کم آلیاژی چون 4140 و N-80 که برای ساخت ابزار اتصال لوله های حفاری و لوله های وزنه بکار گرفته می شوند استعداد شکننده شدن در اثر تماس با هیدروژن سولفور را دارند.

عملیات حرارتی صورت پذیرفته روی این فولادها پس از ساخت تأثیر فراوانی در کاهش استعداد این فولادها به شکنندگی هیدروژنی دارد. در صورتیکه دمای گرم کردن این فولادها در مرحله آخر بیش از 1150 F باشد. به نظر می رسد که آمادگی این فولاد به ایجاد شکنندگی در اثر تماس با هیدروژن سولفور کاهش می یابد. در مورد مکانیزم عملکرد هیدروژن سولفور در تولید شکنندگی توافق قطعی وجود ندارد. ولی یک نظریه این است که، در صورتیکه درجه حرارت گرم کردن فولاد در مرحله آخر زیر 1150 F باشد، مقداری فاز شکننده مارتنسایت در قطعه باقی می ماند که این باعث تولید تنشهای داخلی می شود ، وقتی که قطعه در سرویس قرار می گیرد ، تنش اعمالی با تنش باقی مانده در اطراف فاز مارتنسایت جمع شده و

به شکل موضعی ، تنش ایجاد شده بیش از حد مجاز می شود و شکنندگی ترد را ناشی می شود. در صورتیکه تنش اعمالی بیش از حد مجاز باشد ، حتی اگر دمای گرم کردن بیش از 1150 F باشد، شکست ترد در قطعه ایجاد می شود.

فولادهای N-80 و 4140 که در دمای 1150 F تنش زدایی شده اند دارای تنش تسلیم 75- 90KSI و سختی 22 – 25 HRC می باشند. این برای کارکرد در محیط هیدروژن سولفور مناسب نیست. یکی دیگر از آزمایشاتی که اهمیت عملیات حرارتی و درجه حرارت گرم کردن فولادهای کم آلیاژی را در مقابل شکنندگی هیدروژنی نشان میدهد ، ساختار میکروسکوپی آلیاژ است. در صورتیکه سختی و استحکام یک فولاد کم آلیاژی برای کارکرد در محیط هیدروژن سولفور مناسب باشد ولی ساختار میکروسکوپی ایجاد شده در اثر عملیات حرارتی متفاوت باشد، تمایل به ایجاد شکنندگی هیدروژنی این آلیاژها نیز متفاوت خواهد بود. ساختار میکروسکوپی (TEMPER BAINITE) از آمادگی کمتری برای ایجاد شکنندگی هیدروژن برخوردار است.

EFFECT OF TIME

۵) تأثیر زمان

یک نمونه را برای مدت هفت ساعت در محیط حاوی هیدروژن در شرایطی که یک تنش کششی نیز به آن اعمال می شد، قرار دادند. سپس این نمونه را به مدت ۱۶ ساعت در درجه حرارت اطاق نگه داشتند در انتها برای مدت ۴ ساعت دیگر در درجه حرارت ۳۵۰ F قرار دادند. پس از این سیکل، قطعه تحت آزمایش کشش قرار گرفت، نمونه تحت تنش حداکثر مورد انتظار شکست. نمونه دیگری که فقط تحت تنش قرار داشت، ولی هیدروژنی در محیط وارد نکرده بودند تحت تنش ۱۲۵ KSI و نمونه ایی که فقط در محیط حاوی هیدروژن قرار گرفته بود ولی تنشی به آن اعمال نشده بود، تحت تنش ۱۲۱ KSI شکسته شد. ولی همین نمونه پس از عملیات

حرارتی فوق تحت تنش ۱۲۴ KSI شکسته شد. از آزمایشات فوق نتیجه می شود که وجود هیدروژن در محیط، تنش لازم برای شکست نمونه را تا ۱۵ درصد کاهش میدهد.

(۶) وجود ترکهای سطحی.

وجود ترکهای سطحی باعث افزایش احتمال ایجاد شکنندگی هیدروژنی می شود. تمرکز تنشی ایجاد شده در نوک ترکهای سطحی باعث شکست موضعی و تضعیف نمونه می شود. لذا قطعه، تحت تنشهای اعمالی زیر حد مجاز، خواهد شکست. کار سرد بر روی قطعه باعث افزایش آمادگی نمونه به ایجاد شکنندگی هیدروژنی می شود.

(۷) میزان هیدروژن سولفورده لازم برای ایجاد شکنندگی هیدروژنی.

میزان هیدروژن سولفورده لازم برای ایجاد شکنندگی هیدروژنی در حد (13 Ppm - 2-) می باشد. آزمایشات اخیر نشان داد، غلظت هیدروژن سولفورده در صورتیکه در حد (5- Ppm) باشد برای فولادهای (N - 80) با سختی کمتر از HRC 26 قابل اغماض است، ولی برای فولادهای سخت تر مانند (P - 110) قابل قبول نمی باشد.

(۸) یک سلاح جدید

برای لوله های حفاری که قرار است ، در شرایط هیدروژن سولفورده کار کنند، یک فولاد جدید توسط استاندارد API معرفی شده است ، که سلاحی مؤثر در مبارزه با خطر شکنندگی هیدروژنی توسط این گاز می باشد.

خواص این فولاد که بنام (C- 75) است به عبارت زیر است :

(۱) سیکل عملیات حرارتی آن به صورت سرد کردن در هوا و سپس حرارت دادن تا دمای 1150F می باشد.

(۲) هیچگونه کار سردی پس از عملیات حرارتی روی آن صورت نمی پذیرد.

(۳) حد اقل تنش تسلیم آن 75 KSI است.

۴) حداکثر تنش تسلیم آن 90 KSI است.

۵) حداقل اضافه طول آن قبل از شکست ۱۶ درصد است.

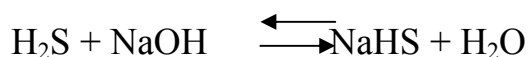
H₂S TOXICITY

مسمومیت گاز هیدروژن سولفور:

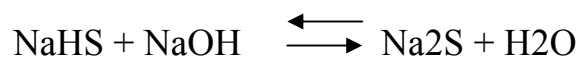
گاز هیدروژن سولفور یک گاز سمی و کشنده است. حد مجاز غلظت گاز هیدروژن سولفور که انسان میتواند در آن روزها کار کند (mg / L) 10 ppm است. در صورتیکه غلظت گاز در حد 150 Ppm باشد، باعث تحریک در ناحیه چشم می شود. برای تنفس باید از کپسول اکسیژن استفاده نمود، در غیر اینصورت از بین رفتن عصب شامه را نیز باعث می شود. به ترتیبی که انسان قادر به احساس بو نیست. اگر غلظت گاز هیدروژن سولفور به 800- 1000ppm افزایش یابد، انسان در مدت دو دقیقه از بین خواهد رفت.

در غلظت های کم، بوی هیدروژن سولفور شبیه تخم مرغ گندیده است. از آنجا که استنشام گاز باعث از بین رفتن عصب بویائی می شود. برای تشخیص این گاز در محیط نباید از حس بویائی استفاده نمود. این گاز قابل اشتعال است و در صورتیکه با هوا مخلوط شود احتمال انفجار دارد، از هوا سنگینتر است و در سطح پائین جمع می شود. گاز هیدروژن سولفور در سیال حفاری محلول است. حلالیت آن در آب تا فشار حدود (4-5) اتمسفر متناسب با فشار است. ولی در فشارهای بالا مانند فشار ستون سیال حفاری مایع می شود و رابطه ساده ای بین غلظت گاز محلول در سیال حفاری و فشار وجود ندارد. در دمای محیط اطلاعات نشان می دهد که حلالیت گاز هیدروژن سولفور در آب یک مولال یا (3400 Ppm) یا (3400 mg / L) می باشد. تجزیه شیمیایی سیال حفاری نشان داد که غلظت گاز هیدروژن سولفور در سیال حفاری بیش از مقادیر داده شده است. زیرا با کاستیک واکنش انجام داده و تولید نمک قلیائی می دهد. سولفات سدیم و آب طبق واکنش زیر ترکیب می شوند:

$$PH = 7.0$$



PH = 9.5



هر چه PH بیشتر شود درصد هیدروژن سولفور ه محلول به صورت گازی در سیال حفاری کاهش می یابد. جدول زیر غلظت هیدروژن سولفور ه در PH های مختلف را نشان می دهد. فاکتور داده شده ضربی است که باید در نتیجه آزمایش غلظت سولفید HACH ضرب شود. تا مقدار واقعی H_2S را بدست آید .

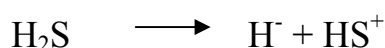
PH	فاکتور H_2S
۵	۰,۹۸
۶	۰,۸۳
۶,۵	۰,۶۱
۷	۰,۳۳
۷,۵	۰,۱۴
۸	۰,۰۴۸
۹	۰,۰۰۵
۱۰	۰,۰۰۰۵
۱۱	۰,۰۰۰۰۵

جدول فوق کمیت HACH برای اندازه گیری گاز H_2S در محیط را نشان می دهد.

میزان PH را باید پیش از اندازه گیری H_2S توسط کیت HACH اندازه گیری نمود، سپس H_2S اندازه گیری شده را در فاکتور داده شده جدول در هر PH ، ضرب کرد. حاصل مقدار دقیق H_2S محلول در سیال حفاری را نشان می دهد.

مثال: در صورتیکه $\text{PH} = 10$ باشد و مقدار H_2S اندازه گیری شده توسط آزمایش HACH برابر (100 Ppm) یا (100 mg / L) باشد.

مقدار H_2S محلول به صورت گازی در سیال حفاری برابر است با: $.05 = 100 * .0005$.
 $.05 \text{ mg / L}$ و PPm (9995 mg / L) (9995 PPm) دیگر بصورت سولفید محلول در سیال حفاری می باشد. در صورتیکه مقدار بدست آمده در فاکتور داده شده در هر PH ضرب نشود مقدار H_2S گزارش شده بر خلاف واقع خواهد بود. هیدروژن سولفور هیدروژن سولفور یک اسید ضعیف است. در محیط های اسیدی بصورت مولکول هیدروژن سولفور H_2S وجود دارد که برای سلامت انسان مضر است. وقتی که PH به سمت شرایط خنثی پیش می رود این مولکول به بی سولفید (HS^-) تبدیل می شود. در این شرایط احتمال خستگی ناشی از شکنندگی هیدروژنی افزایش پیدا می کند. هیدروژن آزاد شده در اثر واکنش زیر:



وارد فلز شده و باعث تضعیف ساختار فلز می شود. افزایش PH تا 9.5 باعث شده که رادیکالهای بی سولفید به آنیونهای سولفید (S^-) تبدیل شوند. در این شرایط کاتیونهای Na^+ , Ca^{++} می توانند با آن واکنش انجام دهند. این فرایند با کاهش PH برگشت پذیر است. تجمع سولفید یک خطر بالقوه است. در صورتیکه به علت وارد شدن مقداری CO_2 و یا گاز هیدروژن سولفور داخل گل ، PH کاهش پیدا کند، خطر تبدیل سولفید S^{--} به بی سولفید (HS^-) و یا حتی تولید گاز هیدروژن سولفور وجود دارد.

فرآیندهای شیمیایی هیدروژن سولفور خیلی پیچیده می باشند ، گاه ممکن است ترکیباتی پدید آید که اصلاً ربطی به استوکیومتری واکنش نداشته باشند. مهمترین مسئله ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که گاز هیدروژن سولفور در محیط قلیائی تولید سولفیدهای قلیائی می کند و اغلب بواسطه اینکه سدیم یک یون پایدار در محیط است ، سولفید سدیم تولید می شود. این روش مناسبی برای بی خطر کردن هیدروژن سولفور می باشد، ولی با این روش هیدروژن سولفور از محیط خارج نمی شود.

تشخیص یا تعیین هیدروژن سولفور هیدروژن سولفوره RECOGNIZING OR DETECTING HYDROGEN SULFID

به روشهای مختلفی می توان گاز H_2S را تشخیص داد. در صورتیکه گاز H_2S هیچگونه واکنشی با سیال حفاری انجام نداده باشد، وسایل مخصوصی وجود دارند، که میزان گاز در گل را اندازه گیری نمایند. این وسایل ترکیبات سولفید سدیم (Na_2S) را نشان نمی دهند. گاز H_2S باعث کاهش PH می شود. آزمایش سولفید (HACH) قادر است که سولفید ترکیب شده و گاز H_2S محبوس شده در گل را اندازه گیری نماید. رسوبات سولفید آهن به رنگ سیاه می باشند، در صورتیکه این رسوبات را در محلول اسید آرسنیک قرار دهیم به رنگ زرد در می آیند. این رنگ زرد، زرده تخم مرغی همان سولفید است.

راه درمان هیدروژن سولفور هیدروژن سولفوره TREATMENT FOR HYDROGEN SULFIDE

در صورتیکه گاز هیدروژن سولفور وارد سیال حفاری شده باشد و یا انتظار دارید که وارد شود، PH را باید بالای 10 نگه داشت. در صورت امکان از مواد جاذب سولفید به سیال حفاری اضافه نمائید. در صورتیکه گل پایه آبی باشد، ترجیحاً از کلسیم و یا آهک استفاده شود.

کربنات روی جز، مواد جاذب سولفید است که میتوان در گلهای پایه آبی مورد استفاده قرار گیرد. در صورتیکه از کربنات روی برای مبارزه با گاز H_2S استفاده شود، مقدار مورد مصرف نباید بیش از (5 Lb / bbL) یا (14 / 27 Kg / m³) باشد. جهت کنترل شرایط قلیائی گل به ازای هر (2/85kg/m³) یا (2.0 Lb / bbL) کربنات روی میباید (25 Lb / bbL) یا (71 Kg / m³) آهک اضافه شود. برای حذف هر (500 mg / L) یون سولفید حدود 2 Lb / bbL یا (2/ 85 Kg / m³) کربنات روی لازم است. جهت کنترل مسائل RHEOLOGY لازم است مقداری SPERSENE نیز اضافه شود، چرا که اگر مقدار کربنات روی بیش از (14 .27 Kg / m³) یا (5 Lb / bbL) شود. مسائل REHOLOGY پیش میاید. بخصوص در چاههای عمیق که

در درجه حرارت بیش از 121 C (250F) می باشد. لذا همواره خواص REHEOLOGICAL و قلیائیت گل بایستی تحت کنترل باشند.

مواد پاک کننده دیگر از قبیل کرمات روی ، IRONITE SPONGE (Fe_3O_4) ، اکسید روی ، کربنات مس نیز وجود دارند. تمام این مواد پاک کننده دارای محدودیت هایی هستند. IRONITE SPONGE در (PH 10) مناسب است. برای پیشگیری حداقل (5 Lb / bbL) از IRONITE SPONGE لازم است. مقدار IRONITE SPONGE در گل توسط IRONIT-MAGNETICAL TEST مشخص می شود. کربنات مس را نباید بعنوان پیشگیری به گل اضافه نمود و فقط زمانی به گل اضافه می شود که وجود یون سولفید در سیستم توسط اندازه گیری تأیید شود.

گل روغنی به عنوان یک محافظ و غلظت پیشنهادی برای درمان هیدروژن سولفور:

OIL MUD PROTECTION AND RECOMMENDED TREATMENT CONCENTRATION

۱- REHEOLOGY: عباراست از علم بررسی رفتار مواد از نظر تغییر شکل و سیالیت.

REHEOLOGY: THE SCIENCE THAT DEALS WITH DEFORMATION AND FLOW OF MATTER .

API BULDLL : API FIRST EDITION DECEMBER 1965

۲- SPERSENE : مواد رقیق کننده سیال حفاری بمنظور افزایش قدرت حفاظت کنندگی

گل‌های روغنی در محیط هیدروژن سولفور پیشنهاد می شود که فاز روغنی را افزایش دهند. این امر باعث می شود که ساقه مته از انواع خوردگیها محافظت شود. افزایش فاز روغنی باعث شده که مقاومت الکتریکی سیال حفاری افزایش یابد و جریان خوردگی کاهش یابد. فاز روغنی سطح ساقه حفاری را نیز پوشانده و آنرا در مقابل محیط محافظت می کند. در گل‌های روغنی (ALKALINITY > 1 CC) بایستی نگه داشته شود ، و همواره از وسایل گاز زدا برای خارج

کردن گاز هیدروژن سولفور از سیال حفاری استفاده شود. با وجود رعایت موارد فوق لازم است وسائل ایمنی و موارد احتیاطی مناسبی در جهت مبارزه با این گاز را نیز رعایت نمود. از جمله استفاده از ماسک، کپسولهای اکسیژن، وسائل هشداردهنده، وسایلی مناسب برای اندازه گیری غلظت گاز هیدروژن سولفور در هوا، باد نما که جهت وزش باد را معلوم کند و دیگر آموزشهای لازم برای کارکنان دستگاه حفاری می باشد.

رابطه حد خستگی ساقه با محیط سیال حفاری DRILLING ENDURANCE LIMIT

تمام فلزات دارای حد خستگی میباشند. مهمترین فاکتور تعیین کننده حد خستگی ساقه حفاری محیط سیال حفاری می باشد. برای مثال اگر میله های همسانی از فولاد را در شرایط محیطی: (۱) هوای خشک، (۲) هوای مرطوب، (۳) آب انبار یا آب شور، تحت آزمایش خستگی قرار دهیم، مشاهده خواهیم کرد که حد تنش خستگی به نسبت کاهش مییابد. بنا براین قدرت خوردندگی محیط اثر بارزی بر حد خستگی فولادها دارد.

ساقه حفاری تحت تنشهای کششی، فشاری، پیچشی و خمشی قرار میگیرد. قدرت خوردندگی سیال حفاری نیز بعضاً مسئول مدت زمان کارکرد ساقه حفاری است. در صورتیکه قدرت خوردندگی سیال حفاری زیاد باشد، عمر مورد انتظار ساقه حفاری شدیداً کاهش مییابد. ساقه حفاری کلاً دچار دو نوع خوردگی می شود.

(۱) خوردگی سطحی (۲) شکنندگی هیدروژنی.

خوردگی سطحی یا به صورت یونیفرم و یا به صورت موضعی ظاهر می شود. در خوردگی یونیفرم کل سطح به صورت هم زمان مورد تهاجم قرار میگیرد. حال آنکه خوردگی موضعی یک ناحیه کوچک را مورد تهاجم قرار میدهد. خوردگی موضعی نوع بسیار مخرب خوردگی سطحی می باشد. در شرایط شدید این نوع خوردگی حفره های بسیار عمیقی در سطح فلز ایجاد میکند. یکی از معمولترین دلایل خوردگی موضعی پیل غلظتی می باشد. پیل

غلظتی زمانی تشکیل می شود که غلظت گازهای محلول در الکترولیت و یا غلظت یونهای موجود در یک ناحیه کاهش یابند. این اختلاف غلظت باعث ایجاد خوردگی موضعی در لوله های حفاری می شود. نواحی از لوله های حفاری که توسط لاستیکهای محافظ لوله (PIPE RUBBERS) ، دوب اضافی (EXCESSIVE PIPE DOBE) محصولات خوردگی (MILL SCALE) و یا موانع فیزیکی دیگر پوشیده شده باشند ، این اختلاف غلظت بوجود می آید.



عکس فوق سطح خارجی لوله های حفاری را نشان می دهد.

شکنندگی هیدروژنی زمانی اتفاق می افتد که هیدروژن اتمی وارد ساختار فلز شود. در نتیجه فلز شکننده و یا حد خستگی فلز کاهش مییابد. خوردگی ناشی از شکنندگی هیدروژنی در سطح ظاهر نمی شود و پیش از تخریب فلز قابل تشخیص نمی باشد. استحکام و سختی فلز بر روی تهاجم هیدروژنی اثر میگذارد. فولادهای با استحکام بالا آمادگی شکنندگی هیدروژنی بیشتری دارند، نسبت به فولادهای با استحکام پایین ، اطلاعات بدست آمده از مشاهدات عملی نشان داد که فولادهائی که حداقل استحکام کششی

آنها بیش از 75 KSI می باشد در مقابل شکنندگی بسیار آسیب پذیرترند. جدول داده شده فولادهای مصرفی در صنعت حفاری را نشان میدهد. فاکتور (SC) نماینده حد تنش مجاز فولاد در شرایط کارکرد لوله ها در محیط حاوی هیدروژن می باشد.

<u>API TUBING AND CASING</u>	<u>GRADE DRILL PIPE</u>	<u>MIN – YEILD STRENGHT PSI</u>	<u>SC FACTOR PSI</u>
G -55	D	55000	11.000-17000
N -80	E	80000	5000-14000
P -110	G	110000	5 000-9000

<u>MAX .DESIGN STRESS – PSI</u>	<u>REDUTION IN STREES LIMIT</u>
31000	45
36000	61
47000	81

پیشنهادهای عملی، برای کاهش شکست ناشی از محیط هیدروژن سولفور.

به منظور کاهش خطر شکستن لوله ها در محیط هیدروژن سولفور میتوان اقدامات زیر را انجام داد.

(۱) استفاده از آلیاژ C- 75 در ساخت لوله های حفاری ، خوشبختانه لوله های (کلاس E) که در هوا سرد شده اند و سپس گرم شده باشند، مقداری با مشخصات آلیاژ C – 75 که برای کارکرد در محیط هیدروژن سولفور مناسب اند، مطابقت دارند. لوله های کلاس D نیز مانند (لوله های G-55) آمادگی چندانی برای ایجاد این نوع شکنندگی را ندارند.

(۲) استفاده از لوله های حفاری که ابزار اتصال آنها به بدنه جوش (FLASH WELD) شده باشند، نه لوله های حفاری که ابزار اتصال آنها به بدنه پرس شده باشد. همچنین از لوله های وزنه یکپارچه استفاده شود.

۳) از حد پایین گشتاور لازم برای سفت کردن لوله ها استفاده شود، این باعث کاهش تنش بر روی نرینه ابزار اتصال می شود. از مواد روانکار استفاده نشود، چرا که باعث کاهش تنش کششی در جهت هوپ در اثر سفت کردن لوله ها می شود.

۴) به کارکنان دستگاه آموزش داده شود، در حین باز کردن لوله ها به ابزار اتصال ضربه وارد ننمایند چرا که اغلب شکستها در حین باز کردن لوله در اثر ضربه بوده است.

۵) مدت زمانی که ساقه حفاری را در حین آزمایشات سازنده (DST) DRILL STEM TEST میتوان در مجاورت گاز هیدروژن سولفور قرار داد، به عبارت زیر است :

در جریان 1000 MCFD یکساعت و اگر جریان بیش از این باشد یک چهارم ساعت است. لوله های حفاری باید در مقابل خوردگی ناشی از آب ضربه گیر محافظت شوند، تا خطر خوردگی کاهش یابد در صورتیکه آزمایش اجازه دهد، باید سریعاً گردش گل از طریق (PUMP OUT SUB)، پس از بستن ابزار آزمایش برقرار شود.

۶) در صورتیکه لوله ها متناوباً در شرایط هیدروژن سولفور بایستی کار کنند، پیشنهاد می شود، از لوله هایی که قسمت داخل آنها توسط HOLIDAY FREE COATING پوشیده شده است ، استفاده شود.

۷) مواد ممانعت کننده در هر لوله حین اتصال باید اضافه شود، در صورتیکه در محیط هیدروژن سولفور باشیم، لازم است این کار را در هر لوله بالا و لوله پائین انجام دهیم.

۸) از (DOUBLE ELEVATOR) برای جلوگیری از خراشهای ایجاد شده روی لوله در اثر بکار گیری سلیپس استفاده شود.

۹) بسیاری از شکست ها در ناحیه ابزار پیوند اتفاق می افتد، جنس این ابزار معمولاً AISI: 4137 یا 4140 می باشد، سختی این آلیاژها در اثر عملیات حرارتی به 30 - 37 HRC میرسد و تنش تسلیم آن 120- 135 KSI می باشد، جنس، سختی و استحکام لوله های وزنه نیز مانند ابزار

پیوند لوله های حفاری است، سازندگان می دانند شرایط کاری ابزار اتصال لوله های حفاری به گونه ایی نیست که بتوانند از آلیاژ C-75 که دارای سختی و استحکام تسلیم پایین تری است، استفاده کنند. لذا بمنظور کاهش شدت تنش در ابزار اتصال لوله های حفاری در شرایط کارکرد در چاه های حاوی هیدروژن سولفور، با افزایش قطر خارجی و کاهش قطر داخلی سطح مقطع فولاد را افزایش می دهند.

خواص متالورژیکی و شیمیایی لوله های حفاری.

براساس استاندارد API غلظت عناصر مضر موجود در فولادها مانند: فسفر P و گوگرد S در ترکیب شیمیایی لوله های حفاری نباید از ۰/۰۴ درصد بیشتر باشد، طبق استاندارد انجمن ملی مهندسان خوردگی آمریکا NACE غلظت عنصر کرم Cr در ترکیب شیمیایی لوله های حفاری که در شرایط محیط ترش (گاز هیدروژن سولفور H_2S) کار می کنند، نباید بیشتر از ۱٪ باشد، سختی فولاد نیز نباید بیشتر از 22 HRC باشد، نوع عملیات حرارتی Quench & temper و ساختار میکروسکوپی آن نیز Tempered Martensite تعیین شده است.

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، استاندارد ها حد اقل شرایط قابل قبول را مشخص می کنند، ولی در عمل مشاهده می شود، کارآیی لوله های استاندارد ساخته شده توسط سازندگان مختلف مساوی نیست. کارآیی حاصل خواص فیزیکی و شیمیایی لوله ها است، عمده خواصی که باعث افزایش کارآیی می شوند شامل موارد زیر است:

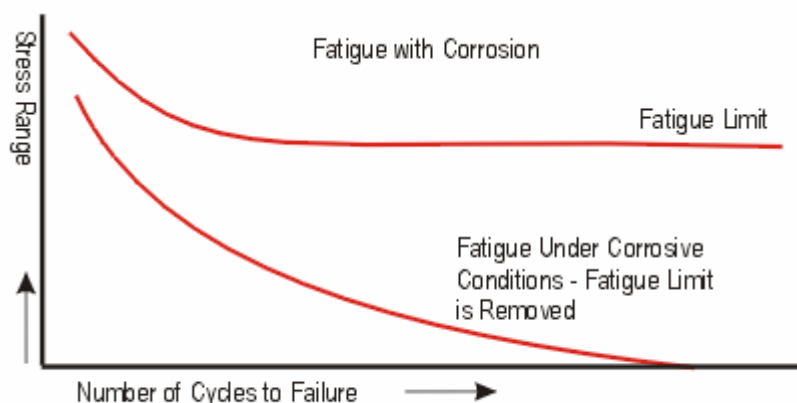
۱- انعطاف پذیری (FLEXIBILITY) و چقرمگی (TOUGHNESS) : منظور از انعطاف پذیری درصد افزایش طول و یا کاهش مقطع فلز در لحظه شکست در آزمایش کشش می باشد، چقرمگی، مقدار انرژی که ماده جذب میکند تا بشکند است، هرچه انعطاف پذیری و چقرمگی بیشتر باشد، مقاومت در برابر ضربه بیشتر است، بیشتر لوله های حفاری در اثر رشد ترک خستگی دچار سوراخ شدگی می شوند، هرچه انعطاف پذیری و چقرمگی فولاد بیشتر باشد،

مقاومت در برابر تشکیل ترک بیشتر و سرعت رشد ترک کمتر خواهد شد، علت شکست لوله در حفاری چاه های حاوی H_2S شکننده شدن فولاد بدلیل نفوذ اتم هیدروژن بدرون آن می باشد. از نظر متالورژیکی کاهش اندازه دانه های فولاد باعث افزایش انعطاف پذیری و چقرمگی می شود، برای کاهش اندازه دانه ها در فولاد میتوان عناصر آلیاژی مانند مولیبدن، و آنادیم، کوبالت و آلومنیوم را اضافه نمودند.

در عمل مشاهده شده است ساختار کریستالی TEMPERED MARTENSITE بالاترین مقاومت در برابر رشد ترک خستگی را دارد، برای ایجاد این ساختار، لازم است عملیات حرارتی QUENCH AND TEMPERED در فرایند تولید روی لوله ها صورت پذیرد. لذا سازندگان لوله ها با توجه به تجربه، دانش و امکانات موجود هر اقدامی که منجر به کاهش اندازه دانه های فولاد و تشکیل ساختار کریستالی فوق شود، انجام می دهند تا باعث افزایش کارایی و اصطلاحاً کیفیت شود. به همین دلایل حداقل انرژی لازم برای شکست در آزمایش چارپی طبق SQAIR که مجموعه توصیه های شرکت نفتی بین المللی SHELL می باشد J 42 معادل (31 ft-Lbs) در دمای آزمایش 20 C (-4 F) به شرطی که حتی یکی از نمونه ها دارای انرژی شکستی کمتر از 32 J (24 ft-Lbs) نباشد و حداکثر سختی نیز نباید بیشتر از 392 HV با وزنه 10 kg یا 40 HRC باشد.

۲- مقاومت در برابر خوردگی: لوله های حفاری دائماً در تماس با محیطهای خورنده می باشند، خوردگی اتسفریک، ناشی از شرایط آب و هوای مرطوب همواره با غلظت بالای گازهای CO_2, CO ناشی از پسماند سوخت موتورها و نمک موجود در اتسفر، آب و هوای دریایی و همچنین تماس با سیال حفاری و گازهای محلول در آن که از سازندهای حفاری تولید شده و وارد سیال میشوند شامل: O_2, H_2S, CO_2, CL_2 می باشد. این گازها در سیال و اتسفر، تولید ترکیبات اسیدی نموده که باعث خوردگی فلزات می شوند، لذا بمنظور افزایش مقاومت در برابر خوردگی لازم

است، تمهیدات لازم اندیشیده شود، همانگونه که قبلاً گفته شد، لوله های حفاری از داخل تحت پوشش مواد پلیمری و از بیرون تحت پوشش موادی از ترکیبات قیر قرار دارند، ولی این پوششها در عمل حفاظت کاملی در برابر عوامل محیطی ایجاد نمی کنند، چرا که اغلب، پوشش ها در اثر حفاری از سطح جدا شده و فلز مستقیماً در معرض محیط قرار می گیرد، لذا لازم است، فولاد بکار رفته در ساخت لوله ها از مقاومت مناسبی در برابر خوردگی برخوردار باشد، افزودن عناصر آلیاژی مانند مس CU در حد ۰/۲ درصد باعث ایجاد مقاومت مناسبی در برابر خوردگی، در سیال حفاری می شود.



نمودار فوق رابطه بین خستگی فولاد در محیط خورنده و هوا را نشان می دهد. همانگونه که در نمودار فوق مشاهده می شود، در محیط خورنده فولاد حد خستگی ندارد. لذا هر عاملی که باعث حفاظت سطح فلز در برابر محیط خورنده شود، باعث افزایش مقاومت فلز در برابر خستگی و افزایش عمر لوله ها حفاری خواهد شد.

۳- لوله های بکار رفته در حفاری محیط های ترش: براساس استاندارد API استفاده از لوله های حفاری با درجه های E-75, X-95, G-105, S-135 در حفاری چاه های حاوی گاز ترش با رعایت موارد زیر مجاز است.

- حفظ دانسیته سیال حفاری در حد اقل لازم برای حفاری سازند.

- خنثی سازی آثار مخرب گاز (H_2S) موجود در چاه با کنترل PH در حد ۱۰ و یا بالاتر.
 - استفاده از مواد شیمیایی جاذب سولفید SULFIDE CHEMICAL
 - SCAVENGERS و ممانعت کننده های خوردگی CORROSION INHIBITORS.
 - استفاده از سیال حفاری پایه روغنی OIL BASE.
- تعدادی از شرکتهای حفاری بر اساس آئین نامه های داخلی خود استفاده از لوله های حفاری گرید G-105 و بالاتر را برای حفاری چاه ها در محیط های ترش مجاز نمی دانند.
- در مواردی مانند حفاری زیر فشار تعادلی UBD که سیال حفاری تحت کنترل نیست و یا مواردی که غلظت گاز ترش بقدری بالاست که کنترل آن توسط سیال حفاری مشکل است، مواردی از SULFIED STRESS CRAKING (SSC) در لوله های حفاری استاندارد API مشاهده شده است، لذا در این موارد لازم است، از لوله های مخصوص ساخته شده جهت حفاری در محیط گاز ترش استفاده شود، این لوله ها همانگونه که در بالا اشاره شد با اضافه نمودن عناصر آلیاژی و عملیات حرارتی خاص انعطاف پذیری و مقاومت در برابر شکست آنها ارتقاء داده شده است. این نوع لوله ها می بایست براساس مشخصات بیان شده توسط INDUSTRY RECOMMENDED PRACTICE (IRP) ساخته شوند، این کمیته در سال ۱۹۹۹ در کانادا مرکب از سازندگان و شرکت های حفاری تشکیل شده است.
- همانگونه که اشاره شد، انجمن ملی مهندسان خوردگی آمریکا NACE در استاندارد شماره MR - O - 175 اقدام به تعریف محیط ترش نموده و خواص فیزیک و شیمیایی لوله های فولادی مجاز به استفاده در این محیط ها را بیان نموده است، ولی امروزه بدلیل افزایش عمق چاه ها، استفاده از لوله هایی با استحکام و سختی بالاتر از حداکثر تعیین شده در این استاندارد مورد نیاز است، همچنین بدلیل افزایش عمق چاهها و بهره گیری از تکنیک های حفاری زیر فشار تعادلی UBD امکان کنترل محیط سیال حفاری وجود ندارد، به همین دلایل لازم است، برای این

شرایط از لوله های خاصی استفاده کرد، که از نظر خواص متالورژیکی دارای مقاومت لازم در برابر پدیده SSC باشند،

عواملی مانند تنش کششی بالا، غلظت بالای گاز H_2S ، PH پایین سیال حفاری ، فشار هیدرو استاتیکی بالای محیط، غلظت بالای یون کلرید در سیال، دمای پایین محیط، سختی بالا و انعطاف پذیری پایین فلز باعث افزایش احتمال ایجاد SSC در لوله های حفاری می شوند.

در حال حاضر خوشبختانه سازندگان لوله های حفاری اقدام به ساخت لوله هایی نموده اند، که ضمن داشتن سختی و استحکام بالا، دارای انعطاف پذیری خوبی نیز هستند به همین خاطر این لوله ها برای استفاده در حفاری چاههایی با عمق بالا و محیط گاز ترش که امکان کنترل PH وجود ندارد، مناسب می باشند.

Description	Max p ¹	Max S ¹	Min Cr ¹	Min Mo ¹	Grain Size ²	Yield Strength Min/Max (ksi)	Ultimate Strength Min/Max (ksi)	SSC Threshold (% SMYS) ³	Max Hardness (HRC) ⁴	Min Charpy (ft-lbs) ⁵	Testing Frequency
The Drill Pipe Manufacturer Standard Sour Service Tube Properties											
Product A	0.015	0.008	1.000	0.400	5 or finer	95 / 110	105 / N/A	85	26	100 ⁶	1 / 200 / heat
Product B	0.015	0.008	1.000	0.400	5 or finer	105 / 120	115 / N/A	70	30	40 ⁶	1 / 200 / heat
Product C	0.015	0.010	0.800	0.240	N/A	105 / 120	115 / N/A	Not Tested	30	40 ⁶	1 / 200 / heat
ISPSM Tube Properties											
SS-75	0.015	0.010	N/A	N/A	6 or finer	75 / 95	95 / 115	85	22	50 ⁷	1 / 200 / heat
SS-95	0.015	0.010	0.900	0.300	6 or finer	95 / 110	105 / 130	85	25	59 ⁷	1 / 200 / heat
SS-105	0.015	0.010	0.900	0.300	6 or finer	105 / 120	115 / 140	85	27	59 ⁷	1 / 200 / heat
ISPSM Tool Joint Properties											
SU-75	0.015	0.007	N/A	N/A	8 or finer	75 / 90	90 / 110	95	20	74 ⁷	1 / 100 / heat
SU-95	0.015	0.008	0.900	0.400	8 or finer	95 / 110	105 / 130	95	24	81 ⁷	1 / 100 / heat
The Drill Pipe Manufacturer Tool Joint Properties											
API TJ ⁸	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	120 / N/A	140 / N/A	Not Tested	Min. 285 BHN	N/A	1 / heat / heat lot
GP API TJ	0.015	0.008	0.900	0.280	N/A	120 / N/A	140 / N/A	Not Tested	36	40 ⁶	1 / heat / heat lot
Product B TJ	0.015	0.008	0.900	0.280	N/A	105 / 120	115 / N/A	Not Tested	36	40 ⁶	1 / heat / heat lot
ISPSM Tool Joint Properties											
SS-110TJ	0.015	0.010	0.700	0.400	6 or finer	110 / 125	125 / 145	65	30	66 ⁶	1 / heat / heat lot
ISPSM Tool Joint Properties											
SU-105TJ	0.015	0.007	0.900	0.450	8 or finer	105 / 120	115 / 140	80	28	88 ⁶	1 / heat / heat lot
SU-110TJ	0.015	0.007	0.900	0.450	8 or finer	110 / 125	120 / 145	80	28	88 ⁶	1 / heat / heat lot
Footnotes											
1. Percent by weight											
2. Per ASTM E112-96											
3. SMYS = Specified Minimum Yield Strength; Per NACE TM0177 (latest revision), Method A using Test Solution A											
4. Maximum average of three single point readings											
5. Minimum average value of three LCVN readings.											
6. Full size specimens tested at room temperature.											
7. 3/4 size specimens tested at room temperature.											
8. No products on list use minimum API tool joint requirements. Shown only for comparison purposes.											

جدول فوق خواص مختلف لوله های تولید شده را نشان می دهد.

سه محصول A, B, C با هدف استفاده جهت حفاری در محیط های ترش تولید شده اند که هر کدام دارای مشخصات و موارد استفاده خاص می باشند.

محصول A:

این محصول از آلیاژ AISI: 4130 M ساخته شده است، عملیات حرارتی صورت پذیرفته QUENCH AND TEMPER بوده و استحکام کششی آن در حد 95-110 KSI کنترل شده است. ساختار کریستالی آن TEMPERED MARTENSITE و با دانه بندی بسیار ریز می باشد. بمنظور بررسی مقاومت در برابر SSC، این آلیاژ تحت آزمایش NACE-TMO-177 قرار گرفته است.

از سال 1993 تا کنون بالغ بر پنج میلیون فوت از این لوله ها تولید شده و در آمریکا، کانادا و خاورمیانه مورد استفاده قرار گرفته اند، از آن زمان تا کنون موردی از تخریب لوله ها در اثر SSC مشاهده نشده است.

محصول B:

بمنظور حفاری در چاههای عمیقتر نیاز به محصولاتی با استحکام بالاتر می باشد،

حفاری در روسیه توسط لوله های استاندارد API G-105 در چاههای حاوی گاز H₂S

با غلظت بالا، همراه با مشاهده موارد زیادی از شکست لوله ها بدلیل SSC بوده است.

محصول B با استحکام کشش 105-120 KSI و سختی 30 HRC می باشد، اگر چه

سختی آن بالاتر از حداکثر تعیین شده توسط استاندارد MR - O-175-NACE جهت فولاد،

برای کار کرد در محیط گاز ترش است، ولی مقاومت به SSC بالایی دارد.

از اواخر سال 1999 بالغ بر 365,000 فوت لوله 5" از این محصول ساخته شده است و تاکنون موردی از پدیده SSC گزارش نشده است. این محصول در حفاری چاههای حاوی H_2S با غلظت بالا در آمریکا، روسیه، کانادا و خلیج مکزیک بکار گرفته شده است.

محصول C :

جهت حفاری چاه های حاوی گاز H_2S که امکان کنترل سیال حفاری وجود ندارد، صنعت نیاز به محصولی داشت که علی رغم ارزانی، مقاومت لازم در برابر SSC را نیز داشته باشد. محصول C برای تامین این نیاز صنعت تولید شده است، تفاوت محصول C با B به عبارت زیر است:

- محصول C بر خلاف A و B مورد آزمایش NACE برای کنترل مقاومت در برابر محیط ترش قرار نمی گیرد، این امر باعث شده تا هزینه و زمان تولید کم شود.
- ترکیب شیمیایی لوله محصول C اندکی با محصول B متفاوت است، ولی عملیات حرارتی صورت پذیرفته روی آنها مشابه می باشد (QUENCH AND TEMPER) و استحکام کششی و سختی آنها به یک اندازه است.
- ابزار پیوند محصول C همان ابزار پیوند بکار رفته در لوله های ساخته شده طبق استاندارد API می باشد، در صورتیکه ابزار پیوند بکار رفته در محصول B مانند بدنه آن تحت کنترل ساخته و طبق استاندارد NACE آزمایش می شوند.

از سال 2000 که تولید این محصول آغاز شده تاکنون بیش از 361,000 فوت لوله تولید شده است، اما تاکنون هیچ موردی از وقوع SSC در آنها گزارش نشده است.

لوله های SS :

کمپته IRP مشخصات سه نوع لوله SS-105 , SS-95 , SS-75 را جهت استفاده در حفاری چاه های حاوی گازهای ترش پیشنهاد نموده است،

در بخش 1.8 تحت عنوان DRILL STRING DESIGN AND METALLURGY

نوشته شده است که مقاومت در برابر SSC لوله های حفاری سری SS که دارای مشخصات زیرند، بالا است.

- ترکیب شیمیایی فولاد از نظر عناصر مضر مانند سولفور و فسفر می بایست در حد داده شده در جدول فوق باشند.
 - عملیات حرارتی تحت کنترل دقیق صورت پذیرد.
 - آزمایش NACE جهت بدنه لوله ها تا 85% و برای ابزار پیوند تا 65% SPECIFIED MINIMUM YIELD STRENGTH (SMYS) صورت پذیرد.
 - حداقل در 90% ضخامت لوله و ابزار پیوند فاز TEMPERED MARTENSITE باشد.
 - انرژی جذب شده در آزمایش چارپی جهت بدنه، ابزار پیوند و ناحیه جوش ابزار پیوند به لوله، اندازه گیری شود.
 - اندازه دانه ها جهت بدنه، ابزار پیوند و ناحیه جوش ابزار پیوند به لوله می بایست، طبق استاندارد ASTM E 112-96 به اندازه ۶ و یا ریزتر باشند.
 - تنش کششی تسلیم و سختی جهت بدنه، ابزار پیوند و ناحیه جوش ابزار پیوند به لوله اندازه گیری شود.
- تفاوت اصلی لوله های SS با محصولات اولیه A,B,C در توجه به خواص محصولات SS به محل جوش لوله به ابزار پیوند می باشد، ابزار پیوند این لوله ها به روش ماشینکاری و از لوله های ضخیم، تراشیده می شوند، در صورتیکه لوله های دیگر به روش آهنگری ساخته می شوند. ابزار پیوند لوله های SS به نام TJ 110 SS می باشند، مزیت این ابزار پیوند این است که لوله ساخته شده و عملیات حرارتی شده طبق مشخصات خواسته شده خریداری و پس از آزمایش طبق استاندارد NACE مورد ماشین کاری قرار می گیرد.

لوله های SU :

برای حفاری به روش UBD در چاه های حاوی گاز H_2S کمیته IRP لوله های سری SU را پیشنهاد نموده است، لوله های این گروه شامل دو نوع لوله با بدنه (SU - 75, SU - 95) طبق مشخصات جدول فوق می باشند.

تفاوت لوله های سری SS با SU به عبارت زیرند:

- حد اقل سولفور مجاز کمتر و مولیبدن بیشتر است.
 - اندازه دانه ها از ۶ به ۸ تغییر یافته یعنی اندازه دانه ها ریز تر شده اند.
 - مرز تنش در آزمایش NACE TMO-177 از SMYS 85% به 95% افزایش یافته است.
 - حداقل انرژی جذب شده در آزمایش چارپی افزایش یافته است.
 - حداکثر سختی کاهش یافته است.
- با توجه به موارد فوق الذکر، براساس استانداردها و تجارب عملی موجود به چند نکته در طراحی رشته می بایست توجه نمود.
- هرچه عمق چاه بیشتر شود بمنظور کاهش وزن رشته لازم است، از لوله هایی با استحکام بالاتر استفاده نمود.
 - هرچه استحکام لوله افزایش یابد، سختی و شکنندگی لوله افزایش می یابد.
 - حفاری با لوله های استحکام بالا که سخت و شکننده هستند، احتمال شکست لوله در اثر SSC را افزایش می دهد.
- به منظور کنترل فرایند SSC لازم است.

- محیط سیال حفاری همانگونه که قبلاً اشاره شد طبق استاندارد API کنترل شود
- خواص آلیاژی لوله ها طبق مشخصات جدول فوق (پیشنهاد کمیته IRP) کنترل شود.

استفاده از لوله ها طبق مشخصات جدول فوق برای حفاری در چاه ها با عمق بالا و حفاری به روش UBD که حاوی گاز H_2S است، به دلیل عدم امکان کنترل سیال حفاری برای کنترل پدیده SSC لازم است.

BACTERIA

باکتریها

تحقیقات نشان داده است که میکرو ارگانیزم ها باعث افزایش خوردگی می شوند. در صورتیکه شرایط برای رشد میکرو ارگانیزمها فراهم باشد، سرعت خوردگی افزایش می یابد، شرایط مناسب برای رشد میکرو ارگانیزمها عبارت است از : رطوبت، کانی های اصلی، مواد آلی، یک منبع انرژی و PH مناسب ، میکرو ارگانیزمهایی مانند: (SULFATE REDUCER , DESULFORIBRIO) با وجود اکسیژن در محیط میتوانند تولید خوردگی سولفیدی نمایند. مصرف هیدروژن و تولید هیدروژن سولفور با باعث افزایش سرعت خوردگی می شود. در زمانیکه باکتریهای احیاء کننده سولفید در گل موجود باشند، لازم است محیط شیمیایی گل را عوض کنیم، پیشنهاد شده در این شرایط لازم است PH را تا ۱۰ بالا برده و از مواد ضد باکتری استفاده شود. لوله های حفاری نو داری یک پوشش داخلی از جنس پلی مری می باشند که باعث جلوگیری از خوردگی قسمت داخلی لوله حفاری می شود این پوشش در تمام طول عمر لوله سالم باقی می ماند چنانچه در اثر تزریق اسید از طریق لوله های حفاری یا ضربات مکانیکی و یا کیفیت پایین، پوشش از بدنه جدا شود، قسمت داخلی لوله خورده شده و سریعاً لوله حفاری سوراخ می شود.



عکس فوق مقطع یک لوله حفاری در ناحیه UPSET را نشان می دهد.

همچنین این لوله های دارای یک پوشش خارجی از ترکیبات قیری می باشند که شبیه رنگ روی سطح لوله های نو را پوشش داده است. پوشش خارجی لوله ها به عکس پوشش داخلی از دوام زیادی برخوردار نیست و با اولین چاهی که حفاری می کنند از روی سطح زوده شده و سطح بیرونی لوله ها در معرض محیط قرار می گیرد.



عکس فوق لوله های حفاری نو و کار کرده را در کنار هم را نشان می دهد.

لذا لازم است پس از حفاری سطح خارجی لوله ها تمیز شده و توسط یک پوشش مناسب در برابر محیط حفاظت شوند، معمولاً برای این منظور از مواد روغنی شبیه روغن و یا گازوئیل استفاده می شود.

فصل دوم

مقدمه

همانگونه که در فصل اول گفته شد، یکی از شرایط لازم جهت تشکیل پیل خوردگی و جود سیال هادی جریان الکتریسیته (الکترولیت) است، هر چه مقاومت الکتریکی الکترولیت کمتر باشد، سرعت خوردگی افزایش پیدا می کند. مقاومت الکتریکی الکترولیت به غلظت یونها، تحرک یونها (موبیلیتی) و درجه حرارت بستگی دارد. هرچه درجه حرارت الکترولیت، غلظت و تحرک یونها بیشتر باشد، مقاومت الکتریکی الکترولیت کمتر است، در صنعت حفاری اصلی ترین الکترولیت سیال حفاری است. شرایط سیال حفاری بسیار متغییر است، چرا که درجه حرارت، PH و غلظت یونها مهاجمی مانند CL^- و SO_4^{--} در محدوده وسیعی تغییر می کنند. مهمترین عواملی که در سیال حفاری تولید خوردگی می کنند عبارتند از:

DISOLVED GASES (۱) گازهای محلول:

MINERAL CONSTITUENTS (۲) عناصر کانی:

ORGANIC MATERIAL (۳) مواد آلی:

MICROBIOLOGICAL ORGANISMS (۴) میکرو ارگانیزمها:

DISOLVED GASES (1) گازهای محلول:

مهمترین گازهای محلول در سیال حفاری عبارتند از:

O₂ الف) اکسیژن

CO₂ ب) دی اکسید کربن

H₂S ج) هیدروژن سولفور

(۲) عناصر کانی

سیستم گل حفاری کلوییدی است و از دو فاز مایع و جامد تشکیل شده است. فاز مایع آن آب است. آبی که در سیستم حفاری گلهای پایه آبی مورد استفاده قرار می گیرد ، انواع مختلف دارد.

(۱) آب شیرین

میزان کلرور سدیم در آب شیرین کمتر از 10000 PPM و سختی کل آن کمتر از 120 PPM می باشد.

(۲) آب شور (SALT WATER) که به انواع زیر تقسیم می شود.

الف) آب دریا (SEA WATER) : کلرور سدیم 35000 PPM و سختی کل آن 1500-2500 PPM می باشد.

ب) آب شور (BRACKISH WATER) : کلرور سدیم آن 10000-20000 PPM می باشد.

ج) آب شور اشباع شده (SATURATED SALT WATER) : میزان کلرور سدیم آن 285000 PPM می باشد.

۳- آب سخت (HARD WATER) : که محتوی مقادیر قابل ملاحظه ایی نمکهای کلسیم و منیزیم است.

۴- آب نرم (SOFT WATER) : آبی است که در اثر جوشانیدن یا بروش شیمیایی بتوان یونهای Ca^{++} و Mg^{++} را رسوب داد.

برای ساختن گلهای حفاری پایه آبی بهترین آب، آبی است که فاقد نمکهای کلسیم و منیزیم باشد، وجود این دو کانی بعنوان مواد مضر باعث تغییر خواص سیال حفاری می شوند و سرعت خوردگی را نیز افزایش میدهند. هر چه غلظت یونهای کلسیم و منیزیم بیشتر باشد، هدایت الکتریکی سیال حفاری بیشتر می شود و در PH های مختلف بنیانهایی چون کربنات، سولفات و کلراید تولید می کنند، که باعث افزایش سرعت خوردگی می شوند.

فاز جامد سیال حفاری بر دو قسم است:

REACTIVE SOLIDS

الف) جامدات فعال :

INERT SOLIDS

ب) جامدات غیر فعال :

الف: جامدات فعال مرکب از رسهای تجارتي، طبيعي، محلي ويژه و محلي مي باشند، رس هاي تجارتي قبل از شروع حفاري در مخازن گل توسط گل شناس به آب افزوده مي شوند. اين مواد باعث افزايش گرانروي گل شده و قدرت حمل کنندگي سيال حفاري را افزايش ميدهد، همچنين ديواره چاه را توسط يك لايه غير قابل نفوذ اندود مي کند و مانع نفوذ گل و صافات آن به داخل سازند هاي نفوذ پذير مي شود. اين مواد تاثير چنداني در خوردگي سايشي ندارند. رس هاي تجارتي که در ساختن گلهای حفاری بکار می روند، عمدتاً بنتونایت است. بنتونایت را معمولاً از یک کانی رسی بنام مونت موریلونایت MONTMORILLONITE درست می کنند. علاوه بر رس های تجارتي، رس های ديگري هم در حين عمليات حفاري وارد سيال حفاري مي شوند که عبارتند از: رس هاي محلي، رس هاي محلي ويژه، رس هاي طبيعي.

ب) جامدات غیر فعال از نظر شیمیایی خنثی و بی اثر هستند و در سیال معلق می مانند، این جامدات ممکن است توسط گل شناس به سیال حفاری افزوده شوند، مانند مواد وزن افزا و یا ممکن است ضمن حفاری بطور ناخواسته وارد سیال حفاری شوند. هر چه درصد این مواد در سیال حفاری بیشتر شود، خوردگی سايشي افزايش مي يابد، با افزايش سرعت گردش سيال حفاري نقش درصد مواد جامد در افزايش خوردگي سايشي افزايش مي يابد. علت اصلي تخريب لاینر، ماژولهای، سيت و ولو پمپ گل و ایمپلر و کیسینگ شارجینگ پمپ ها، خوردگی سايشي ناشی از حرکت سيال حاوي ذرات جامد با سرعت و فشار بالا است. سرعت خوردگي سايشي اين قطعات، به ميزان، شکل هندسي و سختي مواد جامد معلق بستگي دارد.



عکس فوق خراشهای ایجاد شده در یک لاینر پمپ گل را نشان می دهد.

شناسایی مواد شیمیایی تشکیل دهنده سیال حفاری.

BARITE

۱- باریت

ماده ایست معدنی که در ایران بوفور یافت می شود. بسته به ناخالصیهایی که در آن وجود دارد به رنگهای صورتی یا سفید متمایل به خاکستری دیده می شود. فرمول شیمیایی آن $BaSO_4$ می باشد، باریت سولفات باریوم ۹۵٪ می باشد و جزء مواد جامد غیر فعال می باشد. زیرا از نظر شیمیایی خنثی است. جهت معلق نمودن باریت در سیال حفاری به یک ماده کلوییدی نیاز می باشد. وزن مخصوص باریت ۲/۴ است. درصد وزنی باریت در گلهای پایه آبی تا ۷۰٪ می رسد.

LIMESTONE POWDER

۲- سنگ آهک

سنگ آهک، نام دیگر آن کربنات کلسیم $CaCO_3$ است، این ماده همانند باریت در آب نامحلول است و برای بالا بردن وزن سیال حفاری در گلهای پایه روغنی تا 100 PCF مورد استفاده قرار می گیرد. سنگ آهک در اسید کلریدریک براحتی حل می شود، به همین علت

بعنوان وزن افزا در حفاری مخازن در لایه آسماری مورد استفاده قرار می گیرد، پس از پایان حفاری توسط اسید کلریدریک ذرات آهک موجود در منافذ مخزن حل شده از چاه خارج می شوند و شرایط برای بالا آمد نفت مهیا می شود.

۲- گالنا

نام شیمیایی گالنا، سولفور سرب PbS است که در سیال حفاری برای بالا بردن وزن بکار میرود، وزن مخصوص آن ۶,۸ است.

۴- فروبار FER-O-BAR

فروبار ترکیبی از ۸۵٪ هماتیت Fe_2O_3 با وزن مخصوص ۴,۷ به اضافه ۱۵٪ سیلیکاتهای غیر قابل متورم شدن، آلومینیم، روی و سرب می باشد و رنگ آن قرمز آلبالویی است. ذرات آن گرد و مانند باریت از آن بعنوان وزن افزا استفاده می شود، فروبار ضمن افزایش وزن سیال حفاری در مقایسه با باریت گر انرژی سیال را کمتر بالا می برد و این بدلیل کشش سطحی موجود بین ذرات آن می باشد، کشش سطحی بین ذرات باریت بیش از فرو بار است.

۵- نمک طعام

فرمول شیمیایی نمک طعام NaCl است و برای افزایش وزن آب از 62.4 PCF به 75PCF استفاده می شود، علت اصلی استفاده از آن در گل های پایه آبی وجود نمک در سازندهای حفاری شده است. در صورتیکه سیال حفاری از نمک اشباع باشد، نمک موجود در سازندها در سیال حفاری حل نشده و باعث ریزش و گشاد شدن حفره چاه نمی شود.

۶- های دنس

های دنس اکسید فریک متبلور (آهن سه ظرفیتی) به فرمول $X Fe_2O_3 . Y H_2O$ می باشد، که نوع زرد متمایل به قهوه‌ای آن لیمونیت LIMONITE نیز خوانده می شود. این ماده

شیمیایی برای بالا بردن وزن مخصوص دوغ آب سیمان بکار میرود، وزن مخصوص آن ۴٫۸ - ۴٫۷ است.

۷- کلرور کلسیم

فرمول شیمیایی آن $CaCl_2$ است و شدیداً جاذب الرطوبه می باشد، وزن را تا 95 PCF بالا می برد، موارد استفاده آن بشرح زیر است:

۱- در گل های روغنی به منظور جلوگیری از ریزش مارل و شیل موجود در سازندهای حفاری شده.

۲- در گلهای بدون مواد جامد از آن استفاده می شود.

۳- در سیمان به عنوان کاهش دهنده زمان بندش از آن استفاده می شود.

HIGH VISCO CMC

۸- مواد گرانروی زا

کربواکسی متیل سلولز، پودری است سفید رنگ و قابل حل در آب، از این مواد بخاطر ازدیاد گرانروی سیال حفاری و کنترل عصاره آن استفاده می شود، این ماده در گلهای پایه آبی کارآیی خوبی دارد.

LOW VISCO CMC

۹- مواد گرانروی زا

مشخصات آن مشابه مورد شماره هشت است با این تفاوت که در گل های نمکی روی کنترل عصاره سیال حفاری تأثیری ندارد، تا 275F مقاوم است و در دماهای بالاتر تخمیر می شود.

GELTON

۱۰- جلتون

افزاینده گرانروی در گلهای پایه روغنی اینورمل می باشد.

۱۱- بنتونایت

از مهمترین خواص آن در سیالات پایه آبی افزایش وزن در آب شیرین و کاهنده عصاره و جاذب رطوبت می باشد.

STARCH

۱۲- استارچ

پودری است سفید رنگ که جهت کنترل عصاره گل در سیالات اشیاء شده از نمک استفاده می شود، فرمول شیمیایی آن $C_{11}H_{22}O_{11}$ می باشد. حداکثر دمای کارکرد این ماده 225F است و در دماهای بالاتر تخمیر می شود.

NaOH

۱۳- کاستیک سودا

نام دیگر آن سود سوز آور است، در آب براحتی حل می شود و PH را تا ۱۴ می تواند، افزایش دهد، برای کنترل PH در سیالات پایه آبی بجای کاستیک سودا از آهک استفاده می شود، زیرا هم ارزانتر و هم سهل الحصولتر است.

LIME

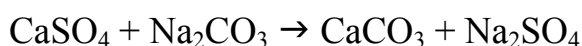
۱۴- آهک

همان آهک معمولی با فرمول شیمیایی $Ca(OH)_2$ می باشد، نام شیمیایی آن هیدرو اکسید کلسیم و برای بالا بردن PH در سیالات پایه روغنی و پایه آبی استفاده می شود.

Na_2CO_3

۱۵- سودا-اش

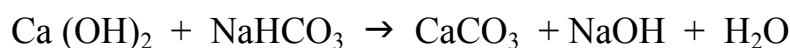
برای رسوب دادن یون کلسیم در سیالات پایه آبی مورد استفاده قرار می گیرد، PH آن ۱۱,۵ می باشد، واکنش شیمیایی صورت پذیرفته به صورت زیر می باشد.



به تجربه ثابت شده است که یک پوند کربنات سدیم قادر است ۱,۲۸۳ پوند سولفات کلسیم را رسوب دهد. افزایش مصرف بیش از حد مورد نیاز جهت رسوب دادن یون کلسیم باعث افزایش PH سیال می شود. در این موارد از ماده ای بنام SAPP سدیم، اسید پیرو فسفات باید استفاده شود، تولید رسوب کربنات کلسیم باعث افزایش ژل می گردد.

۱۶- بی کربنات سدیم

این ماده به سودای خمیر معروف است و فرمول شیمیایی آن CO_3HNa و PH آن ۸,۳ می باشد. از بی کربنات برای رسوب دادن یون کلسیم حاصل از عملیات سیمان کاری یا سولفات کلسیم بی آب در سیالاتی که PH آن ها از ۸,۵ بالاتر است، استفاده می شود، واکنش شیمیایی صورت پذیرفته به صورت زیر می باشد.



هدف اصلی از بکار بردن بی کربنات در سیال حفاری مبارزه با آلودگی سیمان است، زیرا سیمان PH سیال حفاری را بالا می برد و باعث تخریب خواص آن می شود، بنابر این استفاده از بی کربنات میتواند PH سیال حفاری را تا ۸,۳ پایین آورد، بی کربنات بدلیل داشتن یون هیدروژن خود باعث کاهش PH می شود.

۱۷- کربنات باریم

پودری است سفید رنگ و بسیار سمی که فرمول شیمیایی آن BaCO_3 و PH آن ۱۰ می باشد. برای مبارزه با آلودگی سیال حفاری به آنهیدرات (سولفات کلسیم بی آب) از آن استفاده می شود. وقتی در لایه محتوی آنهیدرات حفاری می کنیم، مقدار زیادی از سولفات کلسیم وارد سیال حفاری می شود و خواص آنرا تغییر می دهد. از کربنات باریم بعنوان داروی ضد آلودگی استفاده می شود، بطوریکه قادر است یون کلسیم و ریشه سولفات را بایکدیگر، رسوب دهد. ولی امروزه به ندرت از کربنات باریم جهت رسوب دادن یون کلسیم استفاده می شود، چراکه بسیار گران و سمی می باشد، به همین دلیل بجای آن از کربنات سدیم استفاده می شود.

۱۸- PIPELAX

به صورت مایع در بشکه های ۲۰۰ لیتری استفاده می شود، هنگام گیر لوله ها در چاه آنرا با گازوییل و اکسید کلسیم مخلوط کرده، استفاده می کنند.

DURATON

۱۹- دوراتون

کنترل کننده عصاره سیال حفاری در گل های پایه روغنی است.

OIL FAZE

۲۰- فاز روغنی

این ماده روغنی قدرت بسیار بالایی در کنترل گرانروی و استحکام ژلاتینی گل های پایه

روغنی دارد

LOCAL CORROSION

خوردگی موضعی

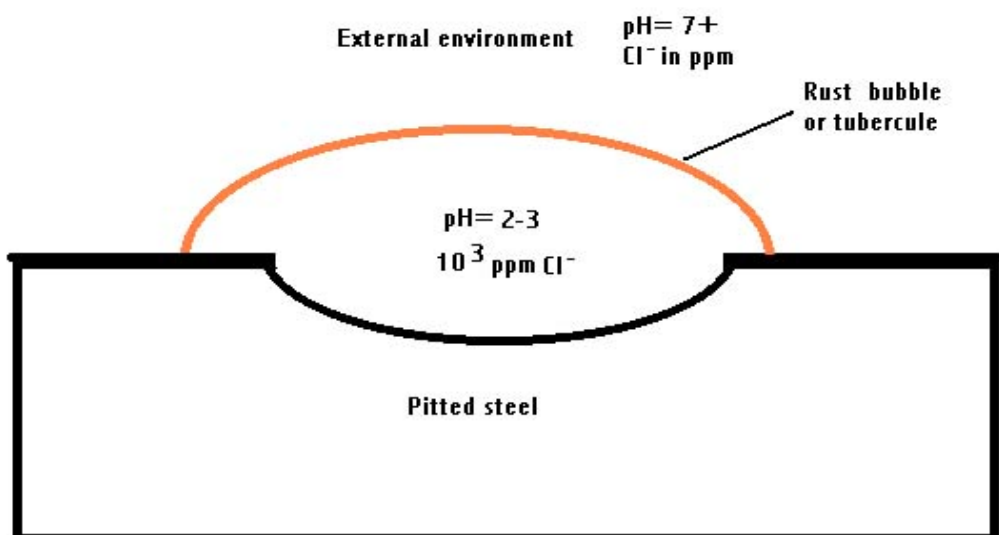
همانگونه که گفته شد، کربنات های کلسیم و منیزیم بوفور در سیال حفاری وجود دارند. این مواد یا از طریق سختی آب مصرفی جهت ساخت سیال حفاری و یا از طریق مواد افزوده شده به سیال حفاری مانند مواد وزن افزا CaCO_3 یا مواد مصرفی جهت کنترل PH مانند Ca(OH)_2 و یا مواد جاذب الرطوبه مانند CaCl_2 وارد سیستم گردش گل شده اند. این مواد در مجاورت گاز دی اکسید کربن محلول در آب رسوب می کنند. وجود یونهای Na^+ و CL^- و OH^- که از طریق اضافه کردن نمک طعام NaCl ، کلرور کلسیم NaCl_2 کاستیک سودا، NaOH سودا اش، NaCOH و بی کربنات سدیم NaHCO_3 وارد سیال حفاری می شوند، زمینه مناسبی برای تولید خوردگی موضعی می نمایند. به همین دلیل در صورتیکه وسایل حفاری که در تماس با سیال حفاری می باشند، مورد بررسی دقیق قرار گیرند، وجود حفره های خوردگی PIT روی سطح آنها بوضوح مشاهده می شود.

با توجه به اهمیت خوردگی موضعی در صنعت حفاری، به توضیح مکانیزم خوردگی موضعی می پردازیم. در شیارها و محللهایی از سطوح فلزات که سیال حفاری به صورت ساکن قرار دارد، خوردگی موضعی اتفاق می افتد، در مکانهایی که حجم کوچکی از سیال حفاری حبس شود، مانند زیر واشرها، پیچ و مهره ها خوردگی موضعی اتفاق می افتد که به آن خوردگی شیاری یا لکه ایی یا واشری گویند.

فاکتورهای محیطی مؤثر در ایجاد خوردگی موضعی از جمله رسوباتی که ممکن است باعث خوردگی موضعی شوند عبارتند از: ماسه، کثافات، محصولات خوردگی، گریس و چربیها و دیگر جامدات، رسوبات بصورت یک مانع عمل می کند و در زیر آن الکترولیت (سیال حفاری) به صورت ساکن در می آید. جامدات معلق در سیال حفاری در صورتیکه روی سطح لوله ها و مخازن رسوب کنند، می توانند منشأ اصلی خوردگی موضعی گردند.

تماس بین سطح فلز و غیر فلز مانند لاستیک محافظ دور لوله ها نیز می تواند باعث ایجاد خوردگی موضعی شود. حفره ها و شیارهای موجود در سطح فلزات بایستی به اندازه کافی باز باشند تا مایع بتواند داخل آنها شود، لیکن بایستی آنقدر باریک باشند تا یک منطقه ساکن به وجود آورند. شیارهایی با عرض چند هزارم اینچ یا کمتر برای ایجاد خوردگی موضعی مناسب اند. این خوردگی بندرت در شیارهای بازتر از ۳ میلیمتر اتفاق می افتد.

مکانیزم خوردگی موضعی



تصویر فوق مکانیزم خوردگی حفره ایی را نشان می دهد.

همانگونه که قبلاً نیز گفته شد، واکنش خوردگی در سیالات قلیایی به صورت زیر می باشد.

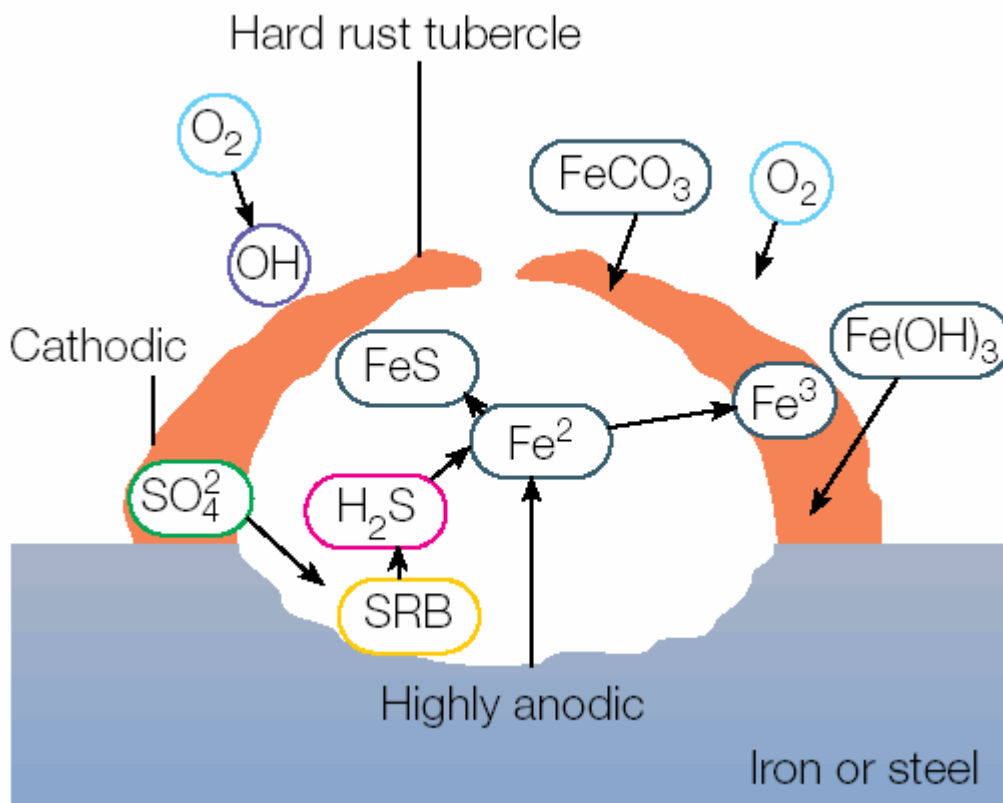


واکنش اکسیداسیون فلز



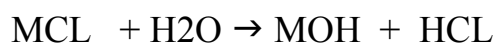
ابتدا این واکنش ها به طور یکنواخت روی تمام سطح و در داخل شیارها و حفره ها واقع می شود . اصل بقاء الکتریکی در فلز و در محلول برقرار است، هر الکترون که در اثر تشکیل یون فلز به وجود می آید به سرعت به وسیله واکنش احیاء اکسیژن مصرف می شود. همچنین به ازاء یون فلز در محلول، یک یون هیدرو اکسید بوجود می آید. بعد از یک زمان کوتاه، اکسیژن داخل شیار یا حفره تمام می شود. (به علت ساکن بودن محلول در شیار یا حفره و عدم دسترسی به خارج یا عدم کنوکسیون محلول در داخل (شیار یا حفره)، لذا در این ناحیه دیگر احیاء اکسیژن صورت نمی گیرد.

البته این مسئله به تنهایی هیچگونه تغییری در کل خوردگی ایجاد نمی کند. چون سطح داخل شیار یا حفره نسبت به سطح بیرونی فلز خیلی کوچک است، سرعت کلی احیاء اکسیژن تقریباً بدون تغییر می ماند. بنابر این سرعت خوردگی نسبت به زمانیکه که اصلاً شیار یا حفره ای وجود نداشته باشد، یکی خواهد بود. تخلیه یا تمام شدن اکسیژن داخل حفره یا شیار دارای یک تأثیر مهم می باشد که با ادامه خوردگی مهمتر می شود، بعد از تمام شدن اکسیژن داخل شیار یا حفره واکنش احیاء صورت نمی گیرد، در حالیکه خوردگی فلز در داخل شیار همچنان ادامه می یابد.



تصویر فوق فرآیند خوردگی در ناحیه حفره ها را نشان می دهد.

همانگونه که در تصویر فوق ملاحظه می شود، فلز پایه M در محلول NaCl هوازده دچار خوردگی حفره ای می شود. سرعت خوردگی درون حفره سریع بوده، در شرایطی که در نواحی اطراف حفره روی سطح فلز در اثر احیاء اکسیژن خوردگی اتفاق نمی افتد. بنابر این تجمعی از بارهای مثبت M^+ در الکترولیت داخل شیار بوجود می آید، که لزوماً با مهاجرت یون های منفی کلر Cl^- محلول در الکترولیت به داخل شیار بایستی خنثی شوند. سرعت حرکت یون های منفی هیدرواکسید نسبت به یون های کلر آهسته تر است. در نتیجه غلظت کلرور فلز در داخل شیار یا حفره افزایش می یابد. با استثناء فلزات قلیای مانند سدیم و پتاسیم نمکهای فلزی منجمله کلرورها و سولفاتها در آب هیدرولیز می شوند.



ماده شیمیایی فوق نشان می دهد که محلول آبی کلرور های فلزات در آب تجزیه شده، هیدرو اکسید نامحلول و اسید بوجود می آید، به دلایلی نامعلومی هم یون کلرور و هم یون هیدروژن سرعت خوردگی اکثر فلزات و آلیاژها را افزایش می دهند.

Thickness is reduced locally, under influence of crevice geometry



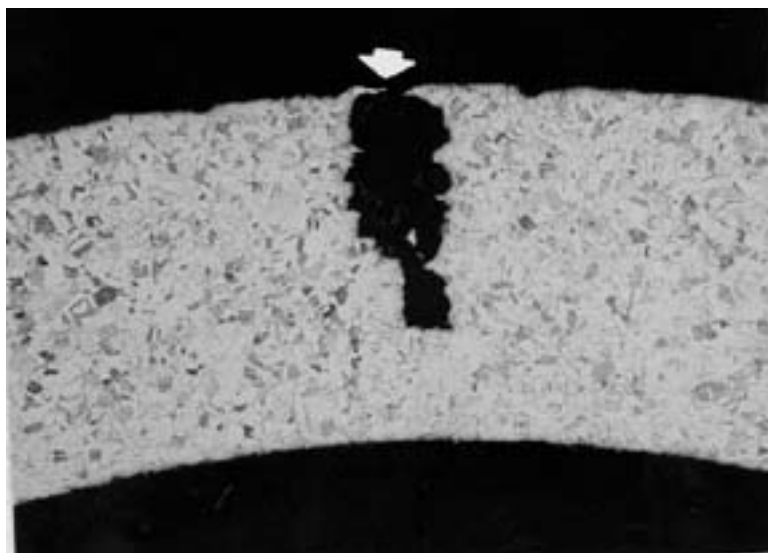
Crevice Corrosion

تصویر فوق فرآیند خوردگی شیاری را نشان می دهد.

در اثر خوردگی شیاری PH سیال درون حفره اسیدی شده و سرعت خوردگی در آن نیز افزایش می یابد، در نتیجه مهاجرت یونهای کلر و هیدرولیز آنها داخل شیاری، یک فرآیند شتاب گیرنده (RAPIDLY ACCELERATING) یا یک واکنش اتوکاتولیک بوجود خواهد آمد. آزمایشات نشان داده است اگر یک نمونه حاوی شیاری درون یک محلول از آب نمک رقیق با PH خنثی قرار گیرد. در اثر فرآیند خوردگی PH محلول درون شیاری کاهش و غلظت کلر آن افزایش می یابد. این باعث افزایش سرعت خوردگی در شیاری می شود، با افزایش سرعت خوردگی درون شیاری یا حفره، سرعت احیاء اکسیژن در سطوح مجاور افزایش می یابد. بدین ترتیب سطوح مجاور شیاری یا حفره به روش کاتدی در برابر خوردگی حفاظت می شوند.

بنابر این در این مرحله، خوردگی در شیاری یا حفره متمرکز می شود در حالیکه سطوح اطراف شیاریها و حفره ها یا اصلاً خورده نمی شوند یا میزان خوردگی در این نواحی بسیار کم است، این نوع خوردگی در محیطهایی که دارای یون کلر باشد، بسیار شدیدتر است. شروع این نوع خوردگی بین شش ماه تا یکسال طول می کشد. لیکن پس از شروع سرعت آن بتدریج افزایش

می یابد. برای مثال طی بررسی که از مخازن گل دستگاه ۷۶ نصر در مهر ماه ۱۳۶۹ سال بعمل آمد مشاهده شد که تقریباً تمام مخازن تا ارتفاع 120cm از کف در دیواره ها دچار خوردگی موضعی شده بودند، ارتفاع کل مخزن 96 in می باشد. حفره ها عمدتاً دارای سطحی بزرگ و عمقی کم بودند، کف تمام مخازن بجز در نواحی که جت نازل عمل می کرد، حفره های خوردگی تشکیل شده بود، حفره ها در کف نسبت به حفره های دیواره از دهانه هایی بزرگتر و عمق هایی کمتر برخوردار بودند. در ناحیه ایی که همزن عمل می کرد، عمق حفره ها کمتر، ولی تعداد آنها در واحد سطح بیشتر بود. در تانک میانی در ناحیه زیر دی سندر و حد فاصل دیواره کناری تانک و دیواره کانال که یک فضای سربسته است. خوردگی یونیفرم (یکنواخت) مشاهده شد، در این ناحیه دو لایه ی محصولات خوردگی هر کدام به ضخامت حدود 2-3 mm که توسط یک لایه گل به ضخامت 2-3 mm از یکدیگر جدا شده بودند، مشاهده شد. در زیر نبشی های دیواره مخازن بعضاً خوردگی یکنواخت مشاهده شد.



عکس فوق حفره ایجاد شده در فولاد، ناشی از خوردگی موضعی را نشان می دهد.

با توجه به مطالب فوق الذکر می توان نتیجه گرفت که در قسمت هایی از مخزن که به علت رسوبات و یا بدلیل طراحی مخزن، سیال حفاری محبوس می شود و اکسیژن در دسترس نیست،

PH محیط اسیدی شده و خوردگی اتفاق می افتد. عامل اصلی تشدید این نوع خوردگی یون های کلر است، که در سیال حفاری بوفور موجود است.

مبارزه با خوردگی موضعی

۱- مخازن گل به گونه ای طراحی شوند، که سطح سیال همواره در تماس با هوای اطراف باشد، بخصوص کانال دی سیندر از بدنه کناری به گونه ای فاصله دار ساخته شود که هوا امکان حرکت در اطراف آن را داشته باشد و حتی المقدور ارتفاع گل به زیر کانال نرسد.

۲- دیواره مخزن به جای نبشی از ورق های موج دار ساخته شود، تا حتی الامکان از رسوب گل و محبوس شدن (راکد ماندن) سیال حفاری در نواحی ستون ها جلوگیری به عمل آید.

۳- لازم است قبل از هر جابجایی دستگاه حفاری رسوبات موجود در مخازن کاملاً شسته و از کف مخزن زدوده شوند، در قسمتهایی نیز که خوردگی موضعی اتفاق افتاده (تاو لزرده) سطح فلز توسط ابزار های مکانیکی تاو لزدایی شود. این عمل از پیشروی خوردگی موضعی جلوگیری می کند.

۴- سرعت و قدرت همزنها و جت نازلها و همچنین تعداد و محل قرار گرفتن آنها بایستی به گونه ایی طراحی شوند (بخصوص در گلهای سنگین که میزان مواد جامد معلق آن بالا است) که ناحیه مرده (سیال حفاری راکد است) به وجود نیاید تا حتی الامکان رسوبی از گل و لای تشکیل نشود.

۵- برای جلوگیری از خوردگی موضعی در سطوح بیرونی لوله های حفاری لازم است از RUBBER PIPE WIPER استفاده شود، تا پس از عملیات حفاری رسوبات موجود روی لوله زدوده شوند، در صورتیکه قرار باشد لوله های حفاری برای مدت زیادی انبار شوند، لازم است آنها را با آب تمیز شسته و توسط گازوییل سطح آنها را اندود کنند تا در مقابل شرایط جوی محافظت شوند. در صورتیکه لایه محافظ داخلی لوله های حفاری از بین رفته باشد. لازم است موارد فوق در مورد سطوح داخلی نیز اعمال شود.

در نواحی که خوردگی موضعی اتفاق افتاده، محصولات خوردگی روی سطح حفره یا شیار متورم می شوند و به شکل تاولهایی در سطح فلز مشخص می شوند. برای جلوگیری از ادامه این نوع خوردگی لازم است، این محصولات خوردگی از روی سطح فلز زدوده شوند که اصطلاحاً به آن تاول زدایی گویند.

EROSION CORROSION

خوردگی سایشی

سیال حفاری حاوی درصد بالایی مواد جامد معلق می باشد، از آنجایی که میزان دهش پمپ های گل حفاری در عملیات ممکن است تا 1500GPM برسد، لذا سرعت سیال حفاری در ناحیه لوله گردن غازی GOOSE NECK به بیش از 10 m/Sec برسد.

درصد مواد جامد معلق و سرعت سیال حفاری دو عامل مهم در تشدید خوردگی سایشی می باشند، این نوع خوردگی اغلب باعث فرسایش پوشش محافظ داخل لوله های حفاری می شود. از بین رفتن این پوشش باعث افزایش افت فشار سیال حفاری در اثر عبور از درون لوله های حفاری می گردد. همچنین باعث نازک شدن جداره لوله ها و نهایتاً سوراخ شدن آنها می شود.



عکس فوق شسته شدن پشت سیت فلویداند، در اثر سرعت و فشار بالای سیال را نشان می دهد.

نواحی دیگر سیستم گردش سیال حفاری که دچار این نوع خوردگی می شود، لاینر، SEAT و VALVE می باشند. اغلب FLUED END پمپهای گل در ناحیه CAP GASKET دچار این نوع خوردگی می شوند، این باعث افزایش سرعت تخریب CAP GASKET می شود.



عکس فوق بریده شدن محل نشیمنگاه کپ گسکت، فلوید اند پمپ گل را نشان می دهد. پمپ های گریز از مرکز تغذیه CHARGING PUMP سیال حفاری اغلب در ناحیه صفحه سایشی WEAR PLATE و پوسته نیز دچار این نوع خوردگی می شوند.

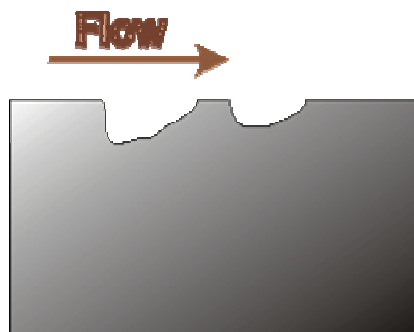
تعریف

افزایش سرعت خوردگی یا از بین رفتن یک فلز در اثر حرکت نسبی بین یک سیال خورنده و سطح فلز را خوردگی سایشی گویند. محصولات جامد حاصل از خوردگی از سطح فلز به طریق مکانیکی کنده می شوند. گاهی اوقات حرکت باعث تقلیل سرعت خوردگی موضعی می گردد. مخصوصاً موقعیکه تحت شرایط ساکن خوردگی موضعی اتفاق افتاده باشد. چراکه حرکت باعث از

بین رفتن رسوبات روی سطح فلز شده و نواحی مرده از بین میروند و خوردگی موضعی متوقف می شود. لیکن این خوردگی سایشی نیست، زیرا سرعت خوردگی افزایش نیافته است.

خوردگی سایش دارای ظاهری شیاردار، موجی شکل یا سوراخدار و ناهموار می باشد و معمولاً این اشکال در جهت خاصی قرار دارند. در اکثر موارد خوردگی سایشی در زمانهای کوتاهی اتفاق می افتد و غیره منتظره بودن آنها عمدتاً به این دلیل است که آزمایشات خوردگی تحت شرایط ساکن و یا بدون در نظر گرفتن اثرات سایشی انجام گرفته است.

اکثر فلزات و آلیاژها مستعد خوردگی سایشی هستند، در بسیاری از آنها مقاومت در مقابل خوردگی بستگی به نوع لایه های سطحی دارد. هرچه این لایه ها مقاومتر، چسبنده تر، همگن تر و متراکمتر باشند. مقاومت فلز به خوردگی سایشی بیشتر خواهد بود. اگر این پوسته های محافظ سطحی صدمه ببینند یا ساییده شوند، خوردگی سایشی اتفاق می افتد و در نتیجه فلز یا آلیاژ با سرعت بالایی خورده می شود. فلزاتی که سختی پایینی دارند و به سهولت صدمه می بینند یا از طریق مکانیکی زود ساییده می شوند، نسبت به این نوع خوردگی مستعدتر هستند.



تصویر فوق مکانیزم خوردگی سایشی را نشان می دهد.

تعداد زیادی از محیطهای خورنده میتوانند باعث ایجاد خوردگی سایشی شوند. جامدات معلق در مایعات مخصوصاً از نقطه نظر خوردگی سایشی خیلی مخرب می باشند. کلیه تجهیزاتی که در تماس با مایعات متحرک می باشند در معرض خوردگی سایشی قرار دارند. بعضی از این تجهیزات در صنعت حفاری عبارتند از: سیستمهای لوله کشی مانند: زانوها ELBOW یا خم ها

BENDS ، لوله گردن غازی GOOSE NECK SWIVEL ، سه راهی ها TEES ، شیرها VALVES ، پمپ های گریز از مرکز تغذیه، پمپهای رفت و برگشتی گل در ناحیه FLUID END پایانه سیال و پروانه های پمپ های گریز از مرکز، همزن های موجود در مخازن گل AGITATORS تفنگ های موجود در مخازن گل GUNS و تجهیزاتی که در معرض پاشش سیال حفاری قرار دارند.



عکس فوق FLUID END یکی از پمپ های گل شرکت ملی حفاری ایران را نشان می دهد.

سرعت حرکت

سرعت حرکت در خوردگی سایشی نقش مهمی را به عهده دارد. غالباً به شدت بر مکانیزم واکنش های خوردگی اثر می گذارد. همچنین سرعت های بالا باعث سایش مکانیکی می گردد. مخصوصاً وقتی که محلول حاوی جامدات معلق باشد. آزمایشات انجام شده روی نمونه های

فولادهای کربنی در آب دریا نشان داد که، افزایش سرعت حرکت سیال از 1 ft/ sec به 4 ft/ sec باعث افزایش سرعت خوردگی از ۳۴ mdd به ۷۲ mdd می شود و افزایش سرعت سیال تا 27 ft/ sec باعث افزایش سرعت خوردگی تا ۲۵۴ mdd شده است. افزایش سرعت حرکت سیال معمولاً باعث افزایش خوردگی سایشی می شود. اثر سرعت ممکن است تا رسیدن به یک سرعت بحرانی صفر و یا خیلی کم باشد، ولی با رسیدن به سرعت بحرانی، به شدت افزایش می آید. در این مورد مشاهده شده که افزایش سرعت از یک تا 4 ft/ sec تاثیر کمی بر سرعت خوردگی داشته، لیکن در سرعت 27 ft/ sec خوردگی شدیداً افزایش یافته است.

TURBULANCE

تلاطم یا توربولانس

اکثر انهدام های ناشی از خوردگی سایشی در اثر توربولانس یا جریان توربولانت می باشد. توربولانس باعث بهم زدن و تلاطم بیشتر مایع روی سطح فلز نسبت به جریان لامینار (خطوط جریان مستقیم) می شود. توربولانس باعث تماس بیشتر بین محیط و فلز گردیده، در نتیجه باعث افزایش خوردگی سایشی می شود. شاید متداولترین مثال در این مورد، انهدام لوله های کندانسورها و مبدلهای حرارتی SHELL AND TUBE CONDENSOR در مدخل ورودی لوله ها است، که به خوردگی مدخل ورودی INTER END CORROSION معروف است. این نوع خوردگی معمولاً در چند اینچ اول در قسمتی که مایع وارد لوله می شود، متمرکز است، در این قسمت معمولاً حرکت سیال به صورت توربولانسی است. زیرا سیال از یک محیط بزرگ باید وارد لوله هایی با قطر نسبتاً نازک شود. بعد از اینکه سیال مسافت نسبتاً کوتاهی را درون لوله پیمود جریان سیال لامینار می شود. نوع حرکت سیال به سرعت، شکل هندسی و نوع طراحی مسیر حرکت سیال بستگی دارد. علاوه بر سرعت، لبه های تیز، شیارها، رسوبات، تغییر سریع سطح مقطع و موانع دیگری که جریان لامینار را مختل مینماید، ممکن است باعث خوردگی سایشی گردد. پروانه ها IMPLERS اجزایی هستند که تحت شرایط توربولانت کار می کنند.

IMPINGMENT

برخورد

بیشتر انهدامها ناشی از برخورد مایع با سطح فلز می باشد، در نواحی که جهت حرکت سیال تغییر می کند مانند زانوها ELBOWS و خم لوله ها BENDS و همچنین سه راهی ها TEES این مورد مشاهده می شود. جامدات معلق همچنین و گاهی اوقات حباب های گاز در مایع، اثر برخوردی را افزایش می دهند. حبابهای هوا فاکتور مهمی در تسریع خوردگی سایشی از نوع برخوردی می باشند.

نوع فلز یا آلیاژ

از آنجاییکه خوردگی سایشی تأثیر هم زمان فرآیند تحلیل شیمیایی فلز در محیط خورنده و اثر ساینده مکانیکی سیال است، لذا جهت افزایش مقاومت فلزات در برابر این نوع خوردگی لازم است، فلز از نقطه نظر مقاومت در برابر تحلیل شیمیایی و ساینده مکانیکی تقویت شود. کلیه فلزات یک مقاومت ذاتی در برابر خوردگی شیمیایی دارند که مقدار آن بستگی به محیط خورنده و پتانسیل آن در سری EMF دارد. افزودن عناصر آلیاژی که باعث افزایش سختی و مقاومت مکانیکی شود، باعث افزایش مقاومت قطعات فلزی در برابر خوردگی سایشی خواهد شد. لذا سختی HARDNESS معیار نسبتاً خوبی از مقاومت سایشی مکانیکی است. لیکن جهت پیش بینی، مقاومت خوردگی سایشی به تنهایی کافی نمی باشد. سخت کاری سطحی و کلی فلزات روش مناسبی برای افزایش مقاومت فلزات در برابر ساینده مکانیکی است.

روشهای مبارزه با خوردگی سایشی

۱- انتخاب و بکار گیری موادی با مقاومت بالاتر در برابر خوردگی سایشی.

۲- طراحی مناسب.

افزایش قطر لوله ها، باعث کاهش سرعت حرکت سیال می شود. افزایش زاویه خم لوله ها اثرات برخورد سیال با دیواره لوله ها را کم می کند. افزایش ضخامت فلز در نقاط حساس باعث

افزایش عمر سازه در برابر خوردگی سایشی می شود. در مجموع رعایت این نکات در طراحی سیستم ها باعث افزایش عمر آنها می شود.

۳- تغییر محیط سیال.

گاز زدایی و افزودن ممانعت کننده های خوردگی به سیال حفاری از روشهای مؤثری هستند که باعث کاهش خوردگی سایشی می شوند. جداسازی جامدات معلق نیز از دیگر روشهای مؤثر در کاهش خوردگی سایشی می باشد. سختی و شکل ظاهری جامدات معلق در سیال حفاری در افزایش خوردگی سایشی بسیار مؤثر است. دمای سیال نیز در خوردگی سایشی مؤثر است.

۴- استفاده از پوشش ها.

استفاده از پوششهای مقاوم در برابر خوردگی که سطح صاف و صیقلی نیز داشته باشند و باعث قطع تماس سیال و سطح فلز شوند، مانند پوشش داخلی لوله های حفاری، از مهمترین عوامل کاهشده سرعت خوردگی سایشی می باشند. چنانچه این پوشش از سطح داخلی لوله ها کنده شوند، لوله های حفاری شدیداً دچار خوردگی سایشی خواهند شد.

خوردگی یکنواخت

دستگاه های حفاری می بایست در شرایط جوی مختلف کار کنند. قسمتهای مختلف دستگاه حفاری همواره در معرض شستشو و تماس با سیالات مختلف قرار دارند، همچنین بخشهای مختلف دائماً تحت تنش هستند. عدم دقت در حفظ و نگهداری قسمتهای مختلف یک دستگاه حفاری ممکن است، منجر به خسارات جبران ناپذیری شود. به همین دلیل یکی دیگر از انواع خوردگی که در صنعت حفاری از اهمیت بالایی برخوردار است، خوردگی اتمسفریک است، این نوع خوردگی از انواع خوردگی یکنواخت است.



عکس فوق یک زیر سازه دستگاه حفاری خشکی را نشان می دهد.

همانگونه که در تصویر فوق مشاهده می شود، زیر سازه دستگاه حفاری خشکی بدلیل تماس

دائم با سیال حفاری و اتمسفره مرطوب و آلوده به گازهای محیطی دچار خوردگی شده است.

کلیه فلزاتی که در سری EMF پتانسیل اکسیداسیون آنها منفی است در صورتیکه در

مجاورت اکسیژن قرار گیرند، روی سطح آنها یک لایه اکسید تشکیل می شود. در صورتیکه این

لایه اکسید چسبنده، متراکم، عاری از خلل فرج و نقص باشد. سطح فلز را محافظت نموده و از

ادامه رشد لایه اکسید جلوگیری می نماید، بدین شکل خوردگی اتمسفری متوقف می شود.

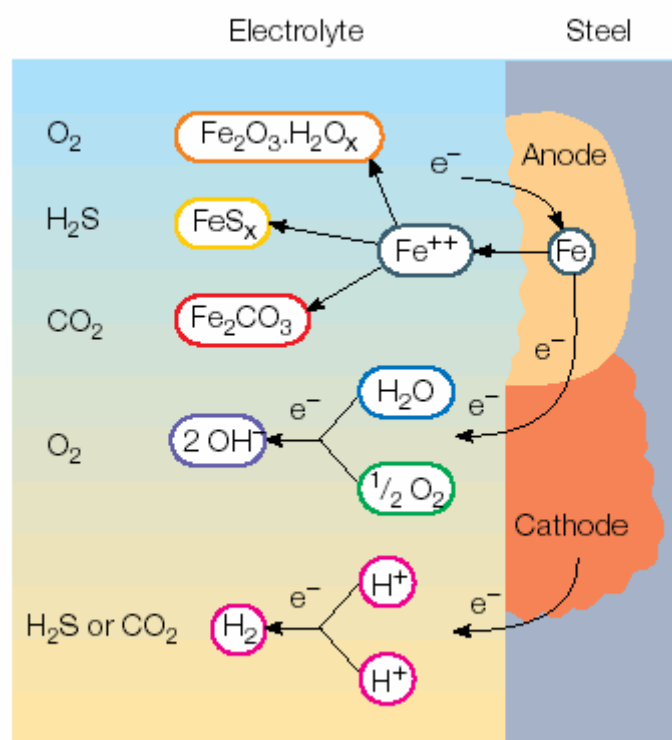
چنانچه چسبندگی این لایه کم باشد، لایه اکسید از سطح فلز جدا شده و خوردگی ادامه پیدا می

کند.

وجود هر گونه ترک، شکاف و خلل فرج باعث تماس بین سطح فلز و اکسیژن می شود، لذا

خوردگی ادامه پیدا می کند. بجز اکسیژن موجود در اتمسفر وجود گازهایی چون CO_2 AND

H_2S و همچنین بخار آب (رطوبت) باعث تغییر مکانیزم خوردگی و ماهیت محصولات خوردگی می شوند که اینها باعث تشدید خوردگی می شود. دستگاه های حفاری در جوی آلوده از گازهای H_2S , CO_2 ، رطوبت و دیگر سیالات حاوی نمک های فلزات کار می کنند. هرچه آلودگی اتمسفر بیشتر باشد، شرایط محافظت دستگاه باید دقیقتر باشد. در صورتی که رطوبت هوا بیش از ۷۰٪ باشد، یک لایه ی غیر قابل رویت از رطوبت سطح فلز را می پوشاند. این لایه الکترولیت مناسبی جهت تشکیل پیل خوردگی است و جریان خوردگی از این طریق برقرار می شود. وجود نمک های قلیایی و قلیایی خاکی که از طریق گرد و غبار روی سطح فلزات می نشینند و باعث تشدید خوردگی می شوند.



تصویر فوق مکانیزم خوردگی یکنواخت فولاد را نشان می دهد.



عکس فوق سازه یک دستگاه حفاری در حال کار را نشان می دهد.

همانگون که در تصویر فوق نشان داده شده است، قسمت عمده خوردگی در دستگاه های حفاری در ناحیه زیر سکو متمرکز می شود. این بدلیل تماس مستمر سیال حفاری با این قسمت از سازه می باشد.

WET CORROSION

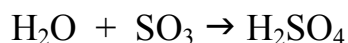
خوردگی تر

قطرات آب تشکیل شده بر روی سطح فلزات ناشی از ترشح آب دریا، قطرات باران یا شبنم باعث تشدید خوردگی اتمسفریک می شود. سرعت خوردگی به حلالیت محصولات خوردگی بسته است. در صورتی که محصولات خوردگی در آب قابل حل باشند، به دلیل افزایش غلظت یون های موجود در آب مقاومت الکتریکی آب کاسته شده و جریان پیل خوردگی افزایش می یابد.

ATMOSPHERIC CONTAMINANTS

آلودگی های اتمسفریک

پایه های فولادی که در کنار دریا قرار دارند، دوازده مرتبه بیشتر خورده می شوند تا پایه های فولادی که در فاصله ی ۲۵۰ متری از دریا قرار گرفته اند و این به دلیل وجود اختلاف در غلظت نمک های دریایی در ساحل و خشکی است. اتمسفر صنعتی که ناشی از احتراق موتور ها به وجود می آید نیز، از اتمسفر معمولی به مراتب خورده تر است. وجود گاز های دی اکسید سولفور (SO_2) که ناشی از احتراق سوخت است در تماس با اکسید فلزات موجود در سطح قطعات به (SO_3) تبدیل می شود و این در واکنشی با رطوبت سطحی تشکیل اسید سولفوریک می دهد.



تشکیل اسید سولفوریک باعث کاهش PH محیط و افزایش سرعت خوردگی می شود. در این شرایط احیاء یون هیدروژن جزء اصلی واکنش های کاتودیک می شود و احیاء اکسیژن نیز یکی دیگر از واکنش های کاتودیک است که در محیط اسیدی صورت می پذیرد، نازک بودن ضخامت لایه رطوبت روی سطح فلزات باعث می شود، اکسیژن به سهولت از هوا جذب شده و بدون هیچگونه مشکلی به سطح فلز برسد، دی اکسید کربن نقش عمده ایی در خوردگی اتمسفریک ندارد، فاکتورهای محیطی مؤثر بر روی خوردگی اتمسفریک به عبارت زیرند:

۱- درجه حرارت:

افزایش درجه حرارت محیط باعث افزایش سریع خوردگی می شود. در صورتیکه دمای محیط آنقدر زیاد شود که باعث تبخیر مایع روی سطح فلز گردد، سرعت خوردگی کاهش می یابد.

CLIMATIC CONDITION

۲- شرایط جوی

در صورتیکه رطوبت هوا بالا باشد، بطوریکه همواره یک لایه رطوبت روی سطح فلز را پوشانده باشد، سرعت خوردگی بیش از زمانی است که هوا فقط بارانی باشد. چرا که باران باعث شستشو گرد و غبار آلوده از روی فلز می شود. پاک شدن سطح از رسوبات و گرد و غبار باعث کاهش اختلاف غلظت اکسیژن شده و احتمال خوردگی موضعی کاهش می یابد. سرعت خوردگی در فصل زمستان خیلی بالاتر است، این بدلیل افزایش غلظت SO_2 در هوا است. افزایش مصرف سوخت در زمستان باعث افزایش غلظت دی اکسید سولفور می شود. اگرچه درجه حرارت هوا در زمستان نسبت به تابستان کمتر است، که این باعث کاهش فعالیت یونهای مولد خوردگی می شود، ولی در بررسی کلی سرعت خوردگی در فصول مختلف، لازم است کلیه فاکتورهای مؤثر در خوردگی، در نظر گرفته شوند تا تحلیل درستی از سرعت خوردگی بدست آید.

RELATIVE HUMIDITY

رطوبت نسبی

مدت زمانی که سطح فلز در معرض یک لایه رطوبت قرار دارد و همچنین ترکیبات شیمیایی و رطوبت دو فاکتور مهم در تعیین سرعت خوردگی فلز می باشند. حد بحرانی رطوبت به درصدی از رطوبت گفته می شود که در آن قطرات آب روی سطح فلز تشکیل می شوند و این به نوع فلز و شرایط سطحی آن بسته است. حد بحرانی رطوبت نسبی برای فولاد در اتمسفر ۶۰٪ است. وقتی رطوبت نسبی در هوا به ۶۰٪ برسد، محصولات خوردگی روی سطح فولاد تشکیل می شوند، با افزایش رطوبت نسبی به ۷۵ تا ۸۰ درصد سرعت خوردگی اتمسفریک شدیداً افزایش می یابد، هرچه درصد رطوبت در هوا افزایش یابد، سرعت خوردگی اتمسفری نیز افزایش می یابد. در

صورتیکه لایه سطحی حاصل از محصولات خوردگی در سطح فلز متخلخل باشند، حد بحرانی رطوبت بمراتب کمتر می شود.

راه های مبارزه با خوردگی اتمسفریک PREVENTATION OF ATMOSPHERIC CORROSION

۱- تغییر شرایط محیطی:

در صورتیکه امکان داشته باشد، توسط مواد جاذب الرطوبه، رطوبت نسبی محیط را به زیر حد بحرانی کاهش داد. با کاهش درصد رطوبت نسبی زیر حد بحرانی عملاً خوردگی متوقف می شود. این کار را بوسیله بالا بردن دمای محیط یا حرارت دادن نیز می توان انجام داد.

۲- قطع تماس اتمسفر و سطح فلز توسط پوششهای محافظ.

یکی از مهمترین پوششهای محافظ در صنعت حفاری رنگ است. رنگ ها را به خوبی می توان جهت حفاظت وسایل برون چاهی بکار برد. همانگونه که اشاره شد، قسمت های مختلف دستگاه حفاری تحت شرایط مختلف جوی کار می کنند. همچنین دستگاه های حفاری دریایی در تماس مستمر با اتمسفر دریا قرار دارند. لذا لازم است برای هر دستگاه متناسب با شرایط جغرافیایی آن از رنگهای مناسب استفاده نمود. قسمت های مختلف هر دستگاه نیز با توجه به شرایط کار کرد آن می بایست توسط رنگهای مناسب حفاظت شوند. در اینجا به لیستی از رنگهای مناسب جهت مصرف در صنعت حفاری اشاره می کنیم.



عکس فوق بخشهایی از سازه یک دستگاه حفاری خشکی قبل و پس از رنگرزی را نشان می دهد.

ALKIDS

الکید ها

مزایا:

مقاومت خوبی در برابر هوازدگی جوی و بخارات مواد شیمیایی دارند ولی مقاومت آنها در برابر ترشحات مواد شیمیایی کم است. نوع LONG OIL آن دارای قدرت نفوذ بالایی می باشد. ولی سرعت خشک شدن آن کم است. نوع SHORT OIL آن سریعتر خشک می شود، تا دمای 105 C یا 225F مقاومت دارد.

محدودیتها:

در برابر مواد شیمیایی مقاوم نیست، قابل اعمال بر روی سطوح قلیای مانند بتون تازه نیست، برای قطعاتی که در آب غوطه ور هستند، نیز مناسب نمی باشد.

پیشنهادات:

نوع LONG OIL آن بعنوان پوشش زیرین PRIMERS برای فولاد های زنگ زده و حفره دار مناسب می باشد. مقاومت آن در اتمسفرهای صنعتی که حاوی بخارات مواد شیمیایی است، مناسب است. بعنوان پوششهای داخلی و خارجی در صنعت و وسایل دریایی قابل کار برد است.

EPOXY ESTERS

اپوکسی

مزایا:

مقاومت خوبی در برابر خوردگی دارد، مقاومت آن در برابر مواد شیمیایی بهتر از آلکید است. برای محافظت در برابر محیط های خورنده مناسب است.

محدودیتها:

مقاومت آن در برابر بخارات و ترشحات مواد شیمیایی قوی مناسب نیست، مقاومت آن در برابر دمای محیط تا دمای 105 C یا 225 F می باشد.

پیشنهادات:

اپوکسی یک پوشش پایه روغنی با کیفیت بالا است، با سایر پوششهای روغنی هم سازگاری دارد. براحتی قابل اجراء بوده و جهت محافظت سازه های فولادی در برابر اتمسفرهای شیمیایی بکار میرود.

VINYLS

وینیلز

مزایا:

غیر قابل حل شدن توسط روغنها، گریسها، هیدرو کربورهای ALPHATIC ، الکل و همچنین مقاوم در برابر آب و محلولهای نمکی است، در دمای اطاق در برابر اسیدهای معدنی و مواد قلیایی نیز مقاوم می باشد.

محدودیتها:

حلال های قطبی قوی قادر به حل آن می باشند. چسبندگی اولیه آن کم است. ضخامت نسبی آن در هر لایه کم است، بین 1.2 تا 2 میلی متر می باشد. بعضی از انواع این رنگها روی سطح فولاد بدون پوشش اولیه نمی چسبند. حفره های ایجاد شده در آن پس از خشک شدن رنگ، نسبت به رنگهای دیگر بیشتر است.

پیشنهاد:

خواصی چون انعطاف پذیری، سمی نبودن، بیمزه بودن، بی رنگ بودن و مقاوم بودن در برابر آتش باعث شده که پوششهای مناسبی برای مخازن آب و وسایل بهداشتی باشند و بصورت گسترده در صنعت مورد استفاده قرار گیرند.

CHLORINATED RUBBERS

کلورینیتد رابر (لاستیک های کلر زده)

مزایا:

مقاومت آن در برابر نفوذ آب بسیار بالا است. یعنی نفوذ پذیری آن کم است. در برابر اسید های قوی، مواد قلیایی، مواد سفید کننده، صابون و مواد تنظیف، مواد نفتی و کپک زدگی، همچنین مقاومت آن در برابر سایش خوب است.

پیشنهادات:

در حلال های قوی، حل می شود و در گرمای (95c یا 200f) به صورت خشک و (c 60 یا 160f) به صورت تر و همچنین تحت نور ماوراء بنفش تجزیه می شود. جهت بهبود بخشیدن خواص آن می توان آن را تثبیت نمود. پاشیدن آن بر روی سطح (SPRAY) به خصوص در هوای گرم مشکل است.

پیشنهادات:

خواص آن عبارتند از مقاومت در برابر آتش، بی بو بودن، بی مزه بودن و سمی نبودن همچنین سریعاً خشک شده و چسبندگی خوبی بر روی سطح فولاد و بتون دارد. لذا جهت اعمال بر روی بتون و مصالح ساختمانی دیگر همچنین استخر های شناء پوشش های صنعتی و وسایل غوطه ور در دریا مناسب است.

COAL TAR PITCH

پوشش های قیر

مزایا:

مقاومت آن ها در برابر آب عالی است (بالا تر از تمام پوشش هایی است که تا کنون گفته شده است). مقاومت آن در برابر اسید ها، قلیایی ها، مواد کانی، مواد حیوانی و روغن های گیاهی خوب است.

محدودیت ها:

خاصیت ترمو پلاستیک دارد. یعنی در دمای 40c سیال می شود. در هوای سرد سخت و شکننده می شود. رنگ آن سیاه بوده و در اثر تابش آفتاب در مدت زمان زیاد ترک بر می دارد، اگر چه قدرت حفاظت کنندگی خود را از دست نمی دهد.

پیشنهاد:

جهت محافظت قطعاتی که در محیط مرطوب کار می کنند و یا قرار است زیر زمین مدفون شوند، مناسب است. اغلب به عنوان پوشش های داخلی و خارجی جهت لوله هایی که زیر زمین مدفون می شوند، به کار برده می شود.

POLYAMIDE – CURED EPOXY

یلی یامید پایه اپوکسی

مزایا:

چسبندگی، سطح صیقلی، مقاومت در برابر سایش و ضربه آن عالی است. انعطاف پذیری آن نیز خوب است. در اتمسفر خشک تا دمای 105 C یا 225F و در اتمسفر مرطوب تا دمای 65 C مقاوم می باشد.

محدودیتها:

در دمای زیر 5C دارای چسبندگی نمی باشد. حداکثر مقاومت آن در برابر سایش پس از ۷ روز در دمای 20C بدست می آید.

پسشهادات:

برای اعمال روی پوششهای زیرین مناسب است. چسبندگی آن بر روی فولاد و بتن عالی است. در سطح گسترده ای در صنعت کاربرد دارد. پوشش مناسبی برای تجهیزات دریایی می باشد. بعضی از این نوع رنگها بر روی سطوح زیر آب نیز قابل اعمال است.

COLTAR EPOXIES

ترکیبی از رنگهای پایه قیری و اپوکسی

مزایا:

برای حفاظت تجهیزاتی که در آب شور و شیرین قرار دارند، بسیار عالی است، مقاومت آن در برابر اسیدها و مواد قلیایی بسیار عالی است، مقاومت آن در برابر حلال ها خوب است، در صورت قرار گرفتن در حلال های قوی قسمتهایی از رنگ که از قیر تشکیل شده است، حل می شود.

محدودیتها:

در هوای سرد و همچنین در صورتیکه در برابر پرتوهای ماوراء بنفش قرار گیرد، شکننده می شود. در هوای سرد مقاومت آن در برابر سایش خیلی کم می شود. این پوشش می بایست ۴۸ ساعت پس از اعمال پوشش زیرین اعمال شود، تا اینکه چسبندگی دو پوشش کامل گردد. رنگهای آن تنها قهوه ای و سیاه می باشند. در حین سخت شدن پوشش دمای محیط نباید کمتر

از 10 C باشد. در اتمسفر خشک تا دمای 105 C یا 225F و در اتمسفر مرطوب تا دمای 65 C مقاوم می باشد.

پیشنهادات:

مقاومت این پوشش در برابر آب خوب است. ضخامت آن در هر لایه اعمال شده 0.25 mm می باشد. قابلیت اعمال بر روی فولاد و بتون بدون نیاز به پوشش زیرین را دارد.

ACRYLIC

اکریلیک

مزایا:

از خواص این پوشش وزن سبک، مقاوم در برابر پرتوهای ماوراء بنفش، صیقلی بودن و رنگ ثابت است. مقاومت آن در برابر مواد شیمیایی خوب است. همچنین مقاومت آن در برابر هوازدگی جوی عالی است.

محدودیتها:

بدلیل خاصیت ترمو پلاستیکی که دارد، در اثر حرارت سیال می شود، لذا مخلوط کلوییدی آن با آب برای حفاظت و سائیلی که قرار است، در آب غوطه ور باشند، مناسب نیستند. همچنین برای وسائیلی که در معرض مواد شیمیایی اسیدی و قلیایی قرار دارند، نیز مناسب نمی باشند. اغلب این رنگ بعنوان پوشش نهایی TOP COAT برای حفاظت و سائیل در برابر شرایط جوی بکار می رود.

پیشنهادات:

در مواردی بکار می رود که ثبوت، پایداری و صیقلی بودن رنگ اهمیت اساسی نداشته باشد. از امولسیون اکریلیک بعنوان زیر رنگ پوشش بتون و دیگر مصالح ساختمانی استفاده می شود.

COATING SYSTEM SELECTION

طریقه انتخاب پوشش مناسب

انتخاب یک پوشش مناسب به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد.

ENVIRONMENTAL RESISTANCEمقاومت در برابر شرایط محیطی

یک پوشش مناسب می بایست مقاومت خوبی در برابر مواد شیمیایی، درجه حرارت و رطوبت محیط داشته باشد.

APPEARANCEوضعیت ظاهری

صیقلی بودن و داشتن ظاهری دلپذیر برای وسایلی که دائماً در معرض دید عموم می باشند، مانند مخازن آب، حفاظ خط آهن و دیگر وسایل از اهمیت خاصی برخوردار است.

SAFETYایمنی

سمی بودن ماده رنگی یا حلالهای آن باعث محدود نمودن مصرف رنگ می شود. چرا که کنده شدن و حل شدن احتمالی آن را می باید مد نظر قرار داد. حلالهایی که حالت فرار و قابل اشتعال دارند را نباید در محیط های بسته که امکان تهویه آن وجود ندارد، مصرف نمود.

SURFACE PREPRATIONآماده نمودن سطح

تمیز نمودن سطح توسط فشار هوا در پالایشگاه ها و در مجاورت دستگاه های الکترونیکی و هیدرولیکی ممنوع است. سازه هایی که عمر طراحی آنها زیاد است و امکان تعمیر و یا تعویض رنگ اعمال شده بر روی آنها وجود ندارد، بهتر است، توسط رنگهایی پوشش داده شوند، که دارای عمر بالایی هستند. برای اعمال رنگهایی مانند POLYESTERS و VINYLESTERS که دارای مقاومت بالایی است، سطح فلز قبلاً توسط SAND BLAST ماسه پاشی می بایست کاملاً تمیز شده و سپس توسط اسپری رنگ آمیزی شود. اگرچه اعمال رنگ به این روش گران تر است، ولی مقاومت بالا و عمر زیاد آن توجیه کننده قیمت آن است. اغلب استانداردهایی که در ارتباط با تمیز کردن سطح نوشته شده است از استاندارد سویدی SSPC و NACE اتحادیه مهندسان خوردگی که بیشتر در امریکای شمالی بکار گرفته می شود، استفاده شده است. این استانداردها روی تمیزی سطح تکیه داشته اند و بحثی در باره زبری حاصله از روشهای تمیز کردن و همچنین

میزان از بین بردن آلودگیهای غیر قابل رؤیت نکرده اند. سطح فلز گذشته از تمیزی، زبر نیز باید باشد تا پیوند مکانیکی لازم جهت اتصال رنگ با سطح فلز حاصل آید.



عکس فوق بخشهایی از سازه یک دکل حفاری در حال آماده سازی جهت رنگ آمیزی را نشان می دهد.

سایش مکانیکی حاصل از برخورد ذرات ماسه با فلز به سطح نمونه، باعث زبر شدن آن می شود، اگر دندانها و پستی و بلندی ایجاد شده عمیق باشند، ممکن است حتی پس از اعمال رنگ سطحی زبر داشته باشیم. یک قاعده کلی وجود دارد، هرچه زبری سطح بیشتر باشد چسبندگی رنگ بیشتر است. اگر سطح قطعه پس از اعمال رنگ همچنان زبر بماند، خلل و فرج موجود مکان مناسبی برای شروع حفره های خوردگی خواهد شد. لذا هرچه زبری سطح بیشتر باشد، لازم است ضخامت رنگ اعمال شده، بیشتر باشد، تا سطح رنگ شده کاملاً صیقلی شود. معمولاً تمیز نمودن سطح با پاشش مواد کانی MINERAL ABRASIVE BLASTING زبری در حد 100-130

μm ایجاد می کند، این به اندازه ذرات ماسه و سرعت برخورد آنها با سطح بستگی دارد. ولی ذرات فلز زبری در حد $278\mu\text{m}$ ایجاد می کنند، در صورتیکه این ذرات بشکل مناسبی دانه بندی شده باشند، زبری در حد $50-115\mu\text{m}$ ایجاد خواهند نمود، که برای اغلب رنگ ها مناسب است. اگرچه بعضی از رنگهای شدیداً تنیده مانند POLYESTER , VINLYESTER نیاز به زبری بیشتری دارند. تمیز کردن سطوح از آلودگیهای غیر قابل رؤیت مشکل است. برای مثال یون کلرید حتی پس از سفید کردن سطح فلز توسط ماسه پاشی روی سطح باقیمانده و در ناحیه مرز دانه ها رسوب می کند. یون کلرید در مجاورت رطوبت می تواند تولید کلرید آهن نماید و باعث تخریب رنگ شود. بخصوص برای سازه هایی که در نواحی مرطوب کار می کنند، وجود این یونها بسیار خطرناک است. روش زدودن این یونهاى محلول در آب از روی سطح فلز، شستشوی سطح قبل از رنگ پاشی است. شستشو باعث حل شدن یونها در آب و جدا شدن آنها از سطح می شود. روش دیگر استفاده از زیر رنگها است، که باعث خنثی نمودن نمکهای فلزی شده و در مجاورت رطوبت فعالیت خوردنگی آنها را از بین می برد.

جهت اعمال رنگ لازم است، سطح از آلودگیهایی چون گرد و غبار، کثافات، نمکها، روغن و گریس، رنگهای کهنه و محصولات خوردنگی تمیز گردد، وجود هر کدام از آلودگیهای نامبرده شده روی سطح، باعث جلوگیری از چسبیدن رنگ به سطح و یا تخریب سریع رنگ می شود. به علت کشش سطحی، رنگ در نواحی لبه های تیز و گرده های جوش، نازکتر از نواحی دیگر می شود، این مناطق محلهایی ضعیف جهت تخریب رنگ می شوند. لذا لازم است، قبل از اعمال رنگ این نواحی از حالت تیزی خارج شوند. نواحی گود نیز محلی جهت جمع شدن ذرات و ضخیم شدن رنگ است، لذا شکاف ها و حفره های سطحی قبل از اعمال رنگ باید با جوش پر شده و سپس ساییده شوند. حفره ها و شکاف هایی که قابل پر شدن نیستند، قبل از اعمال رنگ باید تمیز

شوند. پس از تمیز کردن در مواردی لازم است که، پیش از رنگ، زیر رنگ اعمال شود تا چسبندگی مکانیکی کامل برقرار شود.

METHODS OF SURFACE PREPRATION روشهای آماده سازی سطح

روشهای بکار گرفته شده برای آماده سازی زیر رنگ عبارتند از:

۱. شست و شوی سطح توسط مواد شیمیایی و حلال ها.

۲. تمیز کردن سطح توسط بخار آب.

۳. تمیز کردن سطح توسط وسایل دستی.

۴. تمیز کردن سطح توسط ابزار مکانیکی قدرتی.

۵. تمیز کردن سطح توسط فشار آب.

۶. تمیز کردن سطح توسط پاشاندن مواد ساینده.

هرکدام از روش های بالا را به صورت مختصر شرح می دهیم:

۱- شست و شوی سطح توسط مواد شیمیایی و حلال ها:

بر اساس استاندارد API، SSPC تمیز کردن سطح از مواد روغنی و گریس قبل و یا هم زمان با عملیات مکانیکی آماده سازی سطح صورت می پذیرد. لازم است، حلال شیمیایی دائماً تعویض گردد، زیرا در اثر تمیز کردن سطح آلوده می شود و در مرحله ی آخر لازم است، سطح توسط یک حلال تازه شسته شود. این مواد نباید با پوست بدن و یا چشم تماس پیدا کند، همچنین در جایی که احتمال ایجاد جرقه و یا آتش رو باز باشد، نباید مورد استفاده قرار گیرند. از معایب حلال های شیمیایی، این است که، قادر به زدودن محصولات خوردگی نمی باشد، همچنین اکثر آنها سمی و قابل اشتعال هستند، در صورتی که در مکان های سر بسته از آن ها استفاده شود، لازم است تهویه انجام شود.

۲- تمیز کردن سطح توسط بخار آب.

برای تمیز کردن گرد و خاک، روغن و گریس از بخار آب با درجه حرارت و فشار بالا استفاده می شود، البته بخار آب سطح را زبر نمیگرداند. بمنظور افزایش قدرت پاک کنندگی می توان به آن مواد تمیز کننده افزود. پس از این مرحله بایستی در نواحی که رنگ کهنه و یا محصولات خوردگی وجود دارد، توسط برس تمیز شوند.

۳- تمیز کردن سطح توسط وسایل دستی HAND TOOL CLEANING

بر اساس استاندارد SSPC SP2 از این وسایل جهت تمیز کردن سطح از رنگهای کهنه، رسوبات و محصولات خوردگی استفاده می شود. از آنجاییکه این روش چندان سریع نیست، فقط برای تمیز کردن نواحی کوچک بکار گرفته می شوند. وسایل دستی عمدتاً عبارتند از: برس سیمی، کاردک، سمباده و چکش سوزنی، معایب این روش عبارتند از: پایین بودن سرعت عملیات، عدم توانایی در تمیز کردن سطح رسوبات سخت و چسبیده مانند رسوبات و گرد و غبار جمع شده در شیارها و حفره ها، همچنین این وسایل قادر به تمیز کردن چربی، گریس و روغن نمی باشند. آماده سازی سطح توسط وسایل دستی اغلب، باعث صدمه زدن و تخریب فلز نیز می شود.

۴- تمیز کردن سطح توسط وسایل ماشینی POWER TOOL CLEANING

بر اساس استاندارد SSPC SP3 از این وسایل جهت تمیز کردن سطح از رنگهای قدیمی، رسوبات و گرد و غبار استفاده میشود. این وسایل برای تمیز کردن سطوح جوشکاری شده نیز مناسب هستند. این وسایل با برق و یا فشار هوا کار می کنند و عبارتند از: ماسه پاشی، برس سیمی، سنگ سمباده، تفنگ سوزنی و رسوب زدای چرخنده، این وسایل برای تمیز کردن سطوح کوچک بکار می روند چرا که سرعت آنها نسبتاً کم است. میزان گرد و غباری که این وسایل پس از تمیز کاری بجا می گذارند، کمتر از دستگاه های ماسه زنی است. اغلب از این وسایل برای زمانی استفاده می شود که، کار با دستگاه های ماسه زنی باعث

صدمه زدن به وسایل و امکانات جانبی شود. جهت صیقلی نمودن سطح از این وسایل نیز می توان استفاده نمود. در صورتیکه سرعت دستگاه را زیاد کنیم و یا برای مدتی آنرا در یک نقطه نگه داریم باعث صیقلی شدن سطح می شود.

۵ - تمیز کردن سطح توسط پاشش آب WATER BLAST CLEANING

برای این منظور بسته به شرایط میتوان از آب با فشار بالا و یا پایین و یا بصورت سرد یا گرم و یا با ماده شوینده و یا بدون آن استفاده نمود. از این روش جهت تمیز کردن گرد و غبار، رنگ و رسوبات استفاده می شود و همچنین در موادی که گرد و غبار باعث صدمه زدن به ماشین آلات و امکانات می شود، بجای ماسه پاشی استفاده می شود. فشار آب در این سیستم حداقل 2000 PSI و حداکثر 10000 PSI و میزان جریان آب 30 - 38 L/min می باشد.

آب به تنهایی قادر به تمیز کردن سطح از رسوبات سخت و چسبنده نیست، در این موارد مقداری ذرات سخت و ساینده مانند ماسه مورد استفاده در سیستم ماسه پاشی به آب اضافه می شود. بمنظور جلوگیری از تخریب پمپ آب، ماسه پس از پمپ وارد سیستم می شود، بطوریکه ماسه وارد پمپ نشده و با آن تماس برقرار نمی کند. در این سیستم آب در یک مدار باز حرکت می کند و بازیافت نمی شود. باقی ماندن آب در سطح فولاد باعث تشکیل یک لایه زنگ آهن می شود. برای حل این مشکل اغلب به آب مقداری مواد ضد خوردگی مانند سدیم یا پتاسیم کرمات اضافه می کنند، این باعث به تأخیر انداختن تشکیل لایه خوردگی تا هفت روز می شود. در این شرایط پس از خشک شدن رطوبت سطحی، مقداری نمک کرومات روی سطح باقی می ماند که باعث کاهش چسبندگی رنگ به سطح فولاد می شود. به همین دلیل باید دقت شود که رنگی که بکار برده خواهد شد، با این نمک سازگار باشد.

۴- تمیز کردن سطح توسط پاشش مواد ساینده با هوای فشرده ABRASIVE BLAST

CLEANING

این روش برای سطوحی که نیاز به تمیز کاری زیاد دارند، مورد استفاده قرار می گیرد و تنها روشی است که قادر است کلیه رسوبات را از روی سطح بردارد و زبری لازم جهت زیر رنگ را فراهم کند. در این روش ذراتی ریز و سخت چون ماسه با سرعتی بیش از 320-640 Km/h به سطح برخورد کرده و باعث خورد کردن و جدا نمودن رسوبات می شوند، در این سیستم اغلب از ذرات ساینده چندین بار استفاده می شود.

هوای فشرده شده توسط کمپرسور اغلب حاوی مقداری رطوبت و ذرات روغن و چربی می باشد. هرچه رطوبت موجود در محیط بیشتر باشد، رطوبت هوای فشرده شده بیشتر خواهد بود. برای رطوبت زدایی از هوای فشرده، از رطوبت گیر استفاده می شود. رطوبت گیر های مخروطی قادرند ۹۵٪ رطوبت موجود در هوا را جذب نمایند.

مواد ساینده ABRASIVE MATERIAL این مواد اثر مستقیمی بر روی زبری و تمیزی سطح دارند، مهمترین مشخصه این مواد عبارتند از: اندازه، سختی، شکل و جنس ذرات است.

اندازه SIZE

هرچه اندازه ذرات بزرگتر باشند، زبری سطح تمیز شده بیشتر می شود. این باعث کاهش سرعت تمیز کردن سطح می گردد. چراکه هرچه ذرات بزرگتر باشند، تعداد ذراتی که در واحد زمان به یک سطح ثابت برخورد می کند، کمتر است.

سخت HARDNESS

هرچه سختی ذرات بیشتر باشد، عمق حفره های ایجاد شده بیشتر می شود. ذرات سخت و شکننده که در اثر برخورد با سطح فلز شکسته می شوند، قدرت تمیز کنندگی شان کاهش می یابد.

PARTICLE SHAPE شکل ذرات

اندازه و شکل ذرات اثر مستقیمی روی شکل و اندازه پستی و بلندیهای ایجاد شده بر روی سطح فلز دارند. گلوله های فولادی که کروی هستند، ایجاد سطحی موجی شکل می کنند. ذرات ماسه ای که گوشه های تیز داشته باشند، ایجاد سطحی دندانه دار می کنند، شبیه شیارها و بریدگیهایی که ماهی در ساحل ماسه ای دریا ایجاد می کند. ذرات ماسه و پودر سرباره کوره های قوس الکتریکی که حالت گوشه دار و مدور دارند، سطوحی حد فاصل دو نوع ایجاد می کنند.

MATERIAL جنس

ذرات ساینده نباید در آب حل شوند و PH آنها باید خنثی بین ۶ تا ۸ باشد. معمولترین این ذرات دانه های ماسه سیلیسی، اکسید آلومینیم و اکسید طبیعی فلزات می باشد، این مواد تولید گرد و غبار و رسوبات مضر نمی کنند، ولی بدلیل گرانی لازم است چندین بار مورد استفاده قرار گیرند.

COATING APPLICATION روشهای رنگزنی

روش های مختلفی برای رنگزنی وجود دارد. انتخاب روش مناسب به نوع رنگ بستگی دارد. برای مثال جهت اعمال رنگهای متالیک ZINC RICH COATING می بایست از روش پاشش SPRAY استفاده کرد. مگر برای مواردی که سطح مورد نظر خیلی کوچک باشد، در ضمن استفاده از هم زن برای جلوگیری از رسوب ذرات سنگین نیز لازم می باشد.

رنگ های CHLORINATED VINYL RUBBERS نیز اغلب با ترکیباتی تهیه می شوند که لازم است، از روش پاشش SPARY جهت اعمال آنها استفاده گردد. ولی رنگ های ALKIDS OIL BASE اغلب توسط برس اعمال می شوند. در عین حال براحتی می توان آنها را به روش پاشش اعمال نمود. در مواردی که هدف از رنگ رزی حفاظت در برابر خوردگی است، روش پاشش مناسبتر از برس است. رنگهایی که پاشانده می شوند، به صورت یکنواخت و با ضخامت مناسب و با ظاهری بهتر نسبت به روشهای دیگر می باشند. بخصوص اگر روش پاشاندن رنگ به صورت بدون استفاده از فشار هوا باشد. سرعت رنگ رزی با روش پاشاندن بسیار بیشتر از استفاده از برس و یا غلتک است.

BRUSHING

رنگزنی با برس

رنگزنی با برس یکی از روشهای ساده و نسبتاً مؤثر است. بخصوص اگر برای اعمال زیر رنگ استفاده شود. اگر چه سرعت رنگزنی در این روش کم است، ولی توانایی آن برای اعمال رنگ در حفره ها و سطوح شکسته زیاد است. به همین دلیل از این روش برای رنگزنی سطوح کوچک، ولی با شکستگی زیاد در سطح یا در مواردی که استفاده از روشهای دیگر میسر نباشد، استفاده می شود. یکی دیگر از معایب این روش یکنواخت نبودن ضخامت لایه رنگ اعمال شده می باشد. برس هایی که از الیاف طبیعی و با کیفیت خوب تهیه شده باشند، برای رنگزنی مناسبترند. در عین حال از برس هایی که از الیاف مصنوعی و مقاوم در برابر حلالهای قوی رنگ تهیه می شوند نیز، می توان استفاده نمود. موهای برس اعم از اینکه از بافت طبیعی یا مصنوعی ساخته شده باشند، پس از مدتی کار کرد سست می شوند. برس هایی که سر موهای آنها شکاف دارد، بدلیل اینکه مقدار بیشتری رنگ را در خود ذخیره می کنند، مناسبترند. برس هایی که موهای آنها از جنس نایلن و یا پلی ستر است، بدلیل مقاوم بودن در برابر آب جهت رنگ زدن بهتر است.

ROLLINGرنگزنی با غلتک

غلتک ها برای رنگزنی سطوح صاف و بزرگ که نیاز به سطح صاف و صیقلی ندارد، بکار برده می شوند. همچنین جهت رنگزنی سطوح داخلی که امکان رنگزدن به روش پاششی ممکن نیست، مناسب اند. استفاده از برس برای زیر رنگ به دلیل نیاز به بالا بودن قدرت نفوذ رنگ در حفره ها، شکستگی ها و شکاف های موجود در سطح مناسبتر از غلتک است. به هر حال به دلیل اینکه در روش رنگزنی با غلتک نقاطی رنگ نشده باقی می ماند، بهتر است از این روش تنها برای اعمال رنگ رویه استفاده شود. هرچه رشته موهای موجود در غلتک ها بلندتر باشد، مقدار بیشتری رنگ در خود نگه می دارد، ولی سطح رنگ زبرتر خواهد بود. به همین دلیل از غلتک های با پرز بلند برای رنگزنی سطوح ناصاف استفاده می شود. در صورتیکه طول پرزهای غلتک بیشتر از 32mm باشد، کیفیت رنگ کم می شود. برای مواردی که کیفیت کار مهم باشد، از روش رنگزنی با غلتک استفاده نمی شود. بخصوص رنگهایی که سریع خشک می شوند، با این روش قابل اعمال نیستند.

SPRAY PAINTINGرنگزنی به روش پاشش

رنگ اعمال شده به این روش بسیار صیقلی و یکنواختتر از روش های اعمال با برس و غلتک می باشد. روش های پاشش به دو صورت معمولی و بدون هوا می باشد. روش معمولی.

در این روش هوای فشرده با جریان رنگ مخلوط شده و آنرا به صورت پودر از دهانه نازل بیرون می فرستند. بدلیل حجم بالای هوای مصرف شده در این روش میزان رنگ از دست رفته ناشی از قطراتی که به سطح برخورد کرده و باز می گردند و یا نواحی که لایه رنگ اعمال شده بیش از حد ضخامت دارد، زیاد است. میزان رنگ دور ریخته شده در این روش بسته به شکل سطحی که رنگ شده، بین ۳۰ تا ۴۰ درصد می باشد. جریان رنگ و هوا در این سیستم بسته

به شرایط رنگ قابل تنظیم است. جهت رنگزنی سطوح بی قاعده، جریان پاشش رنگ را در این روش به صورت بسیار دقیقی نسبت به روش پاشش بدون هوا، میتوان تنظیم نمود. به همین دلیل کیفیت سطوحی که توسط این روش رنگ شده اند، از نظر صیقلی بودن خیلی بالاتر از روش بدون هوا است. ولی این روش دارای معایبی به شرح زیر نیز می باشد.

۱- سرعت رنگزنی در این روش کمتر از سرعت رنگزنی با روش بدون هوا است.

۲- میزان شره رنگ در این روش بیش از روشهای دیگر است.

۳- رنگ زدن گوشه ها، شکاف ها و موارد مشابه توسط این روش بدلیل قطراتی که به سطح بر خورد کرده و باز می گردند، مشکل است.

با این همه این روش یکی از معمولترین روشها رنگ پاشی است که مورد استفاده فراوانی

دارد.

AIRLESS SPRAY

پاشش رنگ بدون هوا

در این روش میزان رنگ پاشیده شده در واحد زمان بیش از روش با هوا است، بدلیل سرعت رنگ پاشی بالاتر، ناهمواریهای ایجاد شده در سطح لایه رنگ اعمال شده بیشتر است. در این روش رنگ با فشار زیاد از دهانه یک نازل کوچک خارج شده و به صورت پودر به سطح کار برخورد می کند. بخاطر فشار بالای رنگ، در این روش با سرعت بیشتری می توان لایه های ضخیمی از رنگ ایجاد نمود، همچنین گوشه ها، حفره ها و شکاف های سطحی را با دور ریز کمتری از رنگ می توان پوشش داد.

تکنیک مناسب در بکار گیری این روش، اساس کیفیت رنگ است. اگر تکنیک بکار گرفته شده مناسب نباشد، ضخامت لایه رنگ یکنواخت نبوده و انواع حفره ها و نقص های دیگر بوجود خواهد آمد.

مزایای روش پاشش رنگ بدون هوا نسبت به روش پاشش رنگ با فشار هوا عبارتند از:

- ۱- ضخامت های بیشتری از رنگ با این روش قابل اعمال است.
 - ۲- میزان رنگی که در اثر برخورد به سطح بر می گردد و غبار رنگ در این روش کمتر است.
 - ۳- رنگ پاشی در این روش راحت تر است، چو رنگزن تنها یک شیلنگ لاستیکی را باید حمل کند.
 - ۴- رنگ هایی که دارای گرانیوی بالایی هستند، با این روش قابل اعمال هستند.
 - ۵- نظافت در این روش راحت تر است.
- معایب روش پاشش رنگ بدون هوا نسبت به روش پاشش رنگ با هوا عبارتند از:

- ۱- خطرات احتمالی به خاطر فشار بالای سیستم.
- ۲- چون در این روش هوا با رنگ مخلوط نمی شود، لذا امکان تنظیم اندازه ذرات رنگ وجود ندارد.
- ۳- در این سیستم تجهیزات زیادی مورد نیاز است که در هنگام کار ممکن است خراب شوند.
- ۴- قیمت اولیه سیستم زیاد است.
- ۵- در این روش می بایست دقت زیادی به عمل آید تا رنگ اعمال شده دارای ضخامت یکنواختی باشد و همچنین حفره، شره و تاول بوجود نیاید.

QUALITY ASSURANCE

تضمین کیفیت رنگ

- شرط لازم جهت حفاظت سازه ها در برابر خوردگی تنها انتخاب رنگ مناسب نیست، بلکه طریقه اعمال صحیح آن نیز مهم است. اصول کنترل کیفیت رنگ عبارتند از:
- ۱- پوششهای محافظ و مناسب موجود بر روی سطوح نه باید از بین برده شده و یا روی آنها رنگ زده شود.

۲- قبل از رنگ آمیزی می باید سطوح از گرد و غبار و آلودگیها پاک گردد و یک زبری مناسبی جهت زیر رنگ ایجاد شود.

۳- متناسب با ضخامت لایه رنگ مورد نظر، یک روش رنگرزی انتخاب گردد.

۴- پارامترهای مؤثر در کیفیت رنگ از قبیل درجه حرارت محیط، فاصله زمانی بین دو لایه رنگ اعمال شده و زمان بندش آنها می بایست مورد توجه قرار گیرند.

۵- تعیین مواد سخت کننده مورد نیاز.

۶- آزمایش به منظور اطمینان از عدم وجود حفره های نوک سوزنی، محل های رنگ نشده و از قلم افتاده.

۷- آزمایش پوشش از نقطه نظر میزان چسبندگی به زیر رنگ، وضعیت ظاهری رنگ، جلا و دیگر پارامترهای مؤثر در کیفیت پوشش است.

بازرسی رنگ نیاز به آموزش، تجربه و آشنایی به وسایل بازرسی و کنترل کیفیت رنگ دارد. در این زمینه دوره هایی توسط واحد های معتبر برگزار می شود. در این قسمت اشاره مختصری به مراحل و وسایل بازرسی رنگ می شود.

INSPECTION SEQUENCE مراحل بازرسی

اغلب، بازرسی قبل از شروع کار به صورت یک سری دستورالعمل های اولیه مطرح است. در حین بازرسی کسیکه نظارت بر حسن انجام کار را دارد، مسؤل تهیه و تایید مدارک بازرسی فنی می باشد. نکات مهمی که هر بازرس در زمان بازرسی فنی می بایست مد نظر داشته باشد، به عبارت زیرند:

۱- بازرسی آماده سازی سطح زیر رنگ.

۲- اندازه گیری شرایط محیطی.

۳- بررسی تمیزی هوای فشرده و دیگر وسایل مورد مصرف جهت آماده سازی سطح زیر رنگ.

۴- تعیین شرایط مطلوب سطح زیر رنگ.

۵- نظارت بر آماده سازی رنگ.

۶- بازرسی وسایل رنگرزی.

۷- بازرسی پوشش.

۸- تعیین ضخامت رنگ مرطوب.

۹- تعیین ضخامت رنگ خشک.

۱۰- بررسی تمیزی سطح زیر رنگ.

۱۱- آزمایش رنگ از نقطه نظر حفره ها و قسمت‌های از قلم افتاده.

۱۲- بررسی چسبندگی و محافظت کنندگی پوشش.

۱- بازرسی آماده سازی سطح زیر رنگ SURFACE PREPRATION INSPECTION

قبل از اعمال پوشش لازم است، زیر رنگ از هرگونه گرد و غبار، چربی، گریس، رسوبات و دیگر آلودگیهای سطحی تمیز گردد. همچنین لازم است، لبه های تیز و گوشه ها با شعاع تقریبی 3.2 mm گرد شوند. حفره ها و سوراخهای غیر معمول می بایستی از بین برده شده و یا پر شوند. سطوحی که نبایستی رنگ شوند، می بایستی پوشانده شوند.

۲- اندازه گیری شرایط محیطی MEASUREMENT OF AMBIENT CONDITION S

رطوبت نسبی هوا و دمای سطح زیر رنگ از اهمیت زیادی برخوردار است. تغییر درجه حرارت هوا در نیمه های شب و اوایل صبح باعث تشکیل قطرات آب یا شبنم می شود، برای این منظور قبل از تمیز کردن سطح و آماده سازی آن جهت زیر رنگ لازم است، نقطه شبنم، اندازه گیری شود. برای این کار از PSYCHROMETER استفاده می شود. این وسیله ای

است که رطوبت نسبی و نقطه شبنم را اندازه گیری می کند. جهت حصول اطمینان از عدم وجود شبنم لازم است، دمای سطح زیر رنگ سه درجه سانتی گراد بالاتر از نقطه شبنم باشد.

۳- بررسی تمیزی هوای فشرده و دیگر وسایل مورد مصرف جهت آماده سازی سطح زیر رنگ

EVALUATION OF COMPRESSED AIR AND SURFACE PREPARATION EQUIPMENT

روزی چند بار لازم است هوای فشرده مورد مصرف جهت رنگ پاشی از نقطه نظر تمیزی و عاری بودن از روغن و رطوبت مورد آزمایش قرار گیرد. برای این منظور مقداری کاغذ روزنامه یا پارچه سفید را برای مدت ۲ دقیقه در فاصله 50 – 60 Cm از دهانه نازل قرار داده و به آن هوا می زنیم، پس از آن کاغذ روزنامه یا پارچه سفید را مورد بررسی قرار می دهیم، از روی بو و رطوبت آن به وجود و یا عدم وجود رطوبت یا روغن در هوای فشرده شده پی می بریم. اغلب، این بررسی از طریق نگاه کردن، لمس کردن و یا بوییدن صورت می پذیرد.

۴- تعیین شرایط مطلوب سطح زیر رنگ

PREPARATION CLEANLINESS , AND PROFILE

یکی از مهمترین فاکتورها در تعیین کیفیت رنگ سطح زیر رنگ می باشد. هرگونه اغماض و چشم پوشی در آماده سازی مناسب سطح زیر رنگ باعث کاهش کیفیت پوشش می گردد. دو نکته اساسی در آماده سازی سطح زیر رنگ یکی تمیزی آن از گرد و غبار، چربی ها، رسوبات و دیگر آلودگیهاست و دیگری زبری مناسب جهت ایجاد چسبندگی لازم بین سطح زیر رنگ و پوشش است. تمیزی سطح را توسط بازرسی چشمی بر طبق استاندارد می توان مورد تایید قرار داد. ولی برای تعیین زبری مناسب از وسایل مخصوص اندازه گیری زبری سطح استفاده می شود. این وسایل شامل یک سوزن که قادر است وارد حفره ها و پستی و بلندیهای سطح شود و یک فنر که تماس سوزن و سطح را حفظ

می کند و یک میکرومتر که پستی و بلندیها را اندازه گیری می کند، می باشند. همچنین به گونه ای ساخته شده اند که در اثر حرکت بر روی سطح، قادرند پروفیلی از سطح روی یک صفحه را رسم دهند.

۵- نظارت بر آماده سازی رنگ از نظر مخلوط کردن و رقیق کردن WITNESSING

COATING MIXING AND THINING

اغلب رنگها از مواد با دانسیته های مختلف ترکیب یافته اند، در اثر انبار کردن پس از مدتی مواد با دانسیته بالاتر ته نشین می شود. بمنظور همگن نمودن، قبل از اعمال آن لازم است، رنگها کاملا، مخلوط شوند. در صورتیکه رسوبات به گونه ای ته نشین شده باشند که امکان همگن نمودن رنگ موجود نباشد، باید رنگ دور ریخته شود.

۶- بازرسی وسایل و روش رنگرزی INSPECTION OF APPLICATION

EQUIPMENT AND TECHNIQUES

یکی از مواردی که اغلب باعث ایجاد مشکل در وسایل رنگرزی می شود، تمیز نبودن تفنگ رنگ پاشی و پمپ رنگ از بقایای رنگ است. ذرات رنگ و بقایای رنگ باقی مانده از رنگ پاشی های مراحل قبل در پمپ، شیلنگ ها و یا تفنگ رنگ پاشی انباشته شده و باعث ایجاد مزاحمت در مسیر حرکت رنگ می شود. در هنگام کار بایستی وسایل ایمنی و شیرهای اطمینان دستگاه مورد بررسی قرار گیرند و از عملکرد صحیح آنها مطمئن شد. همچنین اصول تکنیک نیز بایستی مورد بررسی قرار گیرد. برای مثال آیا فاصله تفنگ رنگ پاشی با کار به صورت مناسبی تنظیم شده است؟ آیا تفنگ رنگ پاشی نسبت به سطح کار عمود است؟ آیا سرعت پاشش رنگ یکنواخت است؟

COAT INSPECTION

۷- بازرسی پوشش

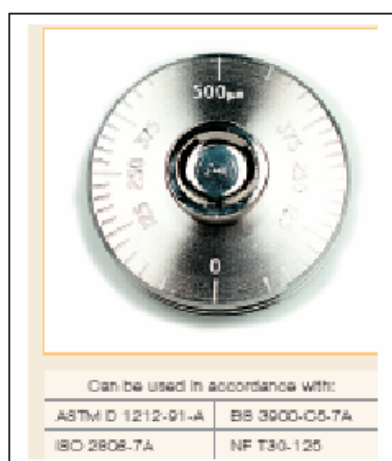
رنگ اعمال شده می بایست، مورد بازرسی چشمی قرار گیرد، پوشش اعمال شده می بایست، عاری از هرگونه اثر برس و یا رنگ شره کرده باشد، سطح رنگ می بایست کاملاً صاف و صیقلی و براق باشد، رنگ اعمال شده باید کاملاً یکنواخت در کلیه سطوح و لبه ها و گوشه ها باشد. وجود هرگونه برآمدگی (تاول زدن) در اثر وجود ذرات جامد در رنگ که حل نشده باشند و یا پاکت های هوا که در زیر سطح حبس شده باشند، قابل قبول نیست.

۸ - تعیین ضخامت لایه رنگ مرطوب WET – FILM THICKNESS READINGS

ضخامت سنجی فیلم تر

معمولاً این ضخامت سنجی بلافاصله پس از اعمال رنگ اندازه گیری می شود که به دو روش Eccentric Wheel, Comb Gage اندازه گیری می شود. Eccentric Wheel بدین گونه استفاده می شود که صفر چرخ بر روی ساعت ۶ قرار میگیرد و با چرخش ۱۸۰ درجه به سمت چپ و راست در جایی که توسط رنگ خیس می شود، مقدار ضخامت خوانده می شود. در روش Comb Gage که از شانه تشکیل شده است، آنرا بر روی رنگ قرار داده و بوسیله تر شدن نوک شانه میزان ضخامت رنگ اندازه گیری می شود.

عکسهای زیر وسائل اندازه گیری ضخامت فیلم تر را نشان می دهد.



اندازه گیری ضخامت لایه رنگ در حالت مرطوب به رنگزن امکان تخمین زدن رنگ مصرفی را می دهد. نسبت ضخامت لایه رنگ مرطوب به رنگ خشک با درصد حجمی مواد جامد رنگ متناسب است. ضخامت لایه مرطوب برابر است با:

ضخامت لایه خشک شده

درصد حجمی مواد جامد رنگ

در صورتیکه از مواد رقیق کننده (تینر) استفاده شود: ضخامت لایه مرطوب برابر است با نسبت فوق به اضافه درصد تینر اضافه شده.

۹ - تعیین ضخامت لایه خشک شد DRY- FILM THICKNESS

MEASUREMENTS

ضخامت سنجی فیلم خشک

ضخامت سنجی میتواند توسط روشهای مخرب، محاسبات یا آزمایشات غیر مخرب انجام گیرد، معمولاً در صنعت از روشهای غیر مخرب استفاده می کنند که به دو نوع زیر تقسیم بندی می شوند.

الف) الکترونیکی: این دستگاهها بر دو اساس مغناطیسی و جریان گردابی کار می کنند، دستگاه های مغناطیسی رنگ بر پایه فلز فرو مغناطیس و در روش جریان گردابی می توان رنگ بر پایه فلز غیر فرو مغناطیس را اندازه گیری کرد.

ب) روش مغناطیسی: در این روش با استفاده از آهن ربا بدون باتری و از جمله می توان به PULL OF GAGE و HORSESHOE GAGE اشاره نمود. لازم به ذکر است که این روش قدیمی بوده و امروزه از دستگاه های الکترونیکی که قابلیت انتقال اطلاعات به کامپیوتر و پردازش اطلاعات را دارند استفاده می شود.

این کار پس از اینکه رنگ کاملاً خشک شد، صورت می پذیرد. وسایل اندازه گیری ضخامت لایه رنگ خشک شده که بر روی فولاد اعمال شده است، از نوع مغناطیسی است. این وسایل اگر در شرایط مناسب کار کنند، خطایی در حد ۵-۱۵٪ دارند. اساس کار این وسایل کلاً بر پایه ۴ مکانیزم است.

الف: هرچه ضخامت لایه رنگ خشک شده بیشتر باشد، فاصله آهن ربا تا سطح فولاد بیشتر شده و نیروی کمتری برای جدا سازی آن از سطح لازم است، این نیرو را با ضخامت رنگ می توان کالیبره نمود.

ب: هرچه ضخامت لایه رنگ بیشتر باشد، شار مغناطیسی عبور داده شده از فولاد کمتر است و از طریق اندازه گیری میدان مغناطیسی می توان ضخامت لایه رنگ خشک شده را اندازه گیری کرد.

ج: هرچه ضخامت لایه رنگ بیشتر باشد، پس ماند جریان القاء شده در اثر تغییرات میدان مغناطیسی که تولید جریان های گردابی، سرگردان می کند، کمتر است. اندازه گیری جریان پس ماند روشی برای اندازه گیری ضخامت رنگ خشک شده است.

د: یکی از روشهای اندازه گیری لایه رنگ خشک شده به طریق مخرب می باشد. در این روش یک تکه رنگ را کنده و ضخامت آنرا بدست میآورند، مزیت این روش آن است که می توان ضخامت لایه های مختلف پوشش را نیز بدست آورد.

۱۰- بررسی تمیزی بین سطح دو پوشش EVALUATING CLEANLINESS

BETWEEN COATS

در مواقعی که لازم است چند لایه رنگ روی یک سطح اعمال شود. بایستی قبل از اعمال لایه های متوالی رنگ، سطح پوشش قبلی از نقطه نظر تمیزی مورد بازرسی قرار

گیرد. وجود هرگونه گریس، روغن، گرد و غبار، فضولات پرندگان، سنگ ریزه و ماسه های ناشی از آسیاب سنگفرشها باعث کاهش کیفیت پوشش می شود.

۱۱ - آزمایش پوشش از نقطه نظر قسمت‌های از قلم افتاده و حفره های سوزنی

PINHOLE AND HOLIDAY TESTING

HoLiday آزمایش

یکی از روشها برای شناسایی نقاطی است که رنگ خوب اعمال نشده است و سطح فلز با محیط بیرون در تماس است، استفاده از HoLiday Detector است. با اعمال ولتاژ به سازه و کشیدن جاروب یا اسفنج خیس بر روی سطح با مشاهده جرقه یا شنیدن آلام دستگاه، موقعیت عیب شناسائی می شود. ولتاژ اعمالی وابسته به ضخامت لایه رنگ می باشد و توسط سازنده رنگ اعلام می شود.

قطعاتی که قرار است، در سیالات خورنده کار کنند یا در مسیر امواج و ترشحات مواد خورنده قرار خواهند گرفت، لازم است، پس از خشک شدن رنگ، پوشش توسط دستگاه های تشخیص نقص مورد بررسی قرار گیرد. تا از بی نقص بودن آن اطمینان حاصل شود. اساس کار این دستگاه ها بر پایه اسفنج مرطوب با جریان کم و ولتاژ بالای جریان مستقیم، قرار دارد. توسط این دستگاه ها می توان انواع نقص ها از قبیل : حفره های سوزنی، قسمت‌های از قلم افتاده و رنگ نشده را تشخیص داد. هرکدام از این نقص ها می تواند باعث تخریب زودرس پوشش گردد.

دستگاه هایی که با اسفنج مرطوب با ولتاژ ضعیف 30-67.5 V کار می کنند، قادرند به صورت غیر مخرب نقص های فوق اشاره را در پوششهایی که روی فلزات صورت پذیرفته است را تشخیص دهند. این وسایل جهت استفاده بر روی پوششهایی که ضخامت آن کمتر از 0.5mm است، مناسبند. دستگاه ها شامل یک نمایشگر، یک اتصال بدنه و یک الکتروود اسفنجی است. اتصال بدنه را به فلز پایه وصل کرده الکتروود اسفنجی را با آب آشامیدنی مرطوب می کنند.

الکترواسفنجی مرطوب را با سرعتی در حدود 4.5 – 6 m/min روی سطح پوشش حرکت داده می شود. در نواحی که پوشش نقص دارد، آب از اسفنج مرطوب با سطح فلز تماس برقرار نموده و اتصال کوتاه برقرار می شود. اتصال کوتاه ایجاد شده بر روی نمایشگر دستگاه توسط حرکت یک عقربه و یا علائم صوتی و یا نوری نمایش داده می شود. به این روش و جود نقص در پوشش تشخیص داده می شود.

دستگاه هایی که با ولتاژ بالا کار می کنند نیز مانند دستگاه هایی که با ولتاژ پایین کار می کنند، شامل یک اتصال بدنه، یک الکتروود و یک صفحه نمایشگر می باشند. برای بازرسی پوششهایی که بر روی مواد هادی جریان الکتریسته اعمال شده اند، بکار می روند. ولتاژ این دستگاه ها به ۲۰۰۰۰ ولت می رسد. طبق یک قاعده به ازاء هر یک هزارم اینچ لایه رنگ اختلاف پتانسیلی حدود ۱۰۰ ولت بکار می برند. روش کار با این وسیله مانند حالت قبل می باشد. با این تفاوت که در قسمت هایی که پوشش نقص دارد، برقراری اتصال کوتاه بین الکتروود اسفنجی و بدنه باعث ایجاد جرقه می شود. همچنین صفحه نمایشگر برقراری اتصال را نشان می دهد. به این صورت محل نقص موجود در پوشش مشخص می شود.

۱۲ - بررسی میزان چسبندگی رنگ به زیر رنگ. ADHESION TESTING

این آزمایش اغلب پس از اعمال پوشش در محل انجام می پذیرد. روشهای متفاوتی برای انجام این آزمایش وجود دارد، محدوده کار وسیعی در این زمینه موجود است. یکی از روشهای ساده در این زمینه جداسازی بخشی از رنگ توسط یک کاردک و اندازه گیری میزان چسبندگی آن به سطح کار است. این روش صرفاً تجربی بوده و به میزان تخصص افراد بستگی دارد. در این روش یک شکاف روی سطح رنگ ایجاد کرده و تیغه چاقو را زیر رنگ قرار میدهند. سپس با فشار سعی می شود رنگ را از سطح جدا نمایند، نیروی بکار رفته جهت جدا سازی رنگ از سطح متناسب با میزان چسبندگی رنگ به سطح است. برای اندازه گیری چسبندگی رنگ به سطح زیر

رنگ از روشهای دیگر که براساس مکانیزم فوق الذکر است، نیز استفاده می گردد. یکی از این روشها چسباندن یک گیره به سطح رنگ و خالی کردن اطراف گیره از رنگ، سپس توسط یک نیرو سنج گیره چسبیده به رنگ را آنقدر کشیده تا رنگ از سطح جدا گردد، نیروی لازم برای این عمل متناسب با میزان چسبندگی رنگ به سطح زیر رنگ است.

TEST FOR CURE آزمایش کیفیت پوشش

عوامل مؤثر در کیفیت پوشش هایی که از مواد آلی ترکیب یافته اند عبارتند از: دمای سطح، شرایط محیطی، ترکیب پوشش و ضخامت لایه رنگ است. جواب های واقعی این آزمایشات تنها از طریق بررسی آزمایشگاهی رنگ ها بدست می آید. ولی برای بررسیهای کارگاهی روشهایی نیز وجود دارد.

SOLVENT RUB ساباندن توسط حلال

برای بررسی کیفیت پوشش ها ی THERMOSETTING CROSS – LINK پارچه تمیزی را به یکی از حلال های قوی مانند: METHYL ISOBUTY KETON (MBK) یا METHYL ETHYL KETON (MEK) آغشته کرده و روی پوشش بکشید، در صورتیکه کیفیت پوشش به علت ترکیب نا مناسب و یا شرایط نا مناسب محیطی پایین باشد، مقداری از پوشش در حلال حل شده و پارچه رنگی می شود. ولی اگر کیفیت پوشش از نظر ترکیب و مخلوط کردن و شرایط اعمال مناسب باشد، پارچه همچنان تمیز باقی خواهد ماند، البته این عمل را برای پوششهایی که دارای ترکیبات قلیایی VINYL و یا CHLORINATED RUBBERS باشند، نمی توان انجام داد، چرا که این پوشش ها نسبت به این حلاها حساس می باشند.

SANDPAPER TEST آزمایش با سمباده

این آزمایش می تواند توسط دستگاه ROTARY ABRASER انجام شود. بر صفحه دیسکی شکل رنگ مورد نظر اعمال شده و توسط چرخ ساینده آزمایش می شود، این چرخ ها دارای درجه بندی مختلف هستند و بسته به نوع سایش مورد نظر انتخاب می شوند.

در صورتیکه کیفیت پوشش مناسب باشد، در اثر ساباندن پوشش با کاغذ سمباده، پودر نرمی از رنگ روی سطح کاغذ سمباده و سطحی صیقلی در محل سمباده زده شده، بجا خواهد ماند. ولی اگر کیفیت پوشش مناسب نباشد، پودر بجا مانده بر روی سمباده نرم نبوده و سطح سمباده زده شده نیز یکنواخت و صیقلی نخواهد بود.

HARDNESS TEST آزمایش سختی

سختی معمولاً، توسط دستگاه Koing ALbert انجام می شود، مکانیزم آن بدین گونه است که گلوله کرومی بر روی سطح مورد آزمایش بصورت آونگی حرکت می کند، تعداد برخورد با سطح توسط دستگاه شمارش می شود و به سختی تبدیل می شود. در اینجا هرچه سطح نرمتر باشد، گلوله در رنگ نفوز می کند، تعداد حرکات آونگی کمتر می شود.

هرگاه یک نیروی ثابت را به یک میله فرو رونده اعمال نمایند، میزان فرورفتگی ایجاد شده در پوشش، معیاری از میزان سختی رنگ است، که این را می توان مستقیماً از روی صفحه نمایشگر براساس شاخص های تعریف شده بدست آورد.

یکی دیگر از روشهای اندازه گیری سختی پوشش، روش مقایسه ایی است. هرگاه دو جسم با یکدیگر تماس حاصل نمایند و نسبت به هم حرکت داده شوند، بین آن دو جسم سایش ایجاد می شود و بر روی سطوح خراشهایی را می توان مشاهده نمود. در این روش جسمی خراشیده می شود که دارای سختی کمتری است. این معیاری برای مقایسه سختی پوشش، با اجسامی است که دارای سختی شناخته شده ایی هستند. معمولاً معیار مقایسه سختی رنگ ها، مداد سربی است. هرگاه مداد سربی را روی رنگ بکشیم سطح رنگ دچار خراش می شود، میزان

خراش به سختی رنگ بستگی دارد. هرچه رنگ سخت تر باشد، میزان خراشیدگی در اثر تماس مداد سربی کمتر است.

آزمایش انعطاف پذیری

در این آزمایش یک صفحه فلزی پوشش داده می شود و به دور میله هایی با قطر های متفاوت پیچانده می شود، میزان انعطاف پذیری پوشش را قطر میله ایی تعیین می کند که در آن پوشش دچار ترک می شود. در اینجا از میله مخروطی شکل که قطر آن بین ۳-۳۷ میلیمتر می باشد، استفاده می گردد.

آزمایش مقاومت به ضربه

این آزمایش توسط لوله ای انجام می گیرد، صفحه رنگ آمیزی شده زیر لوله ثابت می شود سپس وزنه ای یک کیلو گرمی در ارتفاع مناسب از لوله با قلاب مهار می شود، هنگام آزمایش، وزنه رها شده و بر روی لوله ضربه وارد می کند، میزان خسارت وارده به رنگ بررسی می گردد. لازم به ذکر است، آزمایش ضربه مستقیم بر روی سطح رنگ و غیر مستقیم بر روی طرف دیگر صفحه رنگ آمیزی شده انجام می شود.

آزمایش های سرعتی

انجام این آزمایش ها با شرایط محیطی ممکن است ماهها و سالها به طول انجامد لذا آزمایش هایی طراحی شده است که در مدت کم رنگ تحت شرایط محیط آزمایش شود. بعضی از این آزمایش ها در زیر ذکر شده است.

الف) آزمایش رطوبت برای نواحی گرم سیر استوائی در نظر گرفته شده که در رطوبت ۹۵٪ و دمای ۵۵ سانتی گراد سطح پوشش داده شده، آزمایش می شود.

ب) آزمایش های نمکی برای ارزیابی مقاومت پوشش در محیط های مملو از نمک انجام می

گیرد .

ج) آزمایش میزان جذب آب بدین گونه انجام می گیرد که سطح رنگ خورده درون آب مدتی غوطه ور می شود، سپس اختلاف وزن قبل و بعد از غوطه وری اندازه گیری می شود، میزان جذب آب بدست می آید.

د) آزمایش دماهای سیکلی، در این آزمایش نمونه رنگ شده معمولاً در دمای سرد و گرم قرار می گیرد. انبساط و انقباض باعث ایجاد ترک در رنگ می شود، این آزمایش می تواند برای ۱۰۰۰ ساعت انجام شود.

ن) آزمایش مربوط به پوشش های دریائی، بر روی پوشش خراشی به طول 50 mm داده می شود، سپس محلول نمک ۳٪ بمدت ۶۰ دقیقه به سطح پاشیده می شود، سپس ۶۰ دقیقه ثابت می ماند این عمل بمدت ۱۰۰۰ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد انجام می گیرد، بعد از این مدت هیچ تاول و عیبی نباید در 3mm اطراف محل خراش دیده شود.

آزمایش زمان سفت شدن

سفت شدن و خشک شدن رنگ می تواند جهت عملیات بعدی مهم باشد، این آزمایش به روش BaLLotini انجام می شود. در این آزمایش بر روی صفحه مدرج شده (۰-۲۴) رنگ مورد نظر اعمال می شود، سپس بوسیله قیف بر روی سطح ذرات ماسه یا شیشه ریخته می شود. این قیف فاصله هر درجه را در عرض یک ساعت طی می کند. سپس ذرات را از روی سطح پاک کرده در آخرین نقطه ای که ذرات به سطح چسبیده باشند، زمان سفت شدن مشخص می گردد.

آزمایش چسبندگی

معمولاً، به سه روش اندازه گیری می شود:

الف) برش V، که در اینجا از چاقوی تیز استفاده می شود و دو خراش به طول ۱۳ میلیمتر با زاویه ۳۰ درجه بر روی رنگ ایجاد کرده سپس با نوک چاقو رنگ را بلند کرده، اگر رنگ دارای چسبندگی خوبی باشد سطح فلز پایه نباید ظاهر شود.

ب) روش CROSS CUT ، در این آزمایش از شانه با دانه های تیز استفاده می شود و به صورت افقی و عمودی بر روی سطح ، خراش ایجاد کرده سپس نوار چسب مخصوص را روی رنگ چسبانده و می کشیم، سپس سطح موجود بر روی رنگ را با نمونه استاندارد مقایسه کرده و میزان چسبندگی تخمین زده می شود.

ج) PULL OFF TEST ، یکی از روشهای کمی است و از آن میزان چسبندگی بدست می آید. در اینجا قطعه ایی که می تواند از جنس آلومینیم باشد، توسط چسب قوی بر روی رنگ قرار می گیرد و اطراف آن بریده می شود، سپس توسط سیستم هیدرولیک یا دستی کشیده می شود تا از سطح جدا شود و نیروی چسبندگی اندازه گیری می شود.

آزمایش چسبندگی رنگ سازه های فلزی که حفاظت کاتدی می شوند

CATHODIC DISBANDING

این آزمایش بر روی پوشش هایی انجام میگیرد که سیستم حفاظت کاتدی نیز بر سازه اعمال می شود. متصاعد شدن هیدروژن بخصوص در حالت OVER PROTECTION می تواند باعث بلند شدن پوشش و صدمه دیدن سازه شود، لذا مقاومت پوششها نسبت به این پدیده بایستی اندازه گیری شود. افزایش پتانسیل حفاظت کاتدی یون OH^- تولید می کند که در صورت نفوذ در پوشش می تواند باعث کاهش چسبندگی رنگ به سازه گردد. کاهش چسبندگی در اثر نامطلوب بودن تمیز کاری اولیه می تواند بر CATHODIC DISBANDING و صدمه به پوشش نقش داشته باشد. روش کار بدین گونه است که روی صفحه فلزی رنگ شده سوراخی به قطر 6mm ایجاد می کنند و سپس یک استوانه پلاستیکی به قطر 50mm انتخاب و بر روی سوراخ قرار می دهند و اطراف آنرا آب بندی می کنند. سپس درون آنرا با آب حاوی ۳٪ نمک پر می کنند و صفحه فلزی به قطب منفی و آند به قطب مثبت متصل می گردد. آزمایش به مدت ۲۶ روز ادامه پیدا می کند، سپس از مرکز سوراخ دو خراش به زاویه ۳۰ درجه ایجاد کرده و سطح را

بلند کرده، میزان سطحی که بلند می شود را اندازه گیری می کنند، این میزان نباید از حد مجاز تجاوز کند. این میزان مثلا برای پوششهای پلی اتیلن 5mm می باشد. جهت جلوگیری از پدیده OVER PROTECTION در جدول زیر حداکثر پتانسیل حفاظتی برای انواع پوششها داده شده است.

در جدول زیر حداکثر پتانسیل حفاظتی برای انواع پوششها داده شده است.

COATING SYSTEM	POTENTIAL OF (Cu/CuSO4)
Epoxy powered fusion-bonded	-1.5V
Asphalt and coal tar enamel	-2V
Tape Wrap (Laminated tape system)	-1.5V
Epoxy coal tar	-1.5V
Polyethylene (2 Layers)	-1V
Polyethylene (3 Layers)	-1.5V

عیوب رنگ

در جدول زیر بطور خلاصه عیوب رنگ به همراه علت وقوع آن ذکر شده است.

علت و رفع عیب	نام عیب
وجود ذرات ژل، یا تجمع مواد یا مواد خارجی بر روی سطح	Brittiness
نفوذ رنگ های لایه های مختلف در یکدیگر به علت رعایت نکردن زمان اعمال رنگ	Bleeding
ایجاد تاولهایی بر روی رنگ که این تاولها حاوی	Blistering

<p>مایع، گاز یا ذرات کریستال است.</p> <p>محبوس شدن حلال، روغن، رطوبت یا نمکهای آلوده سطحی می تواند باعث چنین عیبی گردد. با استفاده از دمنده در محیطهای بسته جهت تبخیر سریع حلال، تمیز کاری در سطح و رفع آلودگیها این عیب بر طرف می شود.</p>	
<p>عیوب در اثر از دست رفتن چسبندگی به صورت موضعی ایجاد می شود.</p>	
<p>ایجاد ذرات خرد و پودری شکل بر روی سطح، نوع و درصد رنگ دانه بر این عیب نیز مؤثر است.</p>	ChaLking
<p>کنار رفتن بخشی از رنگ در نواحی کوچک</p>	Cissing
<p>حرکت رنگ رو به پایین که معمولاً در سطوح عمودی رخ می دهد و بعلت نا همواری در ضخامت پوشش و نازکی لبه رنگ پدید می آید و به دو صورت ظاهر می شود:</p> <p>Run: حرکت رنگ رو به پایین در یک ناحیه باریک که باعث جمع شدن رنگ گردد.</p> <p>Tear: حرکت رنگ که باعث ایجاد قطره بصورت اشک می شود.</p> <p>دلایل آن نزدیک بودن بیش از حد تفنگ اسپری به سطح کار، استفاده از تینر زیاد، استفاده از رنگ زیاد،</p>	Sagging

<p>رنگ آمیزی بر روی سطح بسیار سخت یا براق، قبل از سفت شدن می توان رنگهای اضافی را حذف کرد و روش اسپری را اصلاح کرد.</p>	
<p>موقعی که حباب در رنگ منفجر و جای آن پر نمی شود رخ می دهد. علت آن حبس هوا در رنگ تر در طول اسپری کردن است که با سند بلاست کردن سطح صاف می شود و مجدداً پوشش اضافی اعمال می شود.</p>	Cratering
<p>سوراخ های بسیار ریزی که در حین رنگ آمیزی در اثر اتمیزه ناکافی حین اسپری، مخلوط نامناسب و نشست رنگ دانه ایجاد می شود با اعمال پوشش اضافی عیب برطرف می شود.</p>	Pinhole
<p>ایجاد چین و چروک در هنگام خشک شدن در اثر ضخامت زیاد رنگ، حرارت زیاد محیط بویژه در رنگهای پایه روغنی، برای رفع این عیب یک پوشش نازک اعمال می شود.</p>	Wrinkling / Rivelling
<p>در اثر واکنش اسیدهای چرب با محیط قلیایی صابون بوجود می آید بخصوص در نواحی جوشکاری شده.</p>	Saponification
<p>در هنگام رنگ آمیزی با برس بوجود می آید که ناشی از رنگ نامناسب است. قبل از سفت شدن میتوان رنگهای اضافی را حذف کرد و روش اسپری را اصلاح کرد. بعد از سفت شدن بایستی سطح سند بلاست شده و مجدد</p>	Ropiness

رنگ گردد.	
وقتی که ویسکوزیته بالا باشد، تفنگ اسپری به سطح نزدیک باشد، حلال سریع تبخیر شود، یا فشار هوا برای امتیزه کردن بسیار پایین است.	Orange peel
نرم شدن و باد کردن رنگ خشک در اثر رعایت نکردن مراحل رنگ آمیزی.	Lifting
نواحی بسیار کوچک که رنگ اعمال نشده و سطح فلز با محیط در تماس است.	HoLiday
قسمتی که رنگ زیری بعد از اعمال رنگ مشخص باشد.	Grinning through
تجمع رنگ دانه در رنگ در اثر کاهش پیوستگی.	FLoccuLation
بلند شدن رنگ از روی سطح و تبدیل به پوسته.	FLaking
تشکیل کریستالهای سفید بر روی رنگ که با شستشو میتوان آنرا برطرف کرد.	EffLorescence
شکافته شدن فیلم خشک در اثر طول عمر رنگ که دارای انواع مختلفی است. Hair Cracking : ترک موئی که از Top Coat عبور نمی کند و به صورت تصادفی بوجود می آیند. Chaking : مشابه حالت فوق است با این تفاوت که دارای الگوهای کوچکی است. Crazing : مشابه حالت Chaking است ولی عمق	Cracking

<p>و پهنای ترکها بیشتر است.</p> <p>CrocodiLing: یک ترک بزرگ از نوع Crazing .</p> <p>Mud Cracking: یک شبکه ترکهای خیلی عمیق</p> <p>که می تواند در رنگهای پایه آب با رنگ دانه زیاد رخ دهد.</p> <p>در این عیب کل رنگ بایستی بوسیله سند بلاست یا روش مکانیکی حذف و رنگ مجدد اعمال شود.</p>	
--	--

عیوب ایجاد شده فوق ناشی از: آماده سازی سطح، آماده سازی رنگ ، سیستم انتخاب شده، اعمال رنگ ، رعایت نکردن زمان مابین لایه ها ، رعایت نکردن شرایط آب و هوایی محیط ، نا وارد بودن اپراتور و غیره... می باشد. با توجه به منشأ عیوب می توان از ایجاد آن جلوگیری کرد. با این حال معیار قبول یا رد عیوب فوق نسبی بوده که به توافق پیمانکار و کار فرما بستگی دارد. عیوبی که غیر قابل قبول است، بایستی حذف و به روش صحیح آماده سازی و با رنگ مناسب رنگ آمیزی صورت گیرد.

دستورالعمل رنگ آمیزی

مقدمه

در این فصل حداقلهای لازم جهت رنگ آمیزی و یا تعمیر رنگ سطوح فلزی رنگ شده، بیان شده است. هدف از رنگ آمیزی حفاظت از: تاسیسات نفتی ، گازی، خطوط لوله، پالایشگاه ها و صنایع دریایی در برابر خوردگی می باشد. فرض بر این است که رنگ مورد استفاده به صورت مایع بوده و توسط برس و یا پاشش بر روی سطوح فلزی آماده سازی شده برای حفاظت سطوح در معرض شرایط جوی و یا آب دریا بکار برده می شود. سرعت مجاز خوردگی تاسیسات رنگ

شده نباید از 1.3 mm/year معادل 50 miLs/year تجاوز کند. در مواردیکه سرعت خوردگی از مقادیر فوق الذکر بیشتر باشد و احتمال شکست ناگهانی وجود دارد، از روشهای دیگر حفاظت، مانند انتخاب مواد مقاوم در برابر خوردگی و یا پوشش فلزی محافظ و یا پوششهای پلیمری دیگر باید استفاده شود.

در این فصل بحثی در باره پوشش داخلی لوله ها و پوشش خارجی تجهیزات مدفون در زیر زمین نشده است.

چسبندگی رنگ و سطح زیر رنگ.

رنگ اعمال شده بر روی سطح حداکثر از سه لایه تشکیل می شود.

الف) زیر رنگ: لایه اولیه رنگ که روی سطح فلز اعمال می شود. PRIMER

زیر رنگ نقش اساسی در ایجاد چسبندگی بین سطح فلز و لایه های دیگر رنگ دارد.

معمولاً رنگها به صورت یک سیستم که مرکب از چند رنگ است، برای استفاده در شرایط مشخص توسط سازندگان رنگ و استاندارد های رنگ آمیزی پیش نهاد می شوند. بسته به سیستم رنگ آمیزی انتخاب شده با توجه به شرایط طبق استاندارد رنگ آمیزی و توصیه سازنده رنگ، زیر رنگها به دو روش چسبندگی مناسب بین رنگ و سطح فلزی را ایجاد می کنند.

۱- از طریق پیوند فیزیکی (باند هیدروژنی).

هرگاه دو سطح به یکدیگر نزدیک شوند، پیوند هیدروژنی بین آنها برقرار می شود، رنگهایی که در آنها پیوند های (OH-COOH) وجود داشته باشد مانند: اپوکسی، رنگ روغنی و آلکید دارای چسبندگی فیزیکی بهتری با سطح فلزی هستند.

۲- از طریق ایجاد پیوند های شیمیایی.

چنانچه زیر رنگ بتواند پیوند شیمیایی با سطح فلزی ایجاد کند، استحکام و چسبندگی

رنگ با سطح فلز افزایش می یابد. رنگهایی مانند WASH PRIMER

PHOSPHATE CONVERSION COATING یا PRETREATMENT قادر به ایجاد

پیوند شیمیایی با سطح فلز می باشند

وجود هرگونه رسوبات در سطح فلز باعث ایجاد جدایش بین پوشش و سطح فلز شده و مانع چسبیدن رنگ به سطح فلز می شود. در مرحله آماده سازی سطح فلز لازم است، هرگونه آلودگی و مانع سطحی که باعث جدایش سطح فلز و رنگ می شود را از بین برد تا فصل مشترک رنگ و سطح فلز به حداکثر افزایش یابد.

کلیات

آماده سازی سطوح فلزی می بایست براساس استاندارد سویدی SIS ۰۵۵۹۰۰ یا SSPC یا BS۴۲۳۲ و یا DIN ۱۹۳۶۴ صورت می پذیرد. مواد رنگ آمیزی می بایست طبق یکی از سیستم های توصیه شده توسط استاندارد در ظروف سازنده اصلی تامین گردد. ظروف می بایست دارای برچسب حاوی اطلاعات سازنده باشد. اطلاعات پایه مورد نیاز بر روی برچسب ها عبارتند از: شماره مشخصات، شماره مرجع رنگ، روش اعمال رنگ، شماره تولید، تاریخ ساخت و نام سازنده، مخلوط کردن رنگ سازندگان مختلف با یکدیگر مجاز نمی باشد. آماده سازی رنگ و سطح زیر رنگ می بایست براساس توصیه سازنده صورت پذیرد.

آماده سازی رنگ

عمر رنگ به وضعیت زیرسازی رنگ بستگی دارد. آماده سازی سطح زیر رنگ می بایست به گونه ای باشد که هرگونه مواد خارجی از روی سطح رنگ کاری زدوده شود و برای چسبیدن رنگ به سطح فلز هیچگونه مانعی وجود نداشته باشد. رسوبات روی سطوح فلزی، که قبل از رنگ کاری، از روی سطح می بایست پاک شوند، عبارتند از: زنگ، نمک، روغن، گریس، رطوبت و لایه های رنگ قدیمی، پس از آماده سازی سطح فلزی و زدودن رسوبات گفته شده، لازم است، قبل از اعمال پوشش، سطح فلز غبار زدایی شود و هرگونه گرد و غبار

ناشی از مرحله رسوب زدایی تمیز شده و قبل از اینکه سطح مجدداً زنگ زده و یا رطوبت روی آن بنشیند یک لایه رنگ زیر کار روی آن اعمال شود.

انتخاب یکی از روشهای رسوب زدایی سطوح فلزی شامل پاشش، اسیدشویی و استفاده از شعله بستگی به طبیعت رنگی دارد که قرار است روی آن اعمال شود. عمر رنگ اعمال شده روی سطوحی که به شکل مناسبی آماده سازی شده اند، به مراتب بالاتر است، رسوب زدایی به روش پاشش به مراتب از روشهای دیگر آماده سازی سطح بهتر است.

رسوب زدایی به روش پاشش

این روش براساس استاندارد سویدی SIS ۰۵۵۹۰۰ بیان شده است.

الف) SA₃

تمیزکاری تا دستیابی به سطح فلز یکدست.

رسوبات فوق الاشاره در این روش رسوب زدایی می بایست کاملاً از سطح تمیز شده و متعاقباً سطح می بایست توسط جارو برقی یا هوای خشک فشرده ویا بروس غبار زدایی شود، در نهایت سطح فلزی تمیز و یکنواخت ایجاد گردد.

ب) SA 2 1/2 .

رسوب زدایی بسیار تمیز.

رسوبات فوق الاشاره در این روش رسوب زدایی میبایست به گونه ایی از سطح زدوده شوند که در نهایت تنها آثار نقطه ایی و لکه ایی روی سطح باقی بماند، متعاقباً سطح می بایست توسط جارو برقی، هوای فشرده و خشک و یا برس غبار زدایی گردد.

پ) SA₂ .

رسوب زدایی تمیز.

رسوبات فوق الاشاره در این روش رسوب زدایی میبایست به گونه ایی از سطح زدوده شوند که در نهایت یک سطح مایل به خاکستری ایجاد شود، متعاقباً سطح می بایست توسط جارو برقی ، هوای فشرده خشک و یا بروس غبار زدایی شود.

(ت) ¹ SA .

رسوب زدایی سبک.

رسوبات فوق الاشاره در این روش رسوب زدایی میبایست از سطح زدوده شود.

رسوب زدایی به روش دستی.

در این روش از ابزار مکانیکی جهت رسوب زدایی استفاده می شود، از این روش در مواردی استفاده می شود که روش پاشش برای رسوب زدایی ممکن نباشد. در مواردی به لحاظ محدودیت فضا استفاده از روش پاشش مقدور و یا اقتصادی نیست به این دلیل از روش رسوب زدایی دستی استفاده می شود. این روش نیز می بایست براساس استاندارد سویدی SSPC-SP 30 صورت پذیرد. بدیهی سطوحی که به روش دستی آماده سازی می شوند، کیفیت و عمر رنگ نسبت به روش پاشش بمراتب کمتر است.

رسوب زدایی با مواد شیمیایی.

(الف) اسید شویی.

فرایند اسید شویی اغلب در کارخانجات بمنظور چربی زدایی صورت می پذیرد. در صورتیکه از اسید سولفوریک استفاده شود، لازم است، پس از اسید شویی سطح فلز با آب گرم شسته شود. در صورتیکه اسید شویی با اسید فسفریک صورت پذیرد، شستشو با آب گرم لازم نیست، چرا که اسید فسفریک در تماس با سطح فولاد تولید یک لایه رسوب می کند که باعث افزایش مقاومت فولاد در برابر خوردگی موضعی می شود.

رسوب زدایی سطح فلز بمنظور بازسازی و تعمیر سطحی.

ابتدا لازم است کلیه قسمتهایی که رنگهای قدیمی از سطح جدا شده است را تمیز، سپس به روشهای رسوب زدایی فوق الذکر سطح برای رنگزنی آماده سازی شود. در صورتیکه سطح فلز بزرگ باشد، لازم است به روشهای پاشش، تراشیدن، خراشیدن و برس زنی کل سطح زیر رنگ طبق استانداردهای فوق الذکر رسوب زدایی شود.

روش های اعمال رنگ.

کلیات.

قبل از رنگزنی لازم است باستثناء موارد ذیل اشاره، طبق استاندارد یک سیستم رنگ انتخاب شود.

✓ کلیه ماشین آلات و تجهیزات خریداری شده که توسط سازنده رنگ زده شده اند، مگر در مواردی که نیاز به تعمیر داشته باشند.

✓ فلزات گالوانیزه شده، فولاد ضد زنگ، فلزات غیر آهنی مانند مونل، برنج، مس و آلومینیوم باستثناء مواردی که جهت رنگ رزی مشخص شده باشند.

✓ مواد غیر فلزی.

✓ پلاک مشخصات تجهیزات، کد حک شده روی تجهیزات و کلیدهای فشار قوی.

✓ سطوح ضد حریق.

✓ بتون، آجرکاری، شیشه، کاشی، مگر مواردی که برای رنگزنی مشخص شده باشند.

✓ سطوح ماشین کاری شده.

✓ سطوح عایق در برابر شرایط جوی.

✓ مواد لاستیکی (شیلنگها)، تسمه پروانه، اتصالات و لوله های ضد زنگ، عقربه ها، شیرآلات و موتورها.

✓ کلیه سطوح مشخص شده که نباید رنگ شوند.

یکی از معیارهای انتخاب سیستم رنگ دمای سطح فلز می باشد. حداکثر دمای کاری رنگ انتخاب شده می بایست بالاتر از دمای سطح باشد.

الزامات رنگ.

کلیه رنگ ها قبل از اعمال می بایست همگن و یک دست شده باشند. تینر بکار رفته می بایست با رنگ مطابقت داشته باشد. استفاده بیش از حد از تینر باعث عدم قبول رنگ، توسط سطح رنگ می شود. رنگهایی که بیش از یک جزء دارند می بایست وفق دستورالعمل سازنده کاملاً مخلوط شده و در فاصله زمانی گفته شده مصرف شوند. رنگهایی که دارای مواد جامد فلزی هستند، بمنظور جلوگیری از ته نشین شدن ذرات جامد می بایست توسط ابزار مکانیکی (همزن) معلق نگهداشته شوند. رنگهای خشک شده و یا ژله شده را نمی بایست مورد استفاده قرار داد. رنگ ها را نمی بایست تحت شرایط ذیل اشاره اعمال نمود.

✓ زمانیکه دمای سطح زیر ۳ درجه سانتیگراد و یا زیر دمای نقطه شبنم محیط است، یا رطوبت نسبی محیط بیش از ۸۰٪ است.

✓ زمانیکه احتمال تغییرات ناگهانی هوا تا ۲ ساعت پس از رنگ رزی وجود دارد.

✓ زمانیکه شبنم، رطوبت و یا برف روی سطح وجود دارد.

✓ زمانیکه دمای محیط بالاتر از ۳۵ درجه سانتی گراد است.

هر لایه رنگ می بایست بعد از خشک شدن لایه قبلی اعمال شود، مدت زمان لازم برای خشک شدن هر لایه رنگ را سازنده مشخص می کند.

هر لایه رنگ اعمال شده در یک سیستم رنگزنی دارای رنگی متفاوت از لایه های دیگر است. در رنگ آمیزی گوشه ها، زاویه ها و لبه ها می بایست دقت زیادی مبذول شود که ضخامت رنگ از حداقل ضخامت لایه رنگ کمتر نشود. در هنگام رنگ آمیزی و در طول مدت خشک شدن رنگ اعمال شده لازم است، تهویه و نور کافی بخصوص برای سطوح داخلی تامین شود.

کلیه سطوح فولادی می بایست قبل از حمل ، انبار ، ساخت و اتصال به یکدیگر مورد رنگ آمیزی لایه زیر رنگ قرار گیرند.

کلیه سطوحی که پس از تکمیل تجهیزات و بازسازی غیر قابل دسترس خواهند شد، می بایست قبل از نصب مورد رنگ آمیزی قرار گیرند.

استانداردهای رنگ آمیزی.

هدف اصلی کلیه استانداردهای رنگ آمیزی ایجاد یک لایه پوشش یکنواخت از فیلم خشک تعیین شده است که عاری از هرگونه حفره ، قسمت های رنگ نشده، شره رنگ، خم و شکم، درهم پیچیدگی و خساراتی که باعث تخریب کیفیت رنگ شود، می باشد.
رنگزنی با برس.

رنگ اعمال شده با برس می بایست عاری از اثر بروس بر روی رنگ خشک شده باشد.

رنگزنی با اسپری (پاشش) .

رنگ اعمال شده با اسپری می بایست کاملاً عاری از آثار ناشی از اسپری باشد و کل سطح را به صورت یکنواخت پوشانده باشد. رنگ اسپری شده اعم از اینکه با هوا و یا بدون هوا اعمال شده باشد، می بایست همگن و یکنواخت باشد.

زیررنگ.

حداکثر ۴ ساعت پس از آماده سازی سطح و قبل از ظاهر شدن آثار رسوبات بر روی سطح فلز، لازم است، زیر رنگ اعمال شود. رنگ می بایست براساس دستور العمل سازنده اعمال شود.
بسته به تنوع رنگ، آماده سازی سطح زیر رنگ می بایست براساس جدول زیر صورت پذیرد.

نوع رنگ	روش آماده سازی سطح طبق SIS 055900
Zinc SiLicate	Grad
Epoxy	Grad 2 0
OiL-Base ALkyd	Grad 2 0
Read Lead	Grad 2 1/2
Others	Grad 2 1/2

زبری سطح آماده شده مورد نیاز برای رنگ رزی به نوع رنگ بستگی دارد. ولی از موارد ذیل

الاشاره نبایستی تجاوز کند.

✓ ۸۰ میکرون برای سازه های فلزی.

✓ ۸۰ میکرون برای مخازن فلزی.

✓ ۵۰ میکرون برای پوشش بشکه ها.

ضخامت فیلم خشک زیر رنگ نبایستی کمتر از ۵۰ میکرون باشد، مگر در مواردیکه مشخص

شده باشد. چنانچه لازم باشد، زیر رنگ در دو لایه اعمال شود، توصیه می شود، لایه ها نسبت به

هم اختلاف رنگ داشته باشند.

بمنظور کاهش احتمال و میزان آلودگی سطح بین لایه های مختلف رنگ، لازم است، لایه های

رنگ در حداقل زمان مجاز یکی بر روی دیگری اعمال شوند، اگر به هر دلیلی اختلاف زمان بین

اعمال دو لایه رنگ زیاد باشد، لازم است، قبل از اعمال رنگ، سطح رنگ زیرین تمیز و خشک

شود.

قبل از اعمال رنگ لایه بعدی، هرگونه نقص و اشکال در رنگ لایه قبلی می بایست ترمیم شود. همچنین سطح، قبل از اعمال رنگ لایه بعدی بایستی عاری از هرگونه گریس، روغن و گرد و غبار باشد.

آماده سازی سطح زیر رنگ با اسید.

سطح فولاد را اغلب با محلول اسید فسفریک ۲۸٪ آماده سازی می کنند. این اسید یک لایه نازک از فسفات روی سطح فولاد پیش گرم شده ایجاد می کند. که رنگ می بایست بلافاصله روی آن اعمال شود. لوله ها و مخازن ذخیره معمولاً به این روش و توسط شرکتهای صنعتی آماده سازی می شوند.

زیر رنگهای از نوع ZINC RICH آلی و یا معدنی برای پوشش سطوح اسید شویی شده مناسب نیستند. همچنین رنگ های کرومات روی نیز توصیه نمی شوند، استفاده از این رنگها نیز برای اعمال روی سطوح آلومینیومی محدود شده است. قطع نظر از نوع رنگ زیرین مصرف شده بر روی سطوح اسید شویی شده ضخامت رنگ زیرین نبایستی کمتر از ۵۰ میکرون باشد.

آماده سازی سطح زیر رنگ با روش دستی.

زیر رنگ مورد نیاز برای اعمال روی این سطوح می بایست از خاصیت تر کنندگی بالایی برخوردار باشد و توسط برس اعمال شود، تا از کیفیت رنگ اعمال شده اطمینان حاصل شود. زیر رنگ LEAD ALKYD جهت اعمال بر روی این سطوح توسط برس توصیه می شود. کلیه سطوح فولادی که توسط زیر رنگ پوشش داده شده اند و در محیط دریایی قرار دارند، قبل از اعمال رنگ روی آنها بدلیل رسوب احتمالی نمک روی سطح رنگ، قبل از اعمال رنگ روی آنها لازم است با برس تمیز شده و سپس با آب شسته و خشک شوند.

اگر چه زیر رنگ ZINC RICH خاصیت حفاظت کنندگی بالایی دارد ولی چنانچه برای مدت نسبتاً طولانی تحت شرایط محیط خورنده قرار گیرد، ذرات فلز روی موجود در آن دچار

خوردگی شده و به صورت نقاط سفید رنگی روی سطح ظاهر میشوند، که قبل از اعمال رنگ رویه لازم است یکی از اقدامات زیر صورت پذیرد:

✓ تمیز کاری به روش پاشش و غبار زدایی سطح رنگ شده.

✓ برس زنی و سپس شستشوی سطح با آب.

✓ شستشو با آب و برس زنی با برس سیمی.

گوشه ها.

لازم است کلیه گوشه ها، لبه ها و شکافها توسط یک لایه فیلم رنگ مشابه سطوح مجاور رنگ آمیزی شوند تا از هرگونه تخریب رنگ جلوگیری شود.
درز جوش.

پس از اتصال قطعات توسط جوشکاری لازم است، درز جوش تمیز شده و پوسته ناشی از جوشکاری از روی سطح آن پاکسازی شود، سپس با توجه به پوشش اعمال شده روی سطوح مجاور، درز جوش نیز مورد رنگ آمیزی قرار گیرد.
برنامه رنگ آمیزی.

سیستم رنگ آمیزی جهت پوشش سطوح فولادی به توصیه سازنده و استانداردها می بایست با توجه به محیط مصرف، طول عمر مورد نیاز، دمای سطح و حداقل ضخامت لایه رنگ در حالت خشک انتخاب شود. برای بعضی مصارف چندین سیستم پیشنهاد شده است، انتخاب براساس قابلیت دسترس و عرف منطقه صورت می پذیرد. به هر حال انتخاب هر کدام از سیستم های پیش نهاد شده، می بایست با توجه به نکات زیر صورت پذیرد.

✓ عمر سازه.

✓ عمر درخشندگی رنگ که به مراتب کمتر از عمر مفید حفاظت کنندگی آن است.

✓ عدم تخریب لایه رنگ اعمال شده در صورتیکه اعمال لایه های رنگ با تاخیر اعمال شوند.

✓ مسایل فنی مهندسی در شرایط تعمیرات.

✓ قابل دسترس بودن رنگ در منطقه.

✓ حداقل مدت زمان بین تعمیرات.

عمر سیستم رنگ انتخاب شده در محدوده های زیر قابل تغییر است.

✓ طولانی: ۱۰ تا ۲۰ سال.

✓ متوسط: ۵ تا ۱۰ سال.

✓ کوتاه: کمتر از ۵ سال.

سیستم های رنگ.

معمولاً رنگ های اعمال شده بر روی سازه های فولادی از سه لایه اولیه، میانی و رویه تشکیل

می شوند. لایه اولیه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و می بایست دارای خواص زیر باشد.

✓ دارای چسبندگی بالایی به سطح فولاد باشد.

✓ فولاد را در برابر خوردگی در محیط های خورنده به خوبی حفظ کند.

✓ پایه مناسبی برای رنگ میانی باشد.

رنگها به یکی از چند روش ذیل اشاره سطوح فولادی را در برابر خوردگی حفاظت می کنند.

✓ روش الکتریکی

✓ روش ممانعت کنندگی.

✓ روش پوششی.

کلیه پوشش های رنگ بمقدار کمی در برابر آب و اکسیژن نفوذ پذیرند، ولی بعضی از

پوششها نفوذ پذیری کمتری دارند و مانع خوبی در برابر نفوذ این مواد می باشند، به همین دلیل

برای سازه هایی که در آب غرق می باشند، از این پوشش ها استفاده می شود که در برابر نفوذ آب و هیدروژن مقاومت بیشتری دارند.

Catalyzed epoxies ✓

Coal tar epoxies ✓

Solution Vinyl ✓

Chlorinated rubber ✓

روش الکتریکی.

در این روش با قطع جریان خوردگی سرعت خوردگی کاهش می یابد. جریان خوردگی تابعی از اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند و مقاومت الکتریکی محیط است. اعمال رنگ باعث افزایش مقاومت الکتریکی ، در نتیجه کاهش جریان خوردگی می شود. هرچه ضخامت لایه رنگ بیشتر باشد ، امکان نفوذ آب درون آن کمتر و مقاومت الکتریکی آن بیشتر خواهد بود. اعمال پوشش های حاوی روی نیز باعث شده ، روی بجای فولاد خورده شده و از سطح فلز محافظت کند. ممانعت کننده شیمیایی.

ذرات جامد رنگ خاصیت ضد خوردگی دارند، این روش جلوگیری از خوردگی توسط مواد زیر صورت می پذیرد.

✓ پوشاندن سطح کاتد و آند.

✓ تداخل در واکنشهای کاتد / آند و جلوگیری از تشکیل هیدرو اکسید آهن .

✓ افزایش مقاومت الکتریکی و کاهش جریان خوردگی.

فصل ۳

خوردگی و کنترل آن در لوله مغزی سیار (CT)

مقدمه

از سال ۱۹۶۳ میلادی به بعد دستگاه های لوله مغزی سیار در عملیات هایی نظیر تمیز کاری چاه از رسوبات بجا مانده از حفاری و ماسه های انباشته شده در ته چاه، تزریق گاز نیتروژن برای زنده کردن چاه (فراز آوری با گاز نیتروژن)، نصب پلاک سیمانی، حفاری، رفع مانع، مانده یابی، اسیدکاری و بلاخره سیمان کاری چاه بدلیل صرفه اقتصادی و سهولت آن نسبت به دکل حفاری بطور گسترده ایی مورد استفاده قرار گرفته اند.

دستگاه لوله مغزی سیار CT مجهز به سیستم شیرهای فورانگیر (BOP) با توان کنترل فشار ۱۰,۰۰۰Psi نظیر دکل حفاری می باشد که قادر است، در صورت فوران چاه، آنرا کنترل و در نهایت چاه را بکشند.

لوله مغزی سیار طبق استاندارد API ساخته می شود و قرقره آن گنجایش ۲۰ هزار فوت (حدود ۶۱۰۰ متر) لوله مغزی با قطر ۱/۴-۱ اینچ (حدود ۳۲ میلیمتر) و یا ۱۶۵۰۰ فوت (حدود ۵۰۰۰ متر) لوله مغزی با قطر ۱-۱/۲ اینچ (حدود ۳۸ میلیمتر) را دارد.

عوامل مؤثر در تعیین عمر مفید CT عبارتند از: خستگی ناشی از پیچیدن آن به دور قرقره ، گردن غازی ، کیفیت جوش طولی و عرضی ، سرعت خوردگی سیال حفاری و عملیات اسید کاری و کیفیت مواد ممانعت کننده خوردگی به کار رفته و اثرات گاز H_2S بر روی شکنندگی لوله مغزی سیار می باشند.

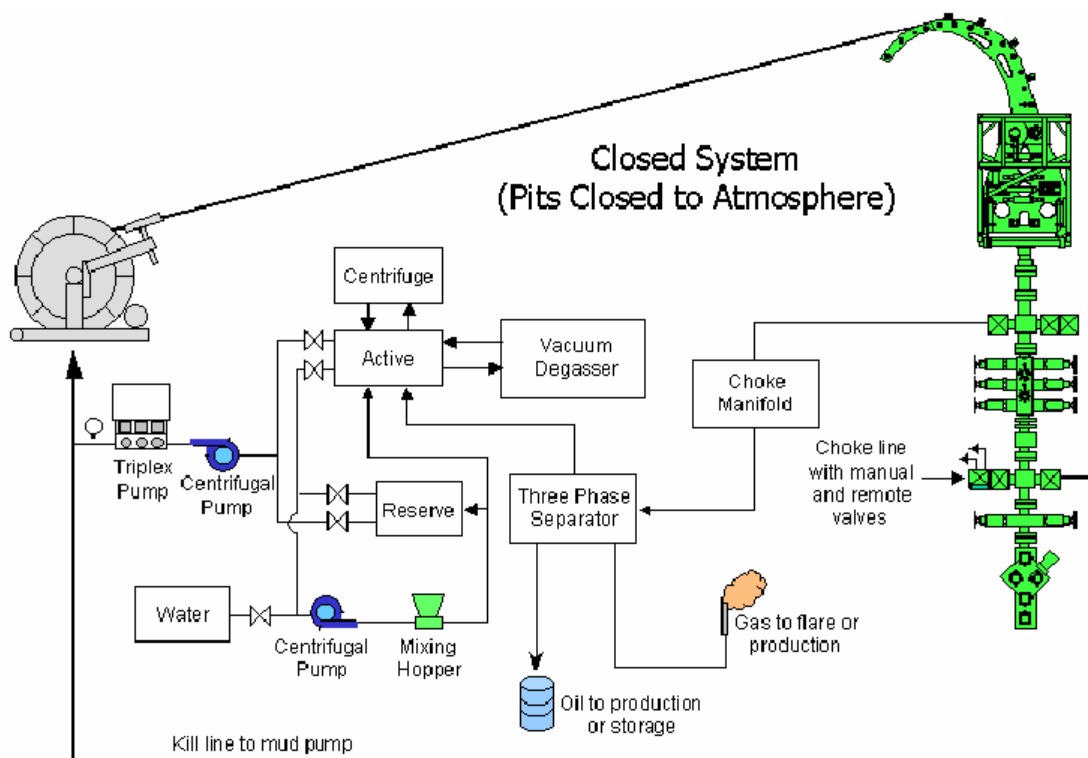


عکس فوق یک یونیت CT شرکت ملی حفاری ایران را نشان می دهد.

شرایط نیروهای مکانیکی وارده به CT بسیار پیچیده است، ولی آنچه که باعث کاهش عمر خستگی می شود، نیروهای مکانیکی است که، باعث ایجاد تغییر شکل پلاستیکی در CT می شوند. شعاع خمی که باعث تغییر شکل CT می شود، با کاهش قطر لوله و افزایش استحکام فلز آن کاهش می یابد. برای مثال در صورتیکه شعاع خم لوله مغزی با استحکام تسلیم 70 Ksi و قطر 1.25 in کمتر از 22 ft باشد، تغییر شکل پلاستیکی در لوله ایجاد می شود، ولی با افزایش استحکام و کاهش قطر، این شعاع کاهش می یابد.

معمولاً، شعاع قرقره لوله مغزی سیار 5 ft و گردن غازی $4-6 \text{ ft}$ است، لذا در اثر پیچیدن به دور قرقره، CT بسادگی دچار تغییر شکل پلاستیکی می شود، با افزایش تعداد دفعات پیچیدن به دور قرقره و افزایش فشار داخلی میزان تغییر شکل پلاستیکی به صورت افزایش قطر CT ظاهر می شود، در نهایت این افزایش قطر به صورت قابل مشاهده و اندازه گیری ظاهر شود. با افزایش قطر CT ناشی از تغییر شکل پلاستیکی، ضخامت آن کم می شود و مقاومت آن در برابر

نیروهای مکانیکی کاهش یافته، در نهایت باعث پارگی لوله در حین کار می شود. لذا لازم است قبل از هر عملیات و در صورت امکان در حین عملیات نسبت به اندازه گیری قطر و ضخامت آن اقدام شود. برای بالا بردن عمر لوله می توان از لوله هایی با قطر پایین تر استفاده کرد یا درجه استحکام لوله های بکار رفته را افزایش داد، اما به دلیل اینکه لوله ها با قطر کم کارایی و مقدار دبی خروجی از لوله در ته چاه را کاهش می دهند، لذا راه دوم که استفاده از لوله هایی با استحکام بالاتر است، راه بهتری است، مواد با درجه استحکام بالاتر بطور قابل ملاحظه ایی عمر خستگی CT را افزایش می دهند، اخیراً تولید کنندگان، موادی با استحکام تسلیم ۸۰-۱۲۵ Ksi تولید نموده اند، برتری واضح مواد با استحکام بالا، افزایش مقاومت در برابر خستگی است. این لوله ها را چندین پیمایش بیشتر از لوله های با استحکام پایین میتوان استفاده کرد. البته با بالا رفتن درجه استحکام سولاتی در زمینه مقاومت در برابر شکست، قابلیت جوشکاری و مقاومت در برابر ترکدار شدن در محیط گاز H_2S مطرح شده است.



نمودار فوق سیستم بسته لوله مغزی سیار حین عملیات را نشان می دهد.

چگونه از شکست نابهنگام لوله مغزی سیار (CT) در چاه های حاوی گاز ترش جلوگیری کنیم؟

تعمیر چاه های حاوی گاز H_2S توسط CT یک کار بسیار حساس می باشد. در مناطقی از ایران، روسیه، کانادا و عربستان مخازن نفت و گاز آلوده به گاز H_2S می باشند. جهت تعمیر این چاه ها، CT بهترین گزینه است. اغلب اتفاق افتاده که در حین تعمیر این چاه ها CT پاره شده و هزاران متر لوله و BHA (Bottom HoLe Assembly) را درون چاه باقی گذاشته و باعث فوران چاه شده است.

محافظت از CT در برابر خوردگی موضعی و یکنواخت در فرآیند اسیدکاری و باز یافت سیال درون چاه بهترین راه جلوگیری از شکست ناگهانی CT در فرآیند تعمیر چاه های حاوی H_2S می باشد. دیگر مواردی که می بایست مد نظر قرار گیرند عبارتند از: انتخاب جنس مناسب لوله با توجه به توصیه های NACE انجمن خوردگی آمریکا در خصوص خواص متالورژیکی، مکانیکی و ترکیب شیمیایی لوله ها برای بکار گیری در چاه های حاوی H_2S ، استفاده از ممانعت کننده های خوردگی، بازرسی غیر مخرب (NDT) قبل از شروع عملیات و تهیه نمونه از CT جهت بررسی مخرب آن قبل از شروع عملیات تعمیر چاه های حاوی H_2S می باشد.

بررسیهای صورت پذیرفته روی موارد شکست CT در چاه های حاوی H_2S اطلاعات سودمندی در خصوص علل و عواملی که باعث ایجاد شکست شده اند را در اختیار قرار داده است.

یک شرکت ارایه دهنده خدمات CT اعلام کرده است، طی سالهای ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸ بالغ بر ۳۳٪ از شکست های ایجاد شده ناشی از خوردگی بوده است. در سال ۲۰۰۲ بالغ بر ۱۰۴۳ عدد CT در سراسر جهان در حال کار بوده اند که حدود نصف این تعداد در کشورهای آمریکا و کانادا مشغول بوده اند. از اینجا میتوان متوجه شد که خوردگی چه خسارت هنگفتی به صنعت حفاری

وارد می نماید، بمنظور حفاظت از سرمایه ها، لازم است شرکت‌های ارایه دهنده خدمات CT قبل از اینکه وارد عملیات شوند، نسبت به انجام تمهیدات لازم جهت حفاظت در برابر خوردگی، بمنظور جلوگیری از شکست ناگهانی CT درون چاه اقدام کنند. در این بخش سعی شده به تمهیدات گفته شده اشاره شود.

زمینه.

در اواسط سال ۱۹۹۰ بدنبال فوران ۲ حلقه چاه حاوی گاز H₂S در کشور کانادا حین عملیات انگیزش چاه توسط CT، حفاری چاه های حاوی گاز ترش در مناطق مسکونی ممنوع شد، و از کارشناسان خواسته شد با تشکیل یک کار گروه، کلیه موارد حفاظتی مربوط به حفاری در چاه های حاوی H₂S را بررسی نمایند. گروه JOINT INDUSTRY PROJECTS (JIP) بمنظور مشخص نمودن مواد و روشهای ایمن، جهت حفاری در چاه های حاوی گاز ترش تشکیل شد. حاصل کار این گروه منجر به صدور INDUSTRY RECOMMENDATION PRACTICE (IRP) شد. که در سال ۲۰۰۰ در نشریه شرکت نفت کانادا منتشر شد.

در (IRP) به کلیه موارد مربوط به خواص مکانیکی و متالورژیکی CT جهت عملیات در چاه های حاوی گاز ترش پرداخته شده است. همچنین به مواردی از قبیل ترکیب شیمیایی فولاد، آزمایشات خستگی خمشی و میزان بهینه سرعت افزایش طول اشاره شده است. بمنظور جهانی سازی موارد گفته شده در (IRP) استاندارد جهانی ISO 15156 نیز تحت عنوان Material For Use in H₂S containing Environments in Oil and Gas Production تدوین شد.

یکی از مؤثرترین راههای جلوگیری از شکست لوله در چاه های حاوی گاز ترش بهره گیری از بازرسی به روش غیر مخرب NDT می باشد. با این روش، قبل از فرستادن لوله بدرون چاه میتوان از وجود هرگونه نقص ناشی از خوردگی، ضربات مکانیکی و یا ساخت مطلع شد. بررسیهای صورت پذیرفته روی نمونه های شکسته شده درون چاه نشان داد، تمام لوله ها قبل از شروع عملیات

معیوب بوده اند. آمارها نشان میدهد، شکستهای صورت پذیرفته ۵۰٪ ناشی از عیوب مکانیکی و ۳۰٪ ناشی از عیوب خوردگی بوده است. سیستمهای بررسی غیر مخرب موجود در بازار قادر به تشخیص کلیه عیوب موجود در CT نیستند، به همین دلیل امکان ارزیابی و برآورد عمر باقی مانده ناشی از فرایند خستگی ممکن نمی باشد، با این وجود بازرسی CT قبل از شروع عملیات میتواند احتمال شکست لوله حین انجام عملیات را به صفر درصد کاهش دهد. در حال حاضر تلاشهای گسترده ایی بمنظور کار آمد نمودن بازرسی به روش NDT برای CT در حال انجام است.

خوردگی CT توسط اسید.

CT تحت شرایط مختلف نگهداری و عملیات اسیدکاری در حال خورده شدن است، که لازم است از لحظه تولید تا پایان عمر آن، تحت هر شرایطی در برابر خوردگی محافظت شود. مطالعات گسترده ایی بمنظور تعیین میزان کارآیی ممانعت کننده های خوردگی جهت حفاظت از CT در عملیات اسیدکاری در حال انجام است. تحقیقات نشان داد، بهره گیری از ممانعت کننده های خوردگی بمنظور جلوگیری از شکست CT با استحکام کششی ۷۰ تا ۸۰ Kpsi در چاه های حاوی گاز H₂S ضروری است. معمولاً، از FiLming Amines بعنوان ممانعت کننده خوردگی در چاه های حاوی H₂S که به صورت زیر فشار تعادلی UBD هستند، استفاده می شود.

حد مجاز خوردگی CT توسط اسید کمتر از 0.05 Lb به ازای، یک فوت مربع از سطح برای CT از جنس فولاد کربنی و کمتر از ۰.۰۳ Lb به ازای، هر فوت مربع از سطح برای CT با جنس آلیاژ کرم تعیین شده است.

کاهش ضخامت CT ناشی از کاهش وزن فوق الذکر باعث کاهش استحکام مورد نیاز جهت انجام عملیات نمی شود و قابل قبول است. بمنظور کنترل کاهش وزن ناشی از خوردگی CT در حد مجاز لازم است در عملیات اسیدکاری چاه های حاوی گاز ترش از ممانعت کننده های

خوردگی و تقویت کننده ها (Intensifiers) استفاده شود. با افزایش دما کارایی این مواد افزایش می یابد. در صورت بهره گیری از CT با ضخامت های کمتر، لازم است حد خوردگی از ۰,۰۵ Lb به کمتر از ۰,۰۲ Lb به ازا، یک فوت مربع از سطح CT کاهش یابد.

در تحقیقات صورت پذیرفته، سرعت خوردگی CT با استحکامهای مختلف در عملیات اسیدکاری توسط اسید کلریدریک که حاوی مواد ضد خوردگی در چاه های حاوی گاز H₂S با غلظت های مختلف بود، مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایشات صورت پذیرفته روی CT با استحکام ۸۰ Kpsi، در دماهای ۱۲۵ F تا ۲۷۵ F بوده است. در دماهای زیر ۲۰۰ F سرعت خوردگی قابل قبول است، با افزایش غلظت H₂S و دما بالای ۲۰۰ F سرعت خوردگی افزایش می یابد، استفاده از اسید فرمیک بعنوان تشدید کننده برای کنترل خوردگی باعث کاهش سرعت افزایش خوردگی، با افزایش غلظت H₂S می شود. این تحقیق نشان داد، سرعت خوردگی CT در فرآیند اسید کاری چاه های حاوی گاز ترش ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از چاه های حاوی گاز شیرین است.

بررسیها نشان داد، نتایج اندازه گیری سرعت خوردگی صورت پذیرفته در آزمایشگاه با سرعت خوردگی CT در عملیات اسیدکاری منطبق است، همچنین استفاده از ممانعت کننده ضد ترک در چاه هایی که سیال اسیدی نیست، باعث کاهش SSC می شود.

آزمایشات قبل از عملیات.

رمز موفقیت انجام عملیات بدون شکست، توسط CT در چاه هایی که احتمال وجود گاز ترش می رود و یا نمی رود، انجام بازرسیها و آزمایشات قبل از عملیات می باشد. لازم است قبل از شروع عملیات برآوردی از سرعت خوردگی CT در مجاورت گازهای موجود در چاه و همچنین مدت زمان در معرض قرار گرفتن داشته باشیم. مدت زمان در معرض قرار گرفتن CT در بدترین شرایط چاه و مدت زمان لازم برای زدودن سیال حاوی H₂S از آنرا نیز می بایست در نظر گرفته

شود. در عین حال کارآیی مواد ممانعت کننده خوردگی در مجاورت H_2S و همخوانی آن با یکدیگر می بایست بررسی شود. در نهایت CT، لوله های جداری و لوله های مغزی مورد استفاده قبل از شروع عملیات می بایست مورد بازرسی قرار گیرند تا از وجود هرگونه نقص ناشی از صدمات مکانیکی و خوردگی عاری باشند. چنانچه سیستم های بررسی غیر مخرب (NDT) جهت بازرسی CT موجود نباشند، حداقل یک بازرسی چشمی قبل از آغاز عملیات لازم است و در صورت امکان بریدن یک نمونه از انتها الیه CT و بررسی مخرب آن از نظر وجود خوردگی موضعی، کاهش ضخامت و یا ترکهای احتمالی می بایست انجام پذیرد.

بررسیهای آزمایشگاهی خوردگی CT.

جزئیات روش بررسی خوردگی CT در آزمایشگاه در منابع بیان شده است. تجهیزات آزمایشگاهی از اکتبر سال ۲۰۰۰ تغییر کرده است، در عکس شماره یک هر دو نوع تجهیز مربوط به قبل و بعد از سال ۲۰۰۰ را نشان داده است. در سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده دارای فشار پایینی بوده اند. فشار کاری پیل خوردگی جدید $10,000 \text{ Psi}$ است، اگر چه تجهیزات جانبی و فشار گاز نیتروژن در زمان شروع آزمایش و حالت سرد محدود به $2,000 \text{ Psi}$ است. با افزایش درجه حرارت بدلیل انبساط گاز فشار پیل خوردگی افزایش می یابد، در دماهای بالای 212 F فشار به $3,000 \text{ Psi}$ می رسد. حد اکثر فشار گاز H_2S مورد استفاده در پیل خوردگی $2,000 \text{ Psi}$ است، در نتیجه غلظت H_2S به $10 \text{ mol}\%$ در فشار $3,000 \text{ Psi}$ و دمای آزمایش می رسد. حجم محفظه گاز پیل خوردگی جدید 300 Cm^3 و حجم محفظه اسید 3 Cm^3 است. نمونه های آزمایشی به گونه ای تهیه می شوند که نسبت حجم اسید به سطح نمونه $33 \text{ Cm}^3/\text{In}^2$ باشند. این منطبق بر دستور العمل آزمایش خوردگی با اسید، تدوین شده توسط کمیته فرعی API-NACE در اواخر سال ۱۹۷۰ است. در حالیکه فشار کاری تجهیزات قدیمی

۱,۸۰۰ Psi و فشار آزمایش در حالت سرد آن ۱,۰۰۰ Psi و غلظت گاز H_2S ۲۰٪ بود و محفظه بخار آن نیز 450 Cm^3 بود. تجهیزات جدید امکان شبیه سازی شرایط ته چاه را فراهم آورده است.

بازرسی CT.

حداقل بازرسی CT قبل از عملیات، بازرسی چشمی و محاسبه عمر خستگی آن است. سطح خارجی CT محل شروع شکست در عملیات تعمیر چاه های حاوی H_2S است. برای بررسیهای دقیقتر لازم است یک نمونه از CT تهیه شده و سطح خارجی آنرا بررسی نموده و ضخامت آنرا با کالیپر اندازه گیری کنند. یک نمونه طولی از CT را تهیه نموده سپس سطح آنرا با اسید شسته و تمیز نمایید و سطح خارجی نمونه اسید شویی شده را از نظر وجود عیوب سطحی مورد بازرسی چشمی قرار دهید و سطح داخلی آنرا در محل جوش طولی لوله را بررسی کنید. از نمونه ها مقطعی تهیه کنید و مورد ارزیابی میکروسکوپی از نظر وجود ترک، تغییر شکل پلاستیکی و کاهش ضخامت قرار دهید. مقطع CT از نظر بیضوی شدن و تغییرات سختی بخصوص در ناحیه جوشکاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

بمنظور کاهش خطر شکست CT در عملیات لازم است، بررسیهای غیر مخرب NDT به همراه بررسیهای مخرب DT فوق الاشاره هر دو انجام شوند. با بررسیهای غیر مخرب میتوان میزان بیضوی شدن مقطع CT، حفره های سطحی، کاهش ضخامت و وجود ترکهای خستگی را تشخیص داد. چنانچه لازم باشد از HPCT لوله مغزی سیار با استحکام بالاتر از ۹۰ Kpsi برای انجام عملیات در چاه های حاوی گاز ترش استفاده شود، لازم است قبل از شروع عملیات از ممانعت کننده های خوردگی استفاده شود. چرا که هرچه استحکام CT بالاتر باشد، استعداد آن به شکننده شدن و شکست ترد در محیط حاوی H_2S بیشتر می شود.

تحقیقات نشان داد چنانچه CT در معرض گاز H_2S قرار گیرد عمر خستگی آن شدیداً کاهش یافته و مکانیزم شکست آن از انعطاف پذیر به ترد و شکننده تبدیل می شود. براساس

توصیه های استاندارد NACE به شماره MR-O-175 سختی فولاد بکار رفته در تعمیر چاه های حاوی H_2S نباید بیشتر از HRC ۲۲ باشد. همچنین باید از ممانعت کننده های خوردگی و ضد H_2S به مقداری استفاده شود که فیلم حاصل از این مواد سطح خارجی CT را پوشانده و از تماس اسید و گاز H_2S با آن جلوگیری کند. اغلب شکست های ناگهانی CT درون چاه های حاوی گاز H_2S و اسید ناشی از Low-Cycle Corrosion Fatigue (LCCF) بوده است. تشکیل حفره های خوردگی و رشد ترکهای خستگی ناشی از خم و راست شدن لوله حول قرقره و گردن غازی باعث کاهش ضخامت لوله شده و CT دیگر قادر به تحمل نیروهای وارده ناشی از عملیات نبوده، دچار شکست زود هنگام و رها شدن BHA و هزاران متر از لوله درون چاه می شود. لازم به یاد آوری است، درز طولی جوش CT ضعیفترین ناحیه می باشد و لازم است در ناحیه محور خنثی قرار گیرد تا کمترین تنش های متناوب ناشی از باز و بستن به آن ناحیه وارد شود. لازم به ذکر است، حد اکثر نیروی کششی به ناحیه بیرونی خم لوله و حداکثر نیروی فشاری متناوب ناشی از خم و راست شدن CT به ناحیه داخلی خم وارد می شود. در خط وسط لوله، تنشهای تناوبی ناشی از خم و راست شدن صفر است. در آزمایشات مخرب لازم است، محل جوش طولی و ناحیه اطراف آن مورد سختی سنجی قرار گیرد تا از عدم افزایش سختی این ناحیه ناشی از ساخت و یا کار اطمینان حاصل شود. افزایش سختی در هر نقطه از CT باعث ایجاد شکست ترد و کاهش عمر خستگی می شود.

نتیجه گیری.

با توجه به مطالب فوق الذکر مهمترین عواملی که باعث شکست ناگهانی CT درون چاه می شوند، عبارتند از:

- ۱- وجود ترکهای ناشی از خستگی و حفره های ناشی از خوردگی در CT قبل از شروع عملیات.

۲- سخت و شکننده شدن CT بدلیل مجاورت طولانی مدت با گاز H_2S که آنرا مستعد ایجاد شکست ترد نموده است .

۳- استفاده از CT نا مناسب باتوجه به توصیه های NACE جهت عملیات در چاه های حاوی گاز ترش.

۴- سختی بیش از حد توصیه شده CT در ناحیه جوش طولی ERW که مستعد شکنندگی ترد می شود.

۵- افزایش احتمال شکست پیش از موعد ناشی از خستگی در نواحی که ضخامت CT به صورت موضعی کم شده است.

توصیه ها.

تحقیقات نشان داده است که عمر خستگی CT در محیط حاوی H_2S حدود ۱۵-۲۰٪ عمر خستگی آن در هوا می باشد. لذا در هنگام استفاده از CT در چاه های حاوی H_2S می بایست ۲ نکته اساسی را مد نظر قرار داد.

۱- سطح خارجی CT را با استفاده از ممانعت کننده های H_2S در برابر گاز ترش محافظت کرد.

۲- حتی المقدور از لوله های نو جهت عملیات در چاه های حاوی گاز ترش استفاده کرد. پیشنهادات.

جهت خرید CT برای عملیات در چاه های حاوی گاز ترش لازم است به نکات زیر توجه شود.

۱- CT با مشخصات زیر انتخاب شود.

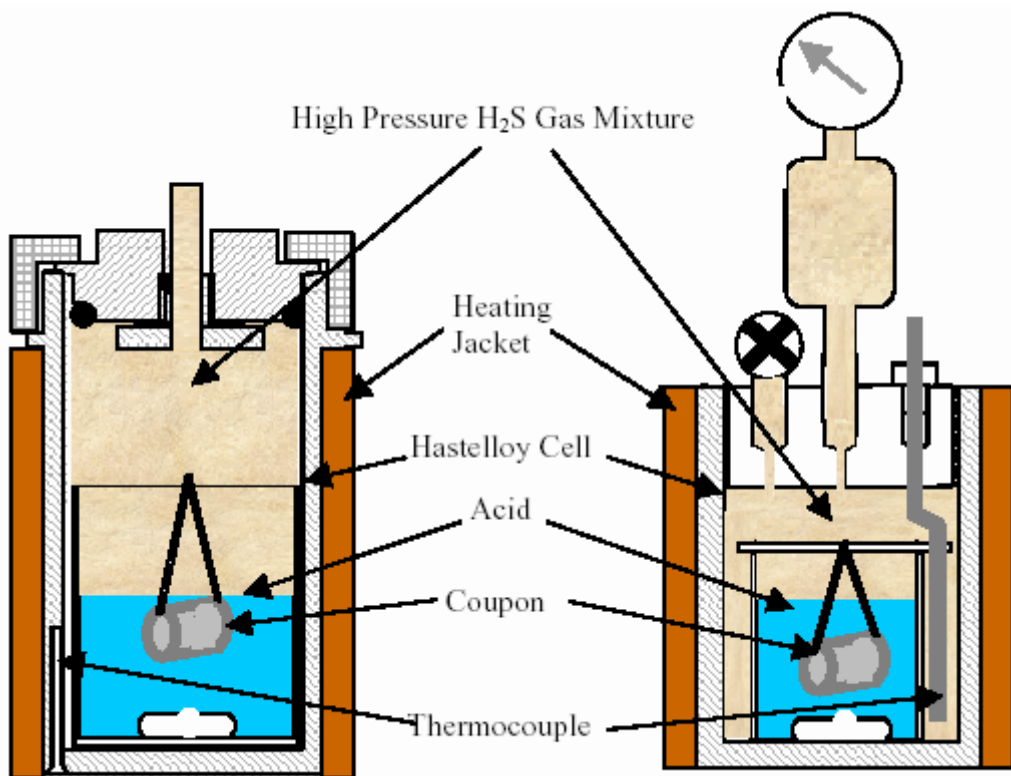
- جهت کار در محیط ترش باشد. H_2S Service.

- حد اکثر استحکام کششی : UTS=80Kpsi

- حد اکثر استحکام تسلیم : MAX. $Y_s=75$ Kpsi

- حداقل استحکام تسلیم : $MIN. Y_s = 70 \text{ Kpsi}$
 - حداقل افزایش طول نسبی نمونه کامل : $MIN \%EL = 25\%$
 - حد اکثر سختی موضعی : 20 HRC
 - حداکثر غلظت عناصر مضر در فولاد به درصد وزنی : $S = 0.02$, $P = 0.025$, $C < 0.6$
- فروشنده لازم است نتیجه آزمایش خستگی CT همراه با نمونه هایی از آنرا جهت انجام آزمایش خستگی برای خریدار بفرستد.
- فروشنده لازم است مدارک زیر را ضمیمه کند.
- آنالیز شیمیایی فولاد.
 - آزمایشات مکانیکی شامل. $UTS, Y_s, \%EL$
 - نتایج سختی سنجی ناحیه جوش طولی ERW
 - سختی سنجی ناحیه خارجی CT در قسمت ابتدایی و انتهایی لوله.
- ۲- بررسی عمر خستگی CT ناشی از کار در چاه های قبلی پیش از استفاده آن در چاه حاوی گاز H_2S .
- ۳- استفاده از CT با حداکثر استحکام کششی 80 Kpsi یا کمتر جهت عملیات در چاه های حاوی H_2S و استفاده از ممانعت کننده خوردگی و ضد H_2S .
- ۴- CT انتخاب شده جهت انجام عملیات در چاه حاوی H_2S نباید بیش از ۵۰٪ عمر خستگی آن مصرف شده باشد.
- ۵- به حداقل رساندن تماس گاز H_2S با CT با استفاده از عملیات OVERBALANCE بجای UNDERBALANCE در صورت امکان.
- ۶- استفاده از افزودنی های جاذب H_2S در اسید بطوریکه حداقل تأثیر منفی را روی اسید داشته باشد.

- ۷- در صورت امکان انجام آزمایشات خوردگی تحت شرایط شبیه سازی شده چاه، در آزمایشگاه روی CT.
- ۸- در صورت امکان انجام آزمایش (LSRT) Low Strain Rate Test روی CT تحت شرایط شبیه سازی شده چاه در آزمایشگاه بمنظور بررسی عمر خستگی CT در محیط گاز ترش و بررسی تغییرات انعطاف پذیری نمونه ها.
- ۹- ثبت و نگهداری کلیه اطلاعات مربوط به رشته حفاری بکار رفته در عملیات های مختلف.
- ۱۰- جمع آوری و آنالیز نمونه ایی از کلیه سیالات پمپ شده درون چاه و سیالات برگشتی.
- ۱۱- بهره گیری از تجهیزات بازرسی فنی و آزمایشات غیر مخرب NDT بمنظور تشخیص عیوب مکانیکی، خوردگی موضعی، حالت بیضوی شدن، کاهش ضخامت و ترکهای احتمالی موجود در CT، این اطلاعات بسیار با ارزش بوده و در صورت تشخیص هر کدام از موارد فوق الذکر می بایست قسمت معیوب از CT جدا شود.

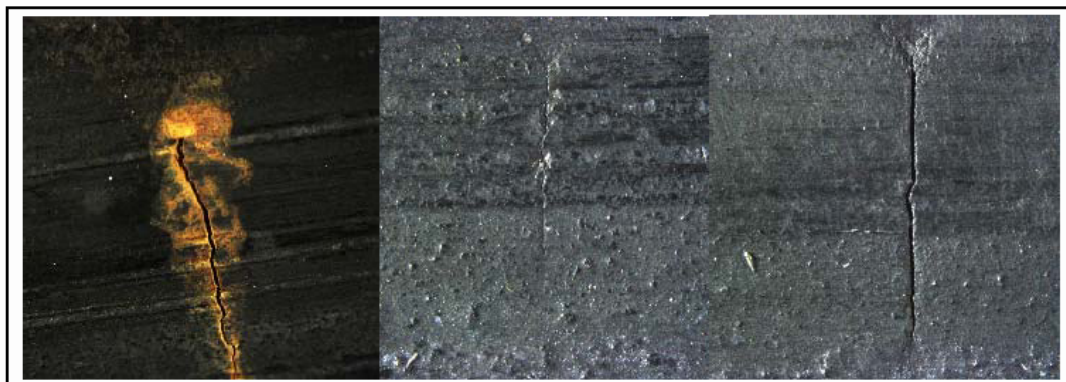


عکس شماره یک : سمت چپ دستگاه جدید رانشان می دهد و سمت راست تجهیز مربوط به

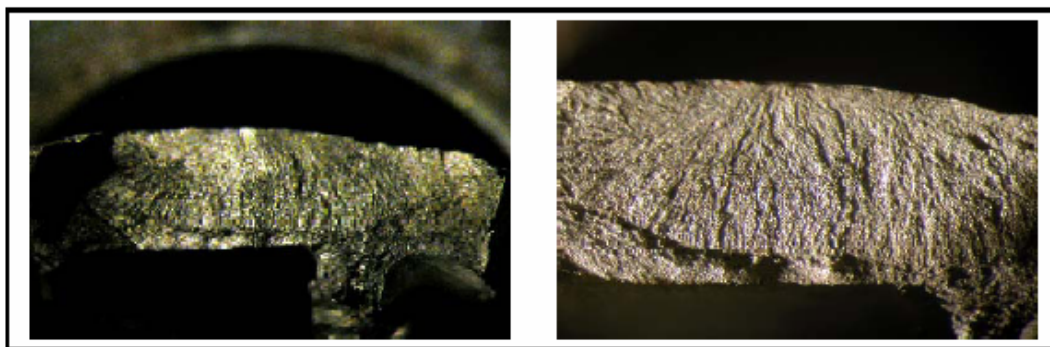
پیش از سال ۲۰۰۰.



عکس شماره دو : دو نمونه از لوله مغزی سیار یکی نو و دیگری کار کرده است.



عکس شماره سه : ترک ایجاد شده در سطح لوله مغزی سیار را نشان می دهد.



عکس شماره چهار : رشد ترک در اثر فرایند خستگی در لوله مغزی سیار را نشان می دهد.



عکس شماره پنج : مقطع شکسته شده لوله مغزی سیار در چاه حاوی H_2S را نشان می دهد.

Table 1. Elemental analysis of the HPCT before and after the treatment ^a		
Element	Before Treatment	After Treatment ^b
Fe	98	61.5
S	0.13	13.1
C	0.02	8.4
Cl	-	0.5
Mo	0.2	-
Mn	0.55	-
Si	0.14	0.9

All concentrations are expressed in wt%
Analysis of the outside surface of the damaged section of the HPCT

جدول شماره یک : آنالیز شیمیایی لوله مغزی سیار با استحکام بالا قبل و بعد از عملیات در چاه

حاوی H_2S را نشان می دهد.

فصل ۴

UBD

:

()

()

:A

:B

() :D

() () :E

:F

() :G

()

UBD

UBD

UBD

mpy ()

UBD

Table 1.1 Target Corrosion Rates

Temperature (° C)	Velocity (m/s)	Targeted Corrosion Rate (mpy)
-	< 1	-
< 60	1 – 5	< 10
60 – 120	5 – 20	10 – 50
> 120	> 20	~ 50

Table 1.2 Well Data Summary

Parameter	Description
Objective	
IADC UBO Classification	
Formation Properties:	
BHT (° F)	
BHP (psi)	
Potential Fluid Influx	
Gas (MMscfd)	
CO ₂	%
H ₂ S	%
BWPD	XXX
BOPD	XXX

Table 2.1 Summary of Chemicals Proposed for UBD Operations

Function	Chemical	Concentration
Surfactant	Chemical Name	0.XXX% v:v. This will be adjusted to maintain foam stability.
Defoamer	Chemical Name	0.XXX% v:v. This will be adjusted to maintain foam stability.
Corrosion Inhibitor	Chemical Name	Initial Treatment X,XXX ppm Residual after circulation > XX ppm
pH Modifiers	Chemical Name	Maintain pH between 9.0 and 10.5
Scale Inhibitor	Chemical Name	Initial Treatment > XXX ppm
Iron Chelator	Chemical Name	Initial Treatment > XXX ppm

BHA

()

UBD

ROTATING HEAD

UBD

API RP 45

Table 1. The result of the water analysis of one gas flow well in Texas

Compound					Compound	X	Y	Compound
	FW	X/X+Y	Y/X+Y	TOTAL	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(g)
NaCl	58.44	0.39	0.61	1.00	131080	51566.2	79513.8	496.14
CaCl ₂ .2H ₂ O	147.02	0.27	0.48	0.75	111510	30399.4	53775.4	422.07
MgCl ₂ .6H ₂ O	203.33	0.12	0.35	0.47	50810	6074.8	17717.2	192.32
SrCl ₂ .6H ₂ O	266.64	0.33	0.27	0.59	0	0.0	0.0	0.00
BaCl ₂ .2H ₂ O	244.28	0.56	0.29	0.85	0	0.0	0.0	0.00
KCl	74.55	0.52	0.48	1.00	0	0.0	0.0	0.00
Na ₂ SO ₄	142.04	0.32	0.68	1.00	0	0.0	0.0	0.00
NaHCO ₃	84.01	0.27	0.73	1.00	0	0.0	0.0	0.00
BaSO ₄	233.40	0.59	0.41	1.00	0	0.0	0.0	0.00
H ₂ O	18.02							

Table 2.2 Example of a Water Analysis Report

Sample Name:		Date Sampled:	
Company:		Lease:	
Well:		County:	
Field:		State:	
Comments:		Country:	
Cations		Anions	
Component	mg/l	meq/l	Test Method
Total Hardness (as Ca ²⁺):			Titration
Calcium (Ca ²⁺):			Titration
Magnesium (Mg ²⁺):			Calculation
Sodium (Na ⁺):			Calculation
Total Iron (Fe ³⁺):			Colorimetry
Barium (Ba ²⁺):			Colorimetry
Other Data			
pH:			
Specific Gravity:			
Sample Temperature:			
Temperature (°F)	CaCO₃	CaSO₄	CaSO₄.2H₂O
70			BaSO₄
101			
132			
163			
194			
225			

CORROSION INHIBITOR

VOL. 45

Table 2.3 Impact of Gases on Corrosion

Dissolved Gas in Salt Water	% Decrease from Air Endurance Limit
H ₂ S	20%
CO ₂	41%
CO ₂ + O ₂	41%
H ₂ S + O ₂	48%
H ₂ S + CO ₂	62%
O ₂	65%

Table 2.4 Solubility of Oxygen in H₂O

Temperature (° F)	Dissolved O ₂ (ppm)
59.0	10.2
68.0	9.2
77.0	8.4
86.0	7.6
95.0	7.1
100.4	6.8
105.8	6.5
111.2	6.2
116.6	5.9

.OXYGEN SENSORS.

Corrosion Coupons.

UBD

UBD

UBD

TOOL JOINT

AISI:4130

AISI:4130

QUENCH & TEMPER

E

()

D

.H₂S

.CO₂

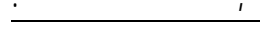
API RP 14

UBD

150 ft/sec

E

15 ft/sec



15 ft/sec

Table 3.1 Example Field Wall Thickness Survey Report

Meter Type:

Client	:		Location	:	
Date	:		Time	:	
Tag Point		Tag Number	Description	Baseline Thickness	Recorded Thickness

	Name	Signature
Measured by:		
Checked by:		
Approved by:		

Table 3.2 Pipe Replacement

Size	Schedule	Pressure Rating (PSI)	Metal Loss
4'	L 80	2,300	0.245"
4"	80	2,300	0.111"
4"	80	2,500	0.266"
4'	120	2,500	0.266
4"	L 80	2,500	0.120"
4"	L 80	5,000	0.234"

SSC

:A

NACE 1 D 177

Monitoring Techniques for control of corrosion of drill pipe, casing and other steel components in contact with drilling fluids.

UBD

UBD

"

UBD

CO₂

O₂

H₂S

CaCl₂

NaCl

HCl

H₂SO₄

H₂CO₃

O₂

UBD

"

UBD

UBD

3000 SCFM UBD

UBD

.CO₂

PH

: UBD

.H₂S

H₂S

Sulfide Stress (SSC)

Cracking

:

:

UBD

PH

PH<6

.PH ,

PH .

PH

PH .

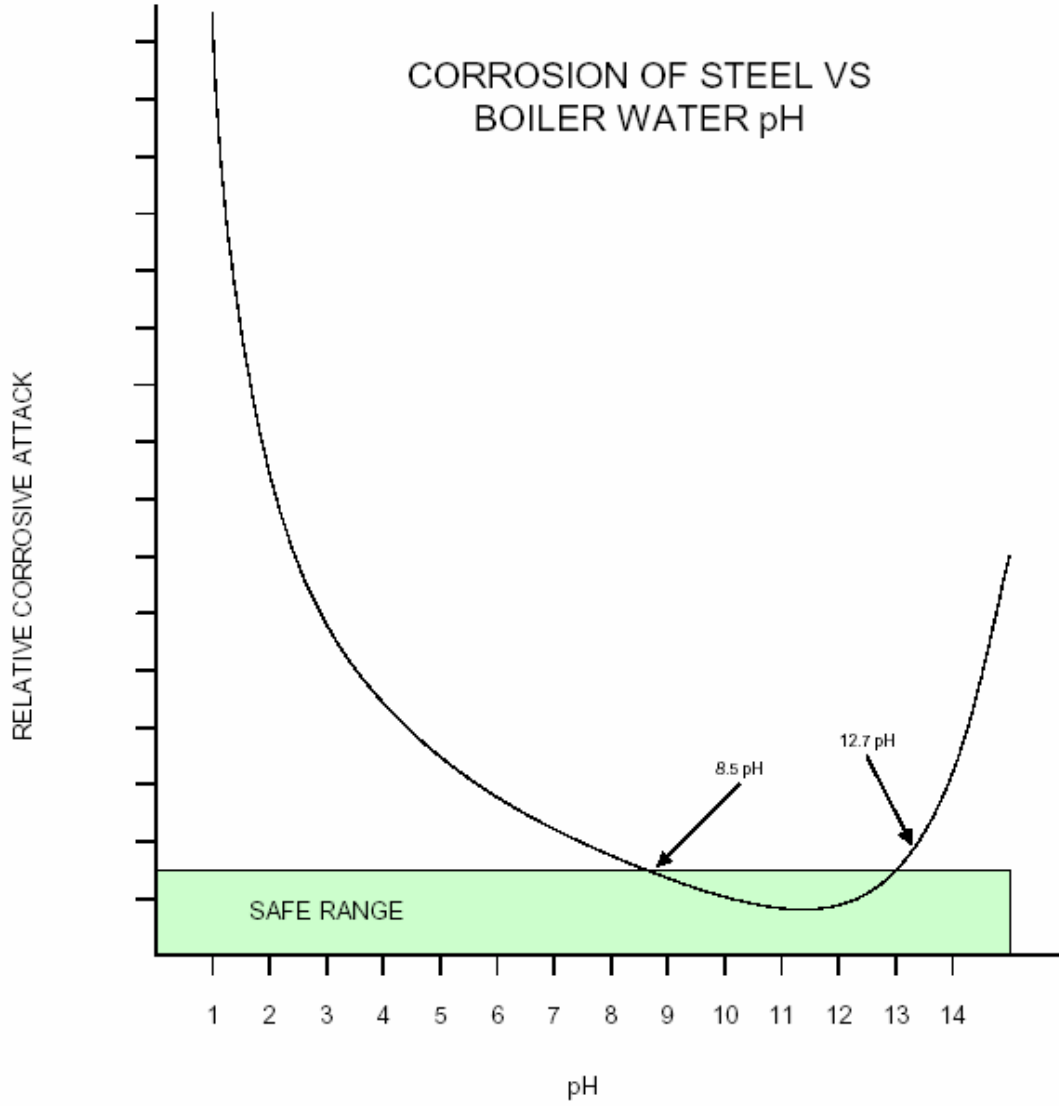
PH

PH .

()

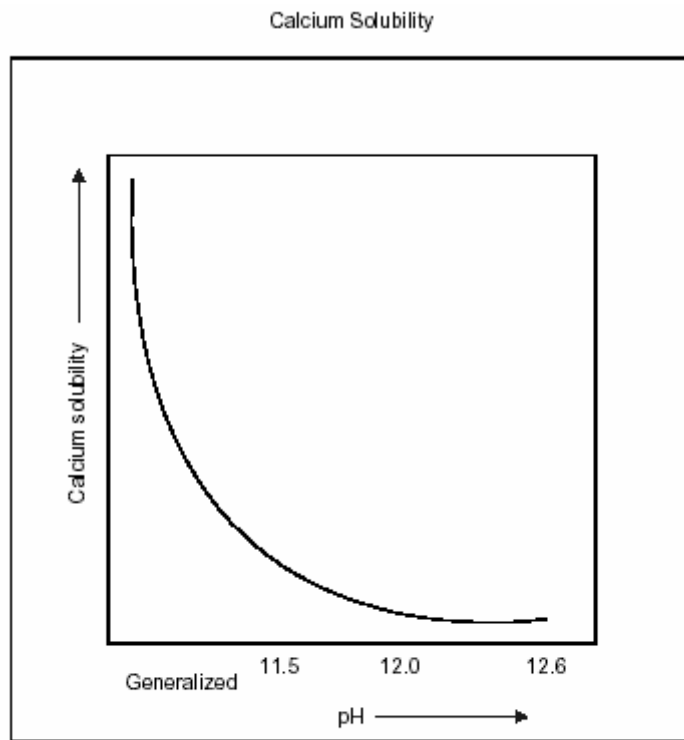
PH

Graph A.1 Corrosion of Steel vs Boiler Water pH



PH

PH



Graph A.2 Calcium Solubility vs pH

PH

C

F

Thumb

.HETROGENEITY

UPSET AREA

UPSET

UPSET AREA

UPSET

"

BHA

:

. Uniform (General) Attack.

. Localized Attack (Pitting) () ,

. Erosion Corrosion. . ,

:

Turbulence

Cavitation

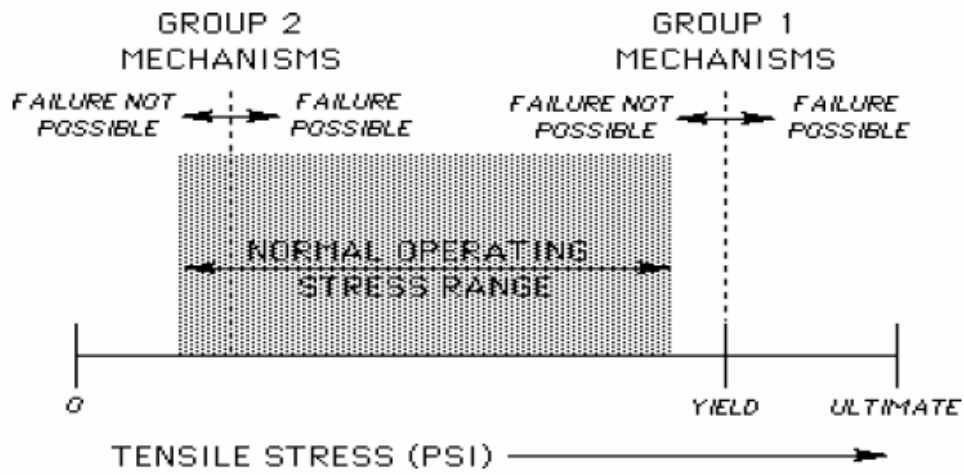
Fatigue Corrosion

"

Fatigue

Limit

Fatigue Limit



نمودار فوق رابطه بین تنش وارده به رشته حفاری با مکانیزم های تخریب را نشان می

دهد.

Sulfide Stress Cracking (SSC)

Sulfide Stress Cracking (SSC)

()

NACE MR O -174

(SSC)

HRC

Quenching & Tempering

Tempered Martensite

(SSC)

HRC

HRC

()

SSC

SSC

SSC

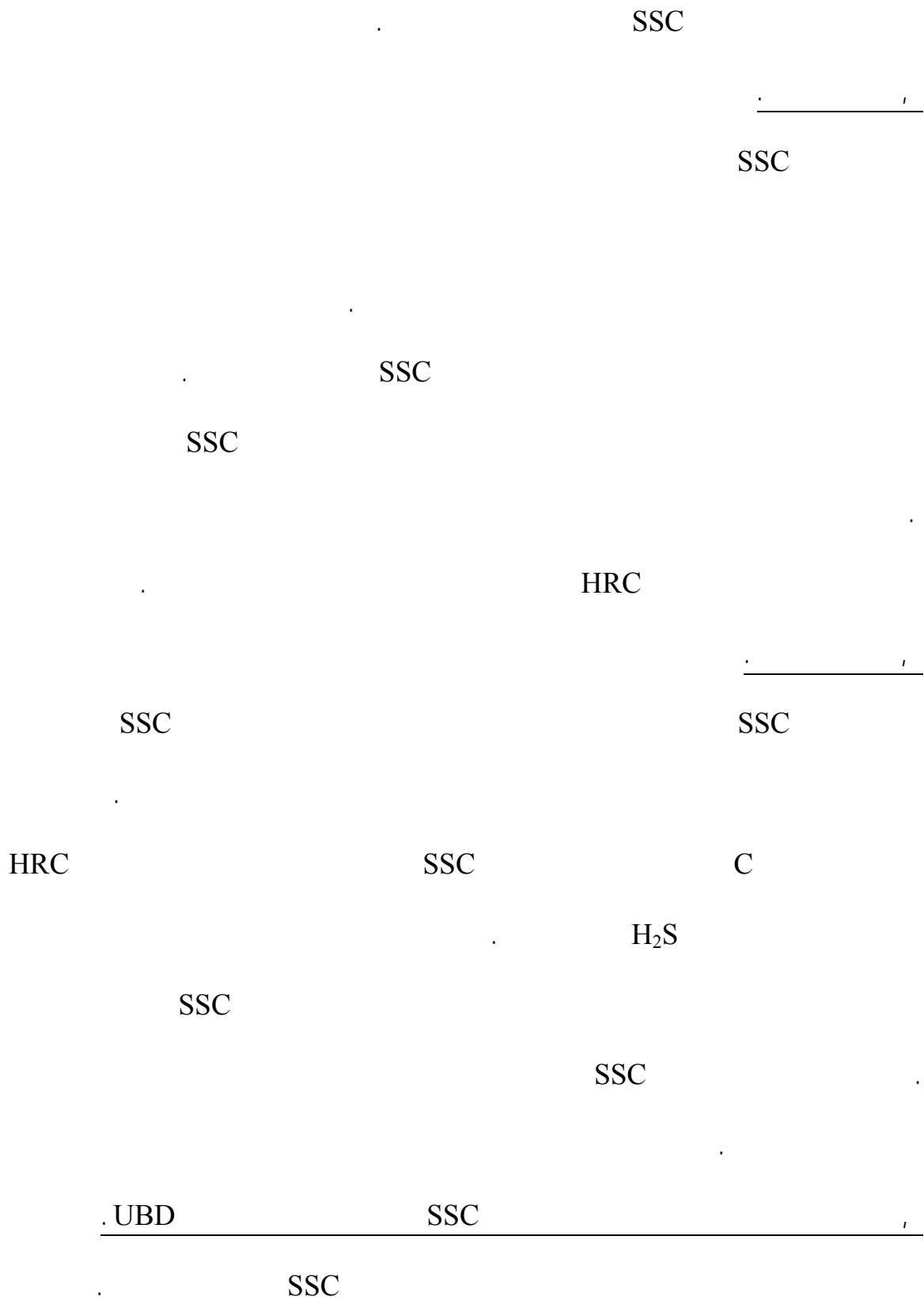
H₂S

H₂S

SSC

H₂S

SSC



UBD

(IRP) INDUSTRY RECOMMENDED PRACTICE

"

"

B

. Anhydrite/Gypsum

B.1

(CaSo4.2H2O/CaSo4) /

FLoccuLation

:

B1

B1

_____ /

. Na2Co3

()

mg mg

(Na2So4)

FLoccuLation

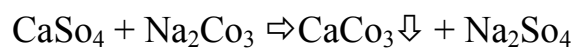


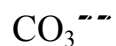
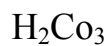
Table B1 - Contaminant & Mud Property Changes

Contaminant	Weight	Viscosity	PV	YP	Gel Strength	Fluid Loss	pH	P _n	P _r	M _r	Cl ⁻	Ca ²⁺	Solids
Cement	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑pH	-
Calcium	-	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑	-	↑pH	-
Magnesium	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑pH	-
Anhydrite	-	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	-	↑	-
Salt	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↘	↘	↘	↘	↑	↑↗	-
Carbonate or Bicarbonate	-	↑	↑	↑	↑	↗	↓	↓	↑↗	↑	-	↓	-
H ₂ S	-	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	-	↗	-
CO ₂	-	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	-	↗	-
Drilled Solids	↗	↗	↗	-	↗	-	-	-	-	-	-	-	↑

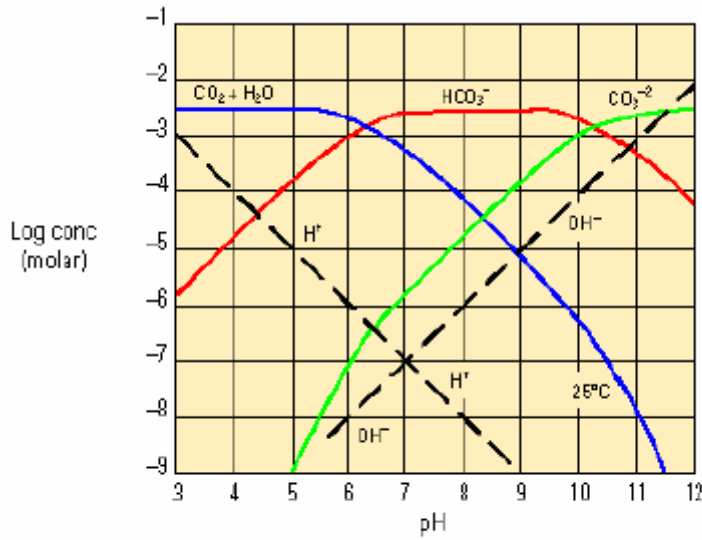
- ↑ Increase
- ↓ Decrease
- No Change
- ↗ Slight Increase
- ↘ Slight Decrease

B1

B.2



PH



Note that CO_2 dominates at low pH and CO_3^{2-} dominates at higher pH. At most mud pHs, HCO_3^- dominates.

PH

UBD

. Lignite

:B1

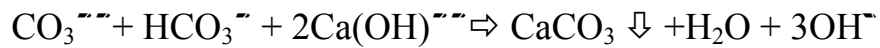
"



PH > 9.5

:

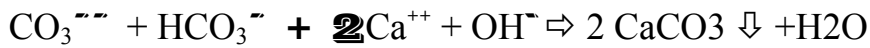
Lime



(Gypsum +

(Gypsum + Lime)

Caustic Soda)



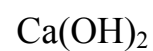
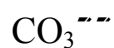
PH

(Gypsum + Caustic Soda)

PH

Gypsum

Flocculation

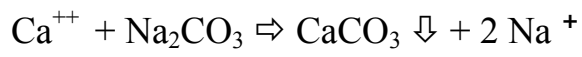
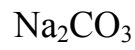




PH

B.4

B.1



PH

(CO₂)

B.5



B.1

PH Management:		PH	-
OBD	UBD	PH	
		PH	
		PH	
		CO ₂	
$2 \text{NaOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \downarrow$			
$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \downarrow$			
Ca(OH) ₂	(NaOH)		PH
ScaLe			-

Management.

CO₂

PH

PH

UBD

PPM

Corrosion Inhibitor.

CO₂

B.6

.()

%

%

Tricalcium Silicate, Tricalcium

Aluminates, Calcium Silicate

(Lime Ca(OH)_2)

()

Ca^{++}

fluid Loss

Flocculation

PH

OH^-

:

Lbm

(Lbm)

, ft^3

Lbm

, Lbm

Lbf

Lbm :

, ft^3 :

$$\begin{aligned}
 & \text{Lbm} \cdot \text{ft}^3 - \\
 & \text{Lbm}^* = \text{Lbm} \cdot \\
 & \text{Lbm}^* \text{ Lbm} / \text{Lbm} = \text{Lbm}
 \end{aligned}$$

$$\{P_m (F_w * P_f)\} = \text{Lbm}/\text{BbL}$$

P_m

P_f

F_w

. B.1

PH

PH

mg/ L

Screen Shaker Mud Cleaner

Sodium Acid Pyrophosphate (SAPP) –
 SAPP (Na₂H₂P₂O₇)

PH

–

PH

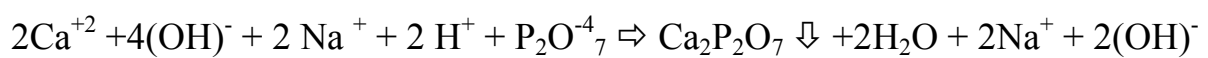
–

–

/ ft³)

SAPP

(, – , kg / m³) (, , Lbm



SAPP

PH

175 °F (85°C) SAPP

FLUCCULATION

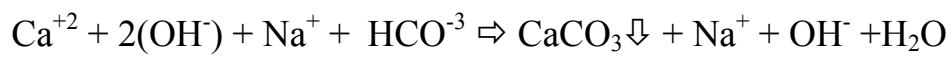
SAPP

Sodium Bicarbonate.

(NaHCO₃)

PH .

200-400 mg/L



1.0 mg

0.001628kg

0.00074 Lbm

PH

Ca⁺²

PH

Lignosulfonate Lignite

7-8 Lbm

1 Lbm/bbl

Flocculation

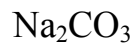
Alternative Chemicals.

71L ALcomer 74

PH.

SAPP

Soda Ash.

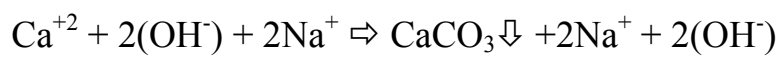


PH

PH



PH



Pretreatment. () -

1.5 - 2 0.75 - 0.5 Lbm/bbL

PH

kg/m³

Treating H₂S Contamination. B-7

H₂S

H₂S

" H₂S

UBD

H₂S

:

Temperature.

H₂S

H₂S

Annular Volume.

H₂S

%

%

Drilling Fluid Agitation.

H₂S

PH.

H₂S

PH

H₂S

PH

H₂S

PH

ppm

H₂S

H₂S

ppm

H₂S

H₂S

ppm

H₂S

H₂S 50 – 400 ppm

H₂S

.B.1

H₂S

H₂S

HACH SuLfide Test.

H₂S

HACH

PH

H₂S

PH

: Garret Gas Train

HACH

H₂S

()

H₂S

Treatment.

H₂S

H₂S

PH

"

S-

HS-

H₂S

H₂S

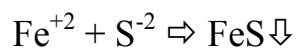
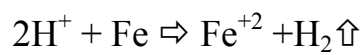
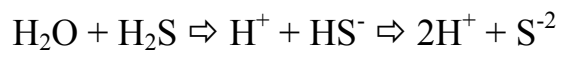
PH

S⁺

PH

H₂S

H₂S



FeS

H2S Scavenger & PH Control. PH H2S

PH H2S H2S

PH PH

Na₂S H₂S

PH "

H₂S H₂S

"

H₂S 5 ppm H₂S 1 ppm

H₂S H₂S

H₂S

$$\text{Lbm H}_2\text{S Scavenger} = \text{ppm H}_2\text{S in gas} * \text{mmcf} * 0.56$$

H₂S

"

H₂S

PH

H₂S

$$\text{Mg / L H}_2\text{S} = (682 * P_m) / (S * G)$$

1 mL

(H₂SO₄)

N 50 mL

P_m

S.G.

H₂S :

500 mg /

ZnCO₃

ZnCO₃

H₂S L

: THUMB

ZnCO₃

100mg / L

H₂S

(

$$\text{Kg /m}^3 \text{ ZnCO}_3 = \text{H}_2\text{S} / 166$$

H₂S

mg /L

H₂S

ZnCO₃

100mg / L

H₂S

(

$$\text{Kg /m}^3 \text{ ZnCO}_3 = \text{H}_2\text{S} / 166$$

H₂S

mg /L

H₂S

ZnCO₃

ZnCO₃ 100 kg

PH

"

15 kg

35 kg

PH

Mixing Procedures for ZnCO₃.

%

H₂S

The Garret Gas

500 mg/L

3.0 Kg/m³

H₂S

H₂S

FLoccuLation

()

ALcomer 74 Desco CF

:

Zn

Zinc in KiLogram = Zinc Carbonate X 0.57

(OBD) .PH H₂S

" H₂S

H₂S

H₂S

H₂S

H₂S

H₂S

OH⁻

20 -30Kg/m3

OH⁻

H₂S

H₂S

H₂S

B.8

B.1

Caustic Soda.

NaOH

PH

Mg(OH)₂



1.0 mg/L

0.00116 Lbm/bbL

Mg⁺²

PH -

PH

Treating SaLt Contamination.

B . 10

. B.1

(Dispersant)

ALcomer 74 Descoc CF

PH

CMC

FLuid Loss

Derivatized starches

PoLyanionic (PAC)

7000 mg/L

SepioLite (SaLt GeL)

AttapuLgite

FLuid Loss

Treating SoLidContamination

B.11

UBD

DETECTION

B.1

Treatment.

Shaker

Sand Trap

Pit equalizer

"

Shakers.

HydrocycLones

Desander

DesiLter

%

Centrifuge.

.()

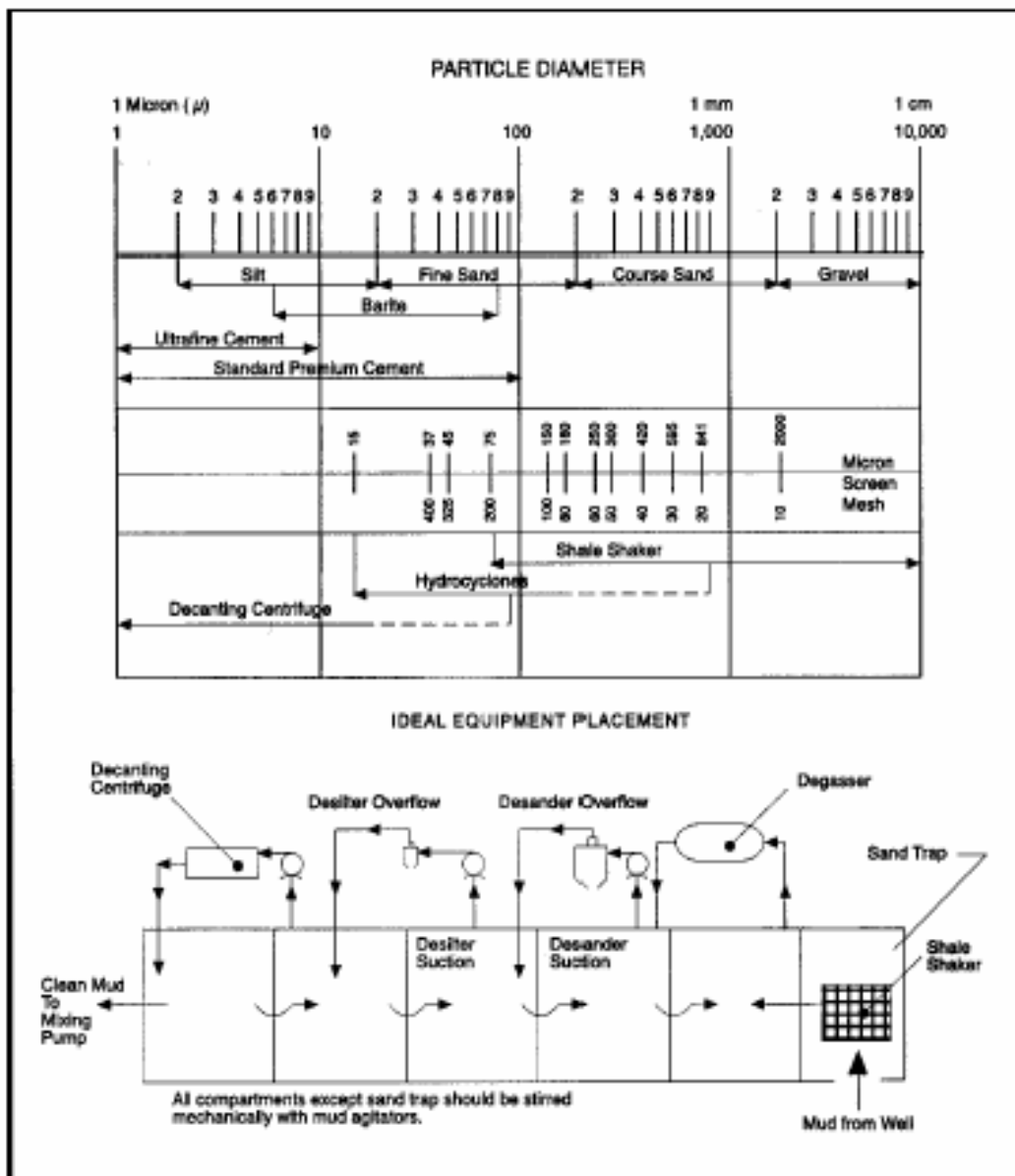
-

FLoccuLation

-

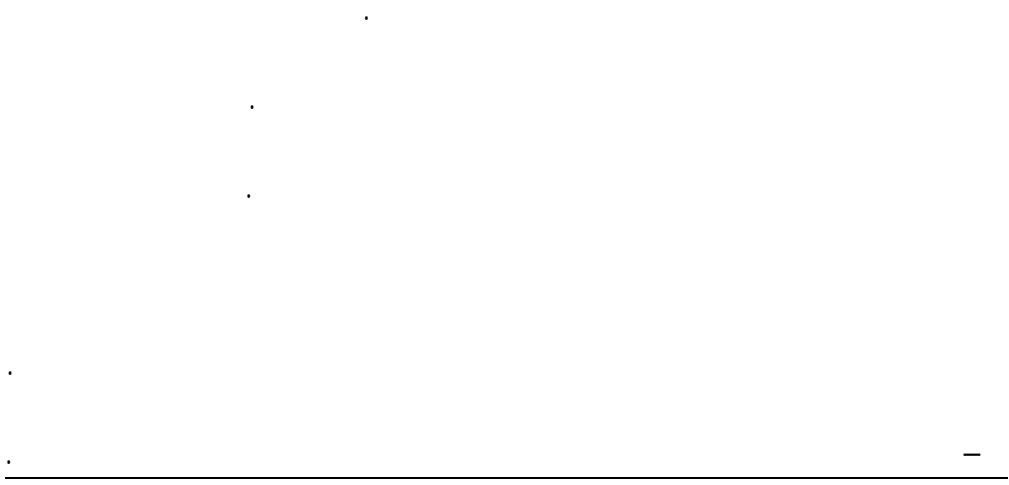
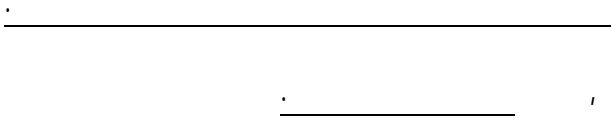
1 ppb

WFT DFT p-400



D

Appendix D: Corrosion Monitoring with Electrical Resistance Probes.



:
 $R = f * (L / A)$

f
 L
 A

f

f

-
(
(
-
-

: 1500 PSI

()

50 Lb 150 psi

: 6000psi 3600 psi

NPT (National Pipe Thread)

NPT

500f

PH

PH

500F (260 C)

500 F

Flash Elements.

AISI 304 , 316

500F (260C)

PH 500F (260C)

500F (260C)

Table D.1 Comparative Features of Corrosion Monitoring Techniques

Comparative Features	Ultrasonics	Coupons	Electrical Resistance Probes	Linear Polarization Resistance Probes	Hydrogen Probes	Sand Probes
Typical Measurement Period	6 to 12 months	40 to 200 hours	Hours to days	Minutes	Hours to days	6 to 24 months
Inspection or On-Line Method	Inspection	On-line Measurement Off-line Analysis	On-line	On-line	On-line	On-line
Historical or Real Time Date Capability	Historical	Historical	Real Time	Real Time	Real Time	Real Time

Process Media Compatibility	Ultrasonics	Coupons	Electrical Resistance Probes	Linear Polarization Resistance Probes	Hydrogen Probes	Sand Probes
Gases	Independent of Process Liquid	Yes	Yes	No	Hydrogen Induced Cracking Only	Yes
Low & Non-Conductive Liquids	External Measurement	Yes	Yes	Limited Range	Hydrogen Induced Cracking Only	Yes
Medium & High Conductivity Liquids		Yes	Yes	Yes	Hydrogen Induced Cracking Only	Yes
Solids, Soils & Concrete		Not Convenient	Yes	Only with Conductive Fluid	N/A	N/A
Maximum Process Temperature	400° F	1,500° F	1,000° F	300° F	500° F	500° F
Maximum Process Pressure	Independent of Pressure	6,000 psi	6,000 psi	6,000 psi	4,000 psi	6,000 psi

Table D.2 Suitability of Corrosion Monitoring Techniques

Comparative Features	Ultrasonics	Coupons	Electrical Resistance Probes	Linear Polarization Resistance Probes	Hydrogen Probes	Sand Probes
General Corrosion	Excellent	Excellent	Excellent	Very Good	Not Recommended	Not Recommended
Erosion	Very Good	Good	Good	Not Recommended	Not Recommended	Good
Erosion/Corrosion	Very Good	Good	Good	Poor	Not Recommended	Good
Pitting Corrosion	Very Good	Very Good	Poor	Good	Not Recommended	Good
Crevice Corrosion	Not Recommended	Good	Poor	Good	Not Recommended	Good
Microbiological Induced Corrosion	Good	Good	Poor	Poor	Not Recommended	Not Recommended
Hydrogen Induced Cracking	Good	Poor	Poor	Poor	Poor	Not Recommended
Sulfide Stress Cracking (SSC)	Good	Good	Not Recommended	Not Recommended	Not Recommended	Not Recommended

Appendix E . Ring Coupon Monitoring Procedure.

()

API RP 13B-1 .

NACE RP 0775

ASTM G1 – 90

E.1

UBD

(. (. (. (.

(. (. (.

(. (. (. AISI: 4130

(. (.

(.

. BHA

BOX

BOX

Visual Inspection of Ring Coupons.

D.3

Laboratory AnaLysis of Coupon.

D.4

CaLcuLation of Corrosion Rate.

D.5

K

(mpy)

K

K

$$\text{Lb/ft}^2/\text{yr} = (\text{Wt Loss}_{(\text{mg})} * 144 * 365) / (453,600 * * \text{area}_{(\text{in}^2)} * \text{days exposed} **)$$

$$\text{Or } (\text{Wt Loss}_{(\text{mg})} * 2,781) / (* \text{area}_{(\text{in}^2)} * \text{hours exposed} **)$$

$$\text{Kg/m}^2/\text{yr} = (\text{Wt Loss}_{(\text{mg})} * 10.000 * 365) / (1,000,000 * * \text{area}_{(\text{cm}^2)} * \text{days exposed} **)$$

$$\text{Or } (\text{Wt Loss}_{(\text{mg})} * 87.60) / (* \text{area}_{(\text{cm}^2)} * \text{hours exposed} **)$$

*

**

—

$$\text{Mpy} = 24.62 * \text{Lb} / \text{ft}^2 / \text{yr}$$

$$\text{Mpy} = 5.03 * \text{kg/m}^2/\text{yr}$$

$$\text{Lb/ft}^2/\text{yr} = 0.04 * \text{mpy}$$

$$\text{Lb/ft}^2/\text{yr} = 0.02 * \text{Kg/m}^2/\text{yr}$$

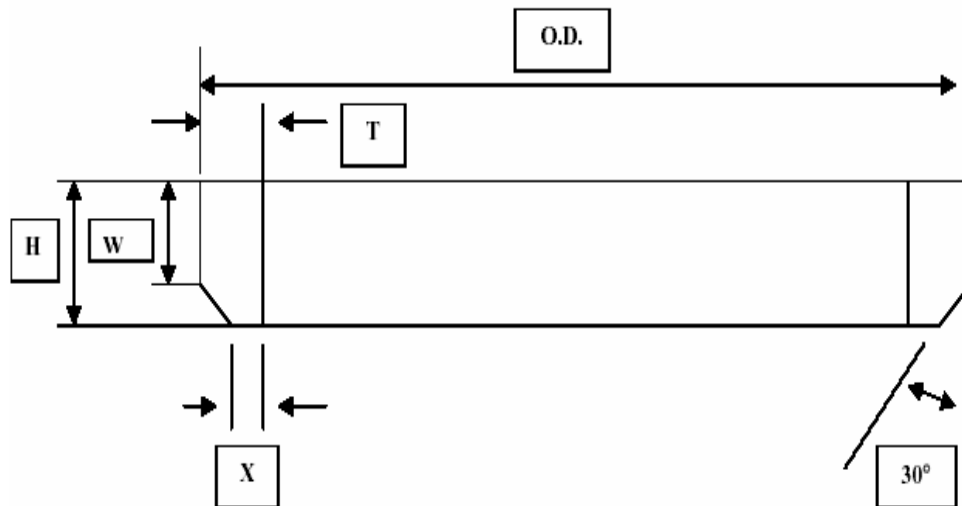
$$\text{Kg/m}^2/\text{yr} = 0.02 * \text{mpy}$$

$$\text{Kg/m}^2/\text{yr} = 4.90 * \text{Lb} / \text{ft}^2 / \text{yr}$$

E

Appendix E: Corrosion Ring Coupon Data

Tool Joint Size	Tool Joint Size	"K" Factor	O.D.	"T" Wall Thickness	H	W	X	Tubing Size
NC-31	2 7/8 IF	394	2.425	0.150	0.375	0.250	0.083	2 1/2 X 2
	3 1/2 FH	357	2.685	0.140	0.375	0.250	0.063	2 3/4 X 2 1/4
NC-38	3 1/2 IF	337	2.965	0.265	0.250	0.125	0.184	3 X 2 1/4
NC-40	4 FH	256	3.156	0.168	0.438	0.313	0.096	3 1/4 X 2 3/4
NC-46	4 IF	250	3.703	0.238	0.313	0.218	0.166	3 3/4 X 3
NC-46	4 1/2 XH	184	3.805	0.203	0.438	0.313	0.125	4 X 3 1/4
	4 1/2 FH	207	3.500	0.250	0.438	0.313	0.184	3 3/4 X 2 3/4
NC-50	4 1/2 IF	253	4.185	0.218	0.250	0.125	0.156	4 1/4 X 3 1/2
NC-50	5 XH	179.12	4.185	0.220	0.375	0.250	0.150	4 1/4 X 3 5/8
	5 9/16 or 5 1/8 API Reg	134	4.590	0.293	0.500	0.375	0.221	4 3/4 X 3 3/4



F

Appendix F : Example Coupon Corrosion Analysis.

. N1602

N1602

/ /



Figure 1. Condition of the corrosion coupon upon receipt in the lab

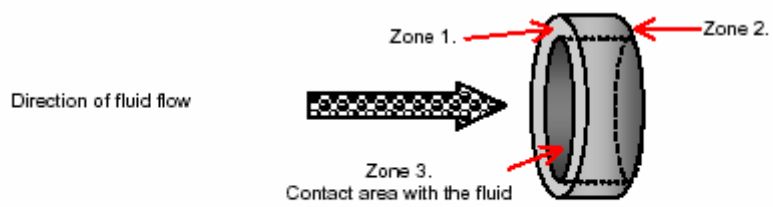


Figure 2. Analysis Zones of the Coupon

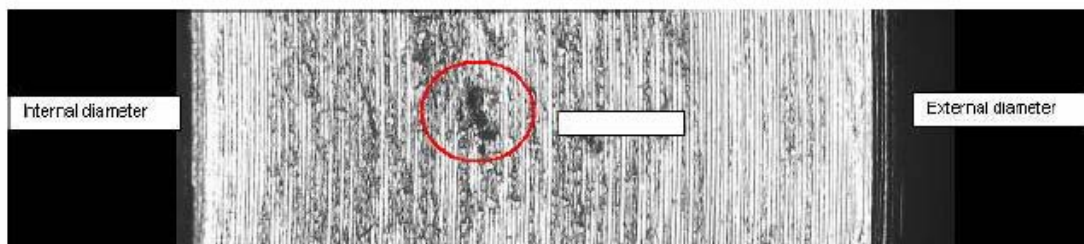


Figure 3. Detail of the defects found in Zone 1 (20X)

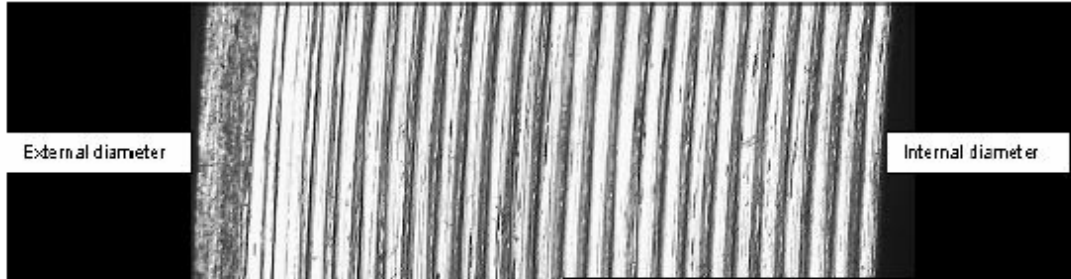


Figure 4. Detail of Zone 2 (20X)

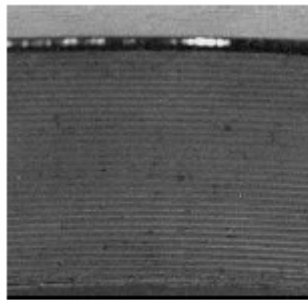


Figure 5. Detail of the mechanical damage found in Zone 3

NACE RP 0775

2mpy

فصل ۵

تاریخچه حفاظت کاتدی

نیروی دریایی انگلستان اولین سازمانی بود که از روش حفاظت کاتدی برای محافظت بدنه کشتی‌ها استفاده نمود. سر هامفری دیوید، در سال ۱۸۲۳ از طرف این سازمان مأمور بررسی خوردگی صفحات مسی موجود در بدنه کشتیهای چوبی شد. ایشان از آندهای قلع، آهن و روی جهت حفاظت مس استفاده کرد و نتایج مطلوبی بدست آورد. او بعدها در سال ۱۸۲۴ از چدن نیز به عنوان آند استفاده کرد. ایشان در یافتن چدن مناسبتر از قلع، آهن و روی می‌باشد. چرا که پایداری خواص الکتریکی در چدن به مراتب بیشتر است. با این وجود استفاده از روی به عنوان آند حتی زمانیکه کشتیهای چوبی جای خود را به کشتیهای آهنی و فولادیی دادند نیز ادامه یافت.

موقعیت نصب روی، برکشتی در محلهای انتهایی کشتی برای حفاظت قسمتهای برنجی نظیر پروانه و وردی لوله‌های حاوی آب گردش است که شدیداً، مستعد خوردگی می‌باشند. اگر چه در ابتدا حفاظت‌کنندگی روی مورد شک و تردید بود، ولی گزارشات بعدی همگی حاکی از رضایت بخش بودن حفاظت‌کنندگی آن بود.

ادیسون نیز سعی کرد که از آندهای اعمال جریان جهت حفاظت کاتدی کشتی استفاده کند ولی بدلیل عدم دسترسی به تکنیکها و امکانات لازم در آن زمان، این کار میسر نشد. اغلب استفاده‌کنندگان اولیه حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان در آب دریا، توجه به پیشگیری از تشکیل لایه‌ها و رسوبات بر کشتی‌ها داشتند که در اثر تماس با آب دریا بر سطحشان تشکیل می‌شد. در آن زمان تصور پیشرفت در روند اعمال و روشهای حفاظت کاتدی بدین صورت که امروز میسر شده است، انتظار نمی‌رفت.

از ابتدای قرن بیستم تا کنون انتقال سوخته‌های مایع و گازی از طریق خطوط لوله زیرزمینی چدنی و فولادی صورت می‌گیرد. اما از سال ۱۹۲۰ با توسعه شبکه خطوط لوله نفت در آمریکا، خوردگی این لوله‌ها اهمیت خاصی پیدا کرد. چرا که بوجود آمدن یک نشتی کوچک در این شبکه می‌توانست خسارت جبران‌ناپذیری چون به هدر رفتن نفت، آتش‌سوزی، هزینه‌های زیاد تعمیرات، به تعویق افتادن امور، آلودگی آبهای مصرفی و مرگ و میر حیوانات را به دنبال داشته باشد. تا اواخر دهه سوم قرن بیستم تعداد نشتی‌ها کم و قابل تحمل بوده و منحنی فرکانس نشتی‌ها به طور خطرناکی شروع به افزایش نیافته بود. تا اینکه در دهه چهارم جهت جلوگیری از خوردگی داخل لوله‌ها از مواد ممانعت‌کننده و برای جلوگیری از خوردگی خارج لوله‌ها از فرآیندهای پوشش‌دادن و حفاظت کاتدی استفاده گردید. در ابتدا حفاظت کاتدی صرفاً به قسمتهایی از خط لوله که در خاکهای خیلی خورنده قرار داشت و شدیداً، تحت تأثیر خوردگی بود اعمال می‌گردید. البته این روشها توأم با موفقیت نیز بود. همچنین از آندهای روی و یا از روش اعمال جریان به کمک ژنراتورهای بادی و یا مبدلها و یکسوکننده‌های استفاده می‌شد.

در سال ۱۹۳۶ در آمریکا انجمنی بنام انجمن حفاظت کاتدی تشکیل گردید که کار آن بحث و بررسی و تبادل اطلاعات در زمینه حفاظت کاتدی بود، تشکیل این انجمن پایه تشکیل انجمن ملی مهندسين خوردگی شد.

از جمله حوضه‌های دیگر نفتی که شبکه‌های وسیعی از خطوط لوله نفت را در خود جای داده بود. خاور میانه بود. در این منطقه بحرین اولین کشوری بود که در سال ۱۹۳۹ از حفاظت کاتدی جهت لوله‌های واقع در دریا استفاده کرد. ۷۰ سال پیش عامل عمده خوردگی فلزات مدفون، تأثیر تداخل ناشی از جریانهای سرگردان قطارهای برقی بود. نخستین روشی که برای جلوگیری از این نوع خوردگی مورد استفاده قرار گرفت، این بود که لوله‌ها را به قطب منفی ژنراتور وصل کنند. البته از این روش در حال حاضر نیز استفاده می‌شود، در ضمن ادعا شده

است، قرار دادن یک ژنراتور برق مستقیم دیگر بین کابل قطار برقی و سازه باعث بهبود حفاظت می گردد.

در سال ۱۹۱۱ یک محقق آلمانی بنام هرمن جیبرت روشی برای حفاظت فلزات مدفون در مقابل خوردگیهای حاصل از جریان سرگردان ارائه نمود که در آن بیشتر از حفاظت کاتدی استفاده شده است.

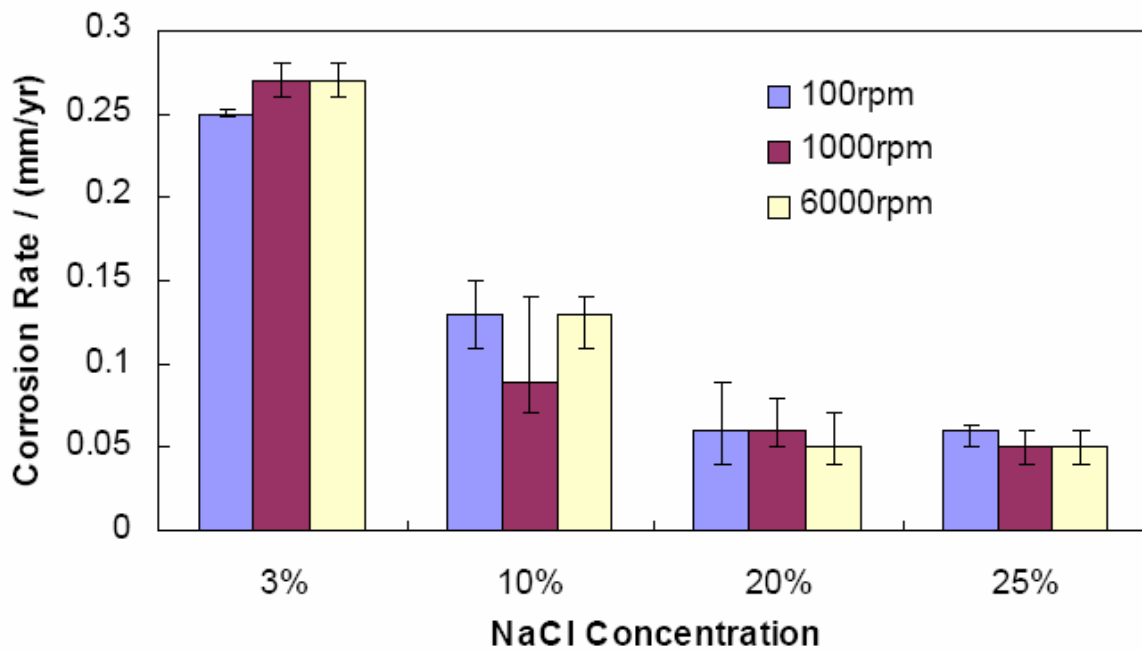
امروزه اختراع مواد جدیدی چون آندهای فدا شونده از نوع آلیاژهای آلومینیم و منیزیم و آندهای اعمال جریان به همراه توسعه مهندسی برق و الکترونیک موجب پیشرفتهای بزرگی در حفاظت کاتدی گردیده است. بطوریکه امروزه به حفاظت کاتدی به عنوان یک رشته مهندسی با ساختار علمی قوی نگریده می شود.

خوردگی در آب دریا

محیط آب دریا

خوردگی دریایی شامل از بین رفتن ماشین آلات و خطوط لوله در اثر واکنش شیمیایی با آب دریا می باشد، مهمترین عامل ایجاد واکنش در آب دریا وجود املاح می باشد. بر اساس نمودار زیر در NaCl ۳٪ بیشترین نرخ خوردگی اتفاق می افتد که غلظت نمک آب دریای آزاد تقریباً همین مقدار است.

نمودار زیر نتیجه آزمایش صورت پذیرفته بر روی فولاد ساده کربنی AISI:1018 در آب نمک حاوی گاز CO_2 در دمای ۵ درجه سانتی گراد و $\text{PH}=4$ با در صد های وزنی نمک % Wt از ۳،۱۰،۲۰،۲۵ با سرعت چرخش ۱۰۰،۱۰۰۰،۶۰۰۰ را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود سرعت چرخش تأثیر زیادی بر روی سرعت خوردگی در ندارد



نمودار فوق تأثیر غلظت نمک بر روی نرخ خوردگی فولاد، در آب را نشان می دهد.

علاوه بر یون کلر یون های دیگری هم وجود دارند: به عنوان مثال در یک نمونه آب دریا

غلظت یونها در جدول زیر داده شده است.

غلظت (g/Kg)	نام یون	غلظت (g/Kg)	نام یون
۰,۰۶۷	Br ⁻	۱۰,۷۷	Na ⁺
۰,۰۰۱۳	F ⁻	۰,۳۹۹	K ⁺
۰,۱۴۰	HCO ₃ ⁻	۱,۲۹۰	Mg ⁺⁺
۲,۷۱۲	So ₄ ²⁻	۰,۴۱۲	Ca ⁺
۰,۰۲۵۷	B(OH) ₃	۰,۰۰۸	Sr ⁺⁺
		۱۹,۳۵۴	CL ⁻

لازم به ذکر است با توجه به میزان تبخیر آب و ورود آب شیرین رودخانه ها، غلظت یونها ممکن است در نواحی مختلف دریا تغییر کند.

افزایش میزان کلر تا غلظت ۳,۵٪ و سایر یونها باعث افزایش هدایت الکتریکی آب دریا و افزایش نرخ خوردگی بخصوص خوردگی حفره ای می گردد که باعث شکستن لایه پاسیو در فولاد ضد زنگ و آلومینیم می شود. یعنی با افزایش میزان کلر مقاومت به کلر این دسته از آلیاژها کم می شود. از عوامل دیگری که در میزان خوردگی تأثیر دارد، میتوان به درجه حرارت، غلظت دی اکسید کربن، اکسیژن و سولفات محلول در آب اشاره کرد.

اکسیژن در اثر وزش باد روی سطح اقیانوس و از متابولیسم گیاهان میکروسکوپی، در آب حل می شود. افزایش غلظت اکسیژن محلول در آب دریا باعث افزایش نرخ خوردگی فولاد کربنی شده، همچنین تأثیر نامطلوبی بر آلومینیم و فولاد ضد زنگ دارد. میزان حلالیت اکسیژن با دما رابطه معکوس دارد، با افزایش دمای آب، حلالیت اکسیژن در آب دریا کم می شود. در اعماق دریا بواسطه مصرف اکسیژن توسط آبزیان غلظت اکسیژن کمتر از سطح آب است.

PH آب دریا بالاتر از ۸ می باشد، در صورتی که یونهای کلسیم و منیزیم به اندازه کافی وجود داشته باشند، در سیستم حفاظت کاتدی نزدیک کاتد محیط قلیایی ($PH > 9.7$) لایه رسوبی کلکریوس بوجود می آید. در قسمت های عمیق دریا PH کمتر و تشکیل لایه مورد نظر دشوارتر صورت می گیرد. کاهش PH میتواند باعث افزایش خوردگی در فلزات بویژه آلومینیم شود.

آلودگی های آب دریا می تواند باعث افزایش حلالیت اکسیژن و کاهش PH شود که نهایتاً، منجر به افزایش نرخ خوردگی می گردد. در اثر آلودگی ها ممکن است باکتری SRB فعال شود و در نواحی مانند اسکله یدک کشها در زیر گل، خوردگی حفره ای بر روی سطح فولاد ایجاد شود. در نواحی که میزات آلودگی زیاد است مقدار سولفات ممکن است به 50 PPM برسد.

آب دریا دارای شرایط مناسبی برای زیست موجودات میکروسکوپی و ماکروسکوپی می باشد، بسیاری از این موجودات را بر روی یک سطح فلزی در آب دریا میتوان مشاهده کرد. وقتی یک سطح با آب دریا در تماس است، فرآیندی به صورت پیوسته و دینامیک انجام می گیرد که با جذب مواد آلی و غیره زنده شروع و با تشکیل جلبک های چسبنده ادامه پیدا می کند و سپس گیاهان و موجودات جانوری ماکروسکوپی بر روی آن می نشینند. این فرآیند بلافاصله بعد از قرار گرفتن در آب دریا شروع می شود و در ۲ ساعت اولیه تکمیل و در ۲۴ ساعت بعد این لایه پیشرفت می کند. این باکتری ها با تشکیل اسیدهای آلی ، هیدروژن و ... خواص شیمیایی سطح مشترک فلز و آب را تغییر داده و مبنای ایجاد خوردگی اختلاف دمشی می گردد. در اثر واکنش باکتری ها، سولفید یا آمونیاک تولید می شود که آمونیاک تولید شده باعث SCC در مس و سولفید باعث خوردگی حفره ای در سطح مس و آهن می شود. وجود باکتری SBR در محیط بدون هوازی باعث بوجود آمدن خوردگی زیر جلبکها می شود.

انواع خوردگی در محیطهای آب دریا.

علاوه بر خوردگی عمومی که در آب دریا اتفاق می افتد خوردگی های زیر نیز، ممکن است بوجود آیند.

خوردگی گالوانیکی.

آب دریا به عنوان یک الکترولیت قوی میتواند مد نظر قرار گیرد. وقتی در محیط دریا دو فلز با پتانسیل الکتروشیمیایی مختلف به یکدیگر اتصال داشته باشند، خوردگی ایجاد می شود. اتصال دو فلز غیر همنام ، تماس فلز جدید و قدیم، سطوح بریده شده و براق، ایجاد تنش در قسمتی از فلز می تواند منشأ ایجاد این نوع خوردگی باشد.

خوردگی ناشی از جریان سرگردان.

در سازه های دریایی جهت کنترل خوردگی معمولاً از سیستم حفاظت کاتدی استفاده می شود، در صورتی که از سیستم اعمال جریان استفاده گردد، ممکن است برسازه های بیگانه نزدیک تأثیر بگذارد. در صورتی که سازه بیگانه بین آند و کاتد قرار گیرد، جریان از آند خارج و از طریق الکترولیت در نزدیکترین نقطه نسبت به آند وارد سازه بیگانه می شود و در نقاط دوردست که جریان از سازه خارج می شود، خوردگی اتفاق می افتد. به این جریان سرگردان، تداخل آندی گفته می شود. همچنین در صورتی که سازه بیگانه بسیار نزدیک به کاتد باشد، تداخل کاتدی ایجاد خواهد شد که خوردگی بوجود آمده شدیدتر از تداخل آندی می باشد. ساده ترین روش جهت جلوگیری از جریان سرگردان اتصال دادن دو سازه توسط مقاومت متغیر می باشد.

خوردگی پیل اختلاف دمشی.

معمولاً در نقاطی اتفاق می افتد که غلظت اکسیژن در دو ناحیه متفاوت باشد، پیل الکترو شیمیایی تشکیل و خوردگی اتفاق افتد. در منطقه جزر و مد، میزان اکسیژن بیشتر از زیر منطقه جزر و مدی می باشد، لذا زمینه برای خوردگی فراهم است.

خوردگی فرسایشی.

در اثر ضربه امواج دریا به سازه ها، مواد ساینده مثل ماسه باعث از بین رفتن محصولات خوردگی بر روی سطح می شوند، فلز لخت با محیط تماس پیدا کرده و باعث افزایش خوردگی می شود. این خوردگی بیشتر در قسمت مغروق و در نزدیک بستر دریا اتفاق می افتد و در مناطق ماسه ای که جریان آب نیز وجود دارد اتفاق می افتد. جریان آب باعث تلاطم امواج و ماسه کف دریا شده و با حرکت امواج، ماسه ها به سازه برخورد کرده و فرسایش اتفاق می افتد.

خوردگی به وسیله موجودات زنده.

موجودات زنده با تغییر شرایط محیط از جمله ایجاد پیل اختلاف دمشی، ایجاد محیط خورنده در اثر متابولیسم موجودات و حذف لایه پاسیو می توانند باعث خوردگی شوند.

نواحی مختلف سازه دریایی.

به منظور شناسایی خوردگی و روشهای جلوگیری از آن یک سازه دریایی به قسمت های

زیر تقسیم بندی می شود.

قسمت اتمسفریک (Atmospheric Zone).

قسمتی از سازه که بالای منطقه پاشش قرار دارد و در معرض باد، خورشید و باران قرار

دارد.

قسمت جزر و مدی و پاشش (Tidal & Splash Zone).

منطقه ایی از سازه که بیرون آب است و تحت تأثیر جذر و مد ، امواج دریا و باد قرار دارد.

منطقه مغروق.

این منطقه در زیر منطقه جزر و مدی قرار دارد و سازه همیشه در آب مغروق است.

منطقه گل و لای.

این منطقه از کف بستر دریا شروع می شود، نرخ خوردگی آن از قسمت مغروق کمتر

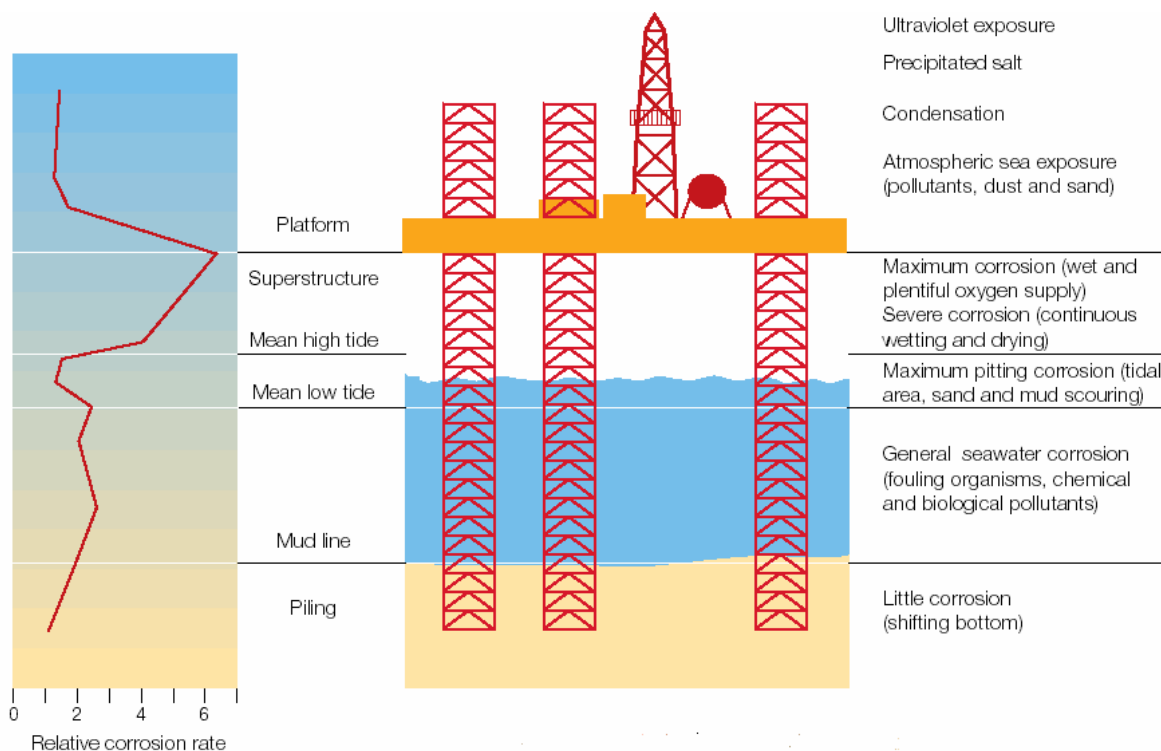
است، لازم به ذکر است، حداکثر میزان جزر و مد دریای آزاد ۳ متر می باشد.

در تصویر زیر نواحی مختلف با نرخ خوردگی که در هر ناحیه وجود دارد نشان داده شده

است.

تصویر زیر مناطق خوردگی یک سازه فولادی در آب دریا و کاهش نسبی ضخامت فلز در

هر منطقه را نشان می دهد، بیشترین کاهش مربوط به منطقه جزر و مدی و پاشش می باشد.



شکل فوق مناطق مختلف دستگاه حفاری در آب دریا را نشان می دهد.

روشهای کنترل و جلوگیری در قسمتهای مختلف از سازه های دریایی.

جهت جلوگیری خوردگی در سازه های دریایی می توان به روشهای پوشش دهی ،

حفاظت کاتدی و Corrosion Allowance اشاره کرد.

منطقه اتمسفریک.

بااستفاده از پوششهایی که در استاندارد IPS-E-TP-100 ذکر شده می توان پوشش

مناسب را انتخاب نمود. در قسمت اتمسفریک براساس استاندارد NACE RP 0176 مطابق

جدول زیر می تواند پوشش مناسب را انتخاب کرد.

در مراحل طراحی و ساخت یک سازه دریایی در قسمت اتمسفریک موارد زیر جهت

کنترل خوردگی بایستی رعایت شود.

TYPICAL COATING SYSTEMS USED IN THE ATMOSPHERIC ZONE^(A)

Coating System	Thickness	
	μm	mils
Wash Primer	13	0.5
Vinyl, intermediate and topcoats (3 to 4 coats)	200 to 250	8-10
Wash Primer	13	0.5
Chlorinated rubber, intermediate and topcoats (3 to 4 coats)	200 to 250	8 to 10
Inorganic zinc-rich self-cured primer	75	3
Epoxy intermediate coat	125	5
Vinyl acrylic or polyurethane topcoat	50	2
Inorganic zinc-rich self-cured primer	75	3
Epoxy intermediate and topcoat (2 coats)	250	10
Inorganic zinc-rich self-cured primer	75	3
Vinyl high-build intermediate coat	100 to 150	4 to 6
Vinyl topcoat (2 coats)	50	2
Inorganic zinc-rich post-cured primer	75	3
Epoxy intermediate coat	125	5
Vinyl acrylic or polyurethane topcoat	50	2
Inorganic zinc-rich post-cured primer	75	3
Epoxy tie-coat	50	2
Epoxy intermediate coat	100 to 150	4 to 6
Vinyl acrylic or polyurethane topcoat	50	2
Inorganic zinc-rich post-cured primer	75	3
Co-polymer tie-coat	50	2
Vinyl high-build topcoat	150 to 250	6 to 10
Inorganic zinc-rich self-cured primer	75	3
Epoxy tie-coat	50	2
High-build polyurethane	150 to 200	6 to 8

جدول فوق انواع پوششها در منطقه اتمسفریک را نشان می دهد.

- معمولاً از سازه های لوله ایی شکل استفاده گردد تا نقاط زاویه دار و گوشه کمتر وجود داشته باشد.
- کلیه جوشها باید SeaLed درزگیری شده باشند تا از نفوذ آب بداخل آن جلوگیری شود.
- باید از جوشکاری نقطه ایی جلوگیری گردد زیرا در این جوشکاری امکان نفوذ آب مابین صفحات جوشکاری شده و ایجاد خوردگی وجود دارد.
- باید از نصب (Fitting) اتصالات در کنار یکدیگر جلوگیری گردد تا از بوجود آمدن نقاط بحرانی نظیر گوشه ها جلوگیری کرد. لازم به ذکر است رنگ آمیزی در گوشه ها مشکل است و خوردگی در اثر تنش نیز در این نقاط تشدید می شود.

- جهت کاهش خوردگی میتوان از موادی مانند آلومینیم یا مواد غیر فلزی مانند کامپوزیت استفاده کرد.

مناطق جز و مدی و پاشش.

در این مناطق از صفحات سایشی، پوششهای آلی یا فایبر گلاس استفاده می شود. همچنین با توجه به اینکه بیشترین نرخ خوردگی در این منطقه وجود دارد، طراحی باید به گونه ای انجام گیرد که کمترین سطح تماس با آب در این منطقه باشد. پوشش مورد استفاده در این قسمت TidaL & SpLash Zone به شرح زیر است.

- استفاده از غلاف فلزی نیکل - مس.

این غلاف فلزی بر روی پایه ها در منطقه TidaL & SpLash Zone می تواند بانند یا جوشکاری شود، البته انجام جوشکاری بدلیل آب بندی ایجاد شده بین فضای پایه و غلاف بهتر است. این غلاف می تواند در برابر صدمات مکانیکی و ضربه مقاومت نشان دهد.

VuLcanized ChLoperene.

این ماده معمولاً به عنوان Rubber Lining در ضخامت های بین 6-13 mm بکار می رود، این پوشش معمولاً بر روی سازه هایی مثل لوله اعمال می شود، در این صورت جهت انجام جوشکاری و جلوگیری از آسیب رسیدن به پوشش حدود 50 mm از انتهای لوله، عاری از پوشش باقی می ماند. سایر مشخصات این نوع پوشش در استاندارد ASTM D- 3182 ذکر گردیده است.

High buiLd organic coating.

در این نوع پوشش ها معمولاً از SiLica gLass - fLake یا Fiber gLass استفاده می شود، ضخامت آن 1-15 mm می باشد.

Heat shrink sLeeves.

SLeeve بصورت لوله ای شکل معمولاً در منطقه TidaL & SpLash Zone بکار می رود که داخل آن از مواد آب بند و چسبنده آغشته شده است. آماده سازی سطح مناسبی برای این پوشش مورد نیاز است.

- اسپری آلومینیم.

اسپری آلومینیم با ضخامت ۲۰۰ میکرون انجام می شود و مواد سیلیکونی روی پوشش جهت ایجاد آب بندی اعمال می گردد. آماده سازی و تمیز کاری سطح قبل از اعمال پوشش یک اصل است. مواد آب بند باعث پر شدن حفرات می شود که عمر و کیفیت سطح پوشش را افزایش می دهد. میزات چسبندگی پوشش 7000Kpa است که میتوان آزمایش مذکور را براساس استاندارد ASTM C633 انجام داد. اسپری آلومینیم بر روی قسمت مغروق و اتمسفری هم انجام می شود.

- S.P.Z compound

این پوششها دو جزئی و معمولاً SoLvent Free می باشند، بعد از ترکیب دو جز، به صورت خمیری شکل در آمده که قابلیت اعمال پوشش در زیر آب را دارد و در ضخامت های 3-5 mm می توان اعمال می شود.

منطقه مغروق در آب.

این منطقه از سازه می تواند به تنهایی توسط سیستم حفاظت کاتدی یا ترکیبی از پوشش و سیستم حفاظت کاتدی حفاظت شود.

منطقه گل و لای.

با توجه به اینکه پایه ها در کف بستر دریا کوبیده می شوند، رنگ آسیب می بیند و معمولاً برای جلوگیری از خوردگی در این مناطق از سیستم حفاظت کاتدی استفاده می شود.



تصویر فوق پایه یک دستگاه حفاری دریایی را نشان می دهد.

خوردگی سطح بیرونی پایه ها.

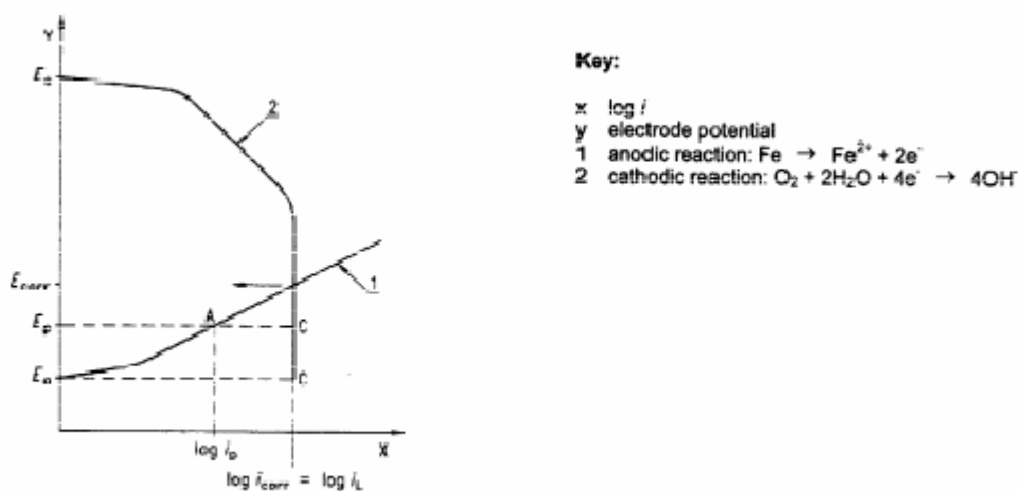
سطح خارجی تاسیسات دریایی با آب دریا در تماس است و بیشترین میزان خوردگی در این قسمت اتفاق می افتد. به همین دلیل جلوگیری از ایجاد خوردگی خستگی لازم است، برای این منظور لازم است، نواحی جوشکاری شده حتماً مورد تنش زدایی قرار گیرند.

حفاظت کاتدی

مقدمه

اعمال پوشش و سیستم حفاظت کاتدی از روش های متداولی است که امروزه در صنعت جهت جلوگیری از خوردگی سازه های دریایی استفاده می شود. در سازه های اتمسفریک جهت جلوگیری از خوردگی، تنها از رنگ استفاده می شود. در زیر اصول اولیه حفاظت کاتدی بخصوص در محیط دریایی ذکر شده است.

در شکل زیر می توان منحنی پلاریزاسیون مربوط به فولاد را مشاهده کرد. با کاهش E_{corr} به E_p نرخ واکنشهای آندی کاهش یافته و I_{corr} به I_p تبدیل می شود، در این حالت نرخ واکنش های کاتدی افزایش یافته و کاتد از دو منبع، خورده شدن آند و منبع خارجی الکترون دریافت می کند. اگر پتانسیل به حد E_a کاهش یابد نرخ خوردگی در واکنشهای آندی به حد بسیار کمی میرسد که قابل اغماض است. جریان مورد نیاز برای اینکه واکنش های آندی به حداقل مقدار برسد برابر است با $I(E_{\text{corr}}) - I(E_a)$ که با اعمال این جریان برای جلوگیری از خوردگی "حفاظت کاتدی" گویند. لازم به ذکر است، به صفر رساندن جریان آندی مقدور نیست و سعی می گردد به حد قابل قبول برسد. دو دسته روش حفاظت کاتدی وجود دارد، یکی استفاده از آندهای فدا شونده که آلیاژهایی هستند که از نظر پتانسیل الکترو شیمیایی پایین تر از سازه باشند و روش دیگر اعمال جریان که از آندهای کمکی و منبع تغذیه استفاده می شود.



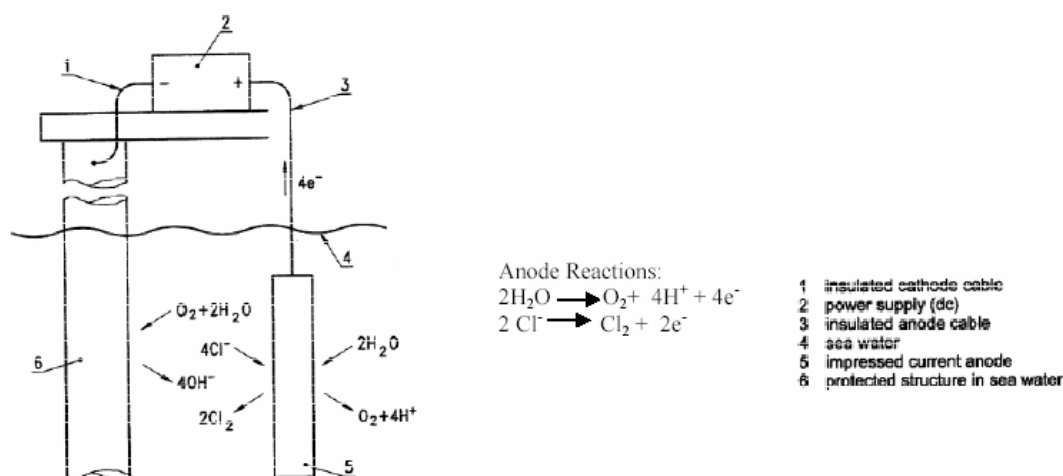
تصویر فوق منحنی پولاریزاسیون فولاد در حالت حفاظت کاتدی را نشان می دهد.

سیستم حفاظت کاتدی از دسته اعمال جریان.

در این سیستم جریان مورد نیاز از یک منبع جریان برق DC خارجی تامین می گردد. در

این روش جریان مورد نیاز بواسطه خوردگی یک فلز یا آلیاژ فدا شونده تولید نمی گردد، و از آند

ها صرفاً بعنوان آندهای کمکی استفاده می شود گرچه می توان از مواد مصرف شونده نیز بعنوان آند استفاده نمود. در عمل از آندهای کمکی مانند فروسیلیکون، گرافیت، تیتانیم، تیتانیم پلاتینیزه، آند با پوشش سرامیکی (MMO) استفاده می گردد که سرعت مصرف پایینی دارند. جهت یکنواخت شدن محیط اطراف الکترو لیت و پایین آمدن مقاومت بستر معمولاً از پشت بند کک استفاده می کنند. در این سیستم قطب مثبت ترانس به آند و قطب منفی آن به سازه وصل می گردد. شکل زیر به صورت شماتیک این سیستم را نشان می دهد.



تصویر فوق سیستم حفاظت کاتدی از نوع اعمال جریان را نشان می دهد.

منبع تولید برق DC معمولاً یک دستگاه یک سو کننده است. جریان مستقیم را همچنین می توان با استفاده از ژنراتورهای مولد برق مستقیم، باتریها، ژنراتورهای بادی، ژنراتورهای برقی، پیلهای خورشیدی و پیلهای سوختی نیز تولید نمود. اجزاء اصلی دستگاه یک سو کننده عبارت است از کلید قطع مدار برای محافظت از اجزاء سیستم، یک ترانسفرمر کاهنده برای کاهش ولتاژ AC، کلیدهای تنظیم حساس، عامل یکسوکننده برای تبدیل AC به DC و خروجی جریان می باشد.

آندهای اعمال جریان.

در سیستم اعمال جریان از آندهایی استفاده می شود که نرخ خوردگی آنها کم باشد. زیرا تعویض این گونه آندها بسیار هزینه بر است.

آندهای فرو سلیکون.

یکی از عمده ترین آندهای مورد استفاده در سیستم حفاظت کاتدی، آندهای فرو

سلیکونی میباشد که خواص شیمیایی و مکانیکی آن در جدول زیر داده شده است.

ELEMENT	COMPOSITION, wt%	METHOD OF ANALYSIS
Carbon	0.9 - 1.0	ASTM A 518M
Manganese	1.5 max.	
Silicon	14.25 - 14.75	
Chromium	4.3 - 5.00	
Molybdenum	0.2 max.	
Copper	0.50 max.	
Iron	Remainder ^{a)}	

جدول فوق ترکیب شیمیایی آندهای فرو سلیکون را نشان می دهد.

PROPERTY	UNIT	REQUIREMENT	TEST METHOD ASTM
Density	g/cm ³	7 - 7.05	Approved method
Hardness, Brinell (min)	—	500	E 10
Compressive strength (min)	MPa	650	A 256
Electrical resistivity (max)	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	72	B 193
Impact resistance (min)	J	0.1	A 327 (Charpy Type)

جدول فوق خواص مکانیکی آندهای فرو سلیکون را نشان می دهد.

علاوه بر خواص فوق در استاندارد ها به آزمایش های زیر نیز اشاره شده است.

- مشاهده ظاهری.

سطح آند بایستی عاری از هرگونه ترک، حفرات انقباضی بوده و همچنین کابل آند

بایستی سالم باشد.

- آزمایش مقاومت مکانیکی کابل آند.

به کابل متصل به آند وزنه 100 Kg یا ۵ برابر وزن آند، وزنه آویزان میکنند، کابل آند نبایستی دچار آسیب شود.

- آزمایش مقاومت الکتریکی آند.

این آزمایش براساس استاندارد ASTM B539 انجام می گیرد و مقاومت کابل آند نبایستی از 0.03 ohm بیشتر شود.

- آزمایش رادیو گرافی.

جهت شناسایی ترکها و حفرات انقباضی از اشعه X استفاده می کنند، آزمایش براساس استاندارد ASTM E94 انجام می شود، معیار عیوب در استاندارد ASTM E802 ذکر گردیده است.

این آندها در ابعاد مختلف به صورت توخالی و توپر وجود دارند، در جدول زیر ابعاد آن ارایه شده است.

جدول زیر ابعاد آندهای فرو سیلیکونی را نشان می دهد.

DIAMETER (NOMINAL) mm	HEAD DIAMETER (NOMINAL) mm	LENGTH (NOMINAL) mm	WEIGHT (NOMINAL) kg
51	76	915	14.5
51	76	1220	19
51	76	1525	22.5
76	102	915	29
76	102	1220	38
76	102	1525	49

آندهای توپر

OUTSIDE DIAMETER mm	INSIDE DIAMETER mm	WALL THICKNESS mm	LENGTH (NOMINAL) mm	WEIGHT (NOMINAL) kg
67	47	10	1067	14
56	36	10	2134	21
67	47	10	2134	29
95	75	10	2134	39
121	100	10	2134	50
121	86	17	2134	79

آندهای گرافیتی.

این آندها از نوع گرافیتی است که بروش اکستروژن با مقطع دیسکی و یا مربعی تولید می شوند. یکی از عیوب مهم در این آندها، ترک می باشد که باعث کاهش شدید عمر آند می گردد. در فرآیند تولید بایستی از بوجود آمدن ترکهای سطحی و زیر سطحی جلوگیری شود. این آندها ترکیبی از کک و رزین CoaL Tar می باشند. رزین باعث چسبیدن ذرات کک به یکدیگر شده و این ترکیب به مدت یک ماه در دمای بالا پخته می شود. حفرات موجود در کک موجب نفوذ آب به آند و نهایتاً در اثر اتصال گالوانیکی کابل به آند باعث جدا شدن کابل می شود، بدین منظور از کریستالهای واکس WAX یا فنولیک پایه روغن استفاده میکنند تا جلوی رطوبت را بگیرند. آند گرافیتی در ابعاد داده شده در جدول زیر تولید می شود.

DIAMETER (NOMINAL) mm	LENGTH (NOMINAL) mm	WEIGHT (NOMINAL) kg
76	1525	11
102	2032	28
152	1830	53

جدول فوق ابعاد آندهای گرافیتی را نشان می دهد.

آندهای مگنتیت.

این آندها بوسیله ذوب Fe_3O_4 در دمای 1540 C و افزودن عناصر آلیاژی و ریخته گری به شکل استوانه تو خالی تولید می شوند. تمامی سطح داخلی آند بایستی توسط لایه ایی از مس

پوشش داده شود و آند بگونه ایی ساخته شود که خواص مورد نظر در سرتاسر آند یکسان باشد.
در جدول زیر ابعاد آندها ارایه شده است.

Overall length	: 800 mm
Effective length	: 740 mm
Outside diameter	: 60 mm
Inside diameter	: 40 mm
Total weight	: 6.0 kg
Magnetite weight	: 4.7 kg

آندهای سری نقره.

این آند فقط در دریا کاربرد دارد و معمولاً ترکیبی از آنتیموان، قلع، سرب و ۱ الی ۲ در صد نقره است. شکل معمول این آند به صورت میله ایی است و به قطر 1.5 in و بطولهای متفاوت از 10 ft الی 20 ft وجود دارد. نرخ خوردگی آن در مرحله شروع 1.3 Kg/A.Y است، وقتی لایه پاسیو روی آن تشکیل شد، نرخ آن به 0.9 Kg/A.Y میرسد. میزان جریان عبوری از آن 3- 2 A/ft^2 می باشد. کابل آند در سوراخی که در انتهای آن وجود دارد نصب و یا توسط لحیم نقره به آن متصل می شود و روی آن رزین می ریزند.

ترانس رکتیفایر.

جهت تامین منبع جریان سیستم حفاظت کاتدی از ترانس رکتیفایر استفاده می کنند که

جریان AC ورودی آن در خروجی به جریان DC تبدیل می شود.

مناطق خطر (Hazardous Area).

ترکیب گاز قابل اشتعال به همراه اکسیژن موجود در هوا شرایطی را ایجاد می کند که با

جرقه ای انفجار رخ میدهد، به این گونه مکانهایی، مناطق خطر گفته می شود، در حین نصب

تجهیزات و کاربرد لوازم الکتریکی در مناطق خطر مواردی را بایستی رعایت کرد. در مناطق نفتی

بخصوص سکوهای بهره برداری نفت و گاز که تأسیسات نزدیک هم هستند، این مسئله دارای اهمیت ویژه ای است.

مناطق خطر معمولاً بسته به تکرار خطر و مدت زمان وجود گازهای قابل انفجار به سه دسته تقسیم بندی می شوند.

منطقه صفر (zone 0): گازهای قابل انفجار بصورت دائمی یا طولانی مدت در اتمسفر وجود دارند.

منطقه یک (zon1): گاز های قابل انفجار معمولاً در حین عملیات ایجاد می شوند.

منطقه دو (zon2): بطور معمول در زمان بهره برداری گاز قابل انفجار در اتمسفر وجود ندارد ولی در زمانهای کوتاهی ممکن است گاز متصاعد شود.

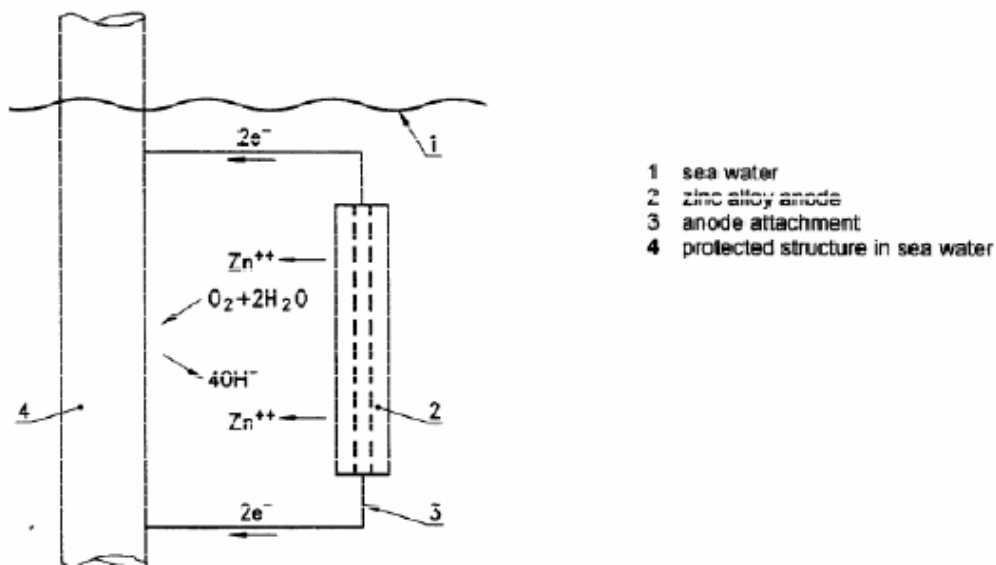
تجهیزاتی که در این مناطق قرار می گیرند، بایستی گواهی ضد انفجاری داشته باشند.

سیستم حفاظت کاتدی از نوع آندهای فدا شونده.

براساس اصول الکترو شیمیایی برای حفاظت کاتدی باید جریان به سازه داده شود تا نرخ واکنشهای کاتدی افزایش و نرخ واکنشهای آندی کاهش یابد، بنابر این نرخ خوردگی کاهش پیدا خواهد کرد. در این حالت پتانسیل الکترو شیمیایی سازه به سمت پتانسیل منفی می رود و انحلال آند اتفاق نمی افتد. موادی که به عنوان آند فدا شونده بکار برده می شوند باید دارای پتانسیل الکترو شیمیایی منفی تر از سازه باشند. میزان حفاظت کاتدی وابسته به پتانسیل اعمالی به سازه است که آن خود وابسته به خواص شیمیایی محیط و آند می باشد. نیروی محرکه یک آند به پتانسیل بین آند پلاریزه شده و سازه حفاظت شده اطلاق می شود.

اجزاء اصلی تجهیزات حفاظت کاتدی از نوع آند فدا شونده مطابق با شکل زیر است. سازه

تحت حفاظت، آند با پشت بندی مخصوص یا بدون آن و یک سیم رابط با پوشش عایق می باشد.



تصویر فوق سیستم حفاظت کاتدی از نوع آندهای فدا شونده را نشان می دهد.



عکس فوق یک نمونه سازه دریایی حفاظت شده با آندهای فدا شونده را نشان می دهد.

کاربرد آندهای فداشونده.

این آندها در حفاظت سازه ها در محیط های خاکی و آبی بکار می روند. مثلاً، کشتیها، شناورها، سازه های حفاری دریایی، تأسیسات گازی و نفتی دریایی، سیستم فاضلاب، خطوط لوله زیر آب دریا، سازه های مدفون، اسکله ها، مهار بندها و تجهیزات کارخانجات که با محیط خورنده در ارتباط هستند و همچنین داخل مخازن و پمپ ها را می توان با آند فداشونده حفاظت کرد.

راندمان و ظرفیت جریان آند.

به جرمی از آند که به صورت الکترو شیمیایی حل و جریان مورد نیاز را برای حفاظت تأمین می نمایند ظرفیت جریان آند اطلاق می شود. ظرفیت جریان آند بر اساس قانون فاراده محاسبه می شود و واحد آن آمپر ساعت بر کیلو گرم (Ah/Kg) می باشد. مثلاً به صورت تئوری یک کیلو گرم آلومینیم ۲۹۸۱ آمپر ساعت ظرفیت جریان دارد. ولی در شرایط عملی این مقدار کمتر از مقدار تئوری است، بنابر این راندمان را براساس رابطه زیر محاسبه می کنند.

(ظرفیت جریان آند به صورت تئوری) / (ظرفیت جریان آند در عمل) = راندمان آند

در انتخاب آند باید موارد ذیل در نظر گرفته شود.

- آند باید نیرو محرکه لازم را به سازه اعمال کند تا پلاریزاسیون کاتدی مؤثر بر روی آن ایجاد شود.
- آند بایستی داری مقاومت مناسب در برابر پلاریزاسیون باشد.
- آند بایستی دارای راندمان بالایی بوده و همچنین خوردگی در آن به طور یکنواخت انجام شود.
- تولید انبوه این آندها همراه با خواص مکانیکی مطلوب باید اقتصادی و قابل اجرا باشد.

انواع آندهای فدا شونده.

آندهای فداشونده شامل منیزیم، آلومینیم و روی است در جدول زیر خواص مکانیکی و فیزیکی این آلیاژها نشان داده شده است.

جدول زیر خواص فیزیکی و شیمیایی آندهای فدا شونده را نشان می دهد.

منیزیم				
Mg- ۱/۵ % Mn	خاک مرطوب / آب	-۱۷۰۰	۱۲۰۰	۷/۵
شیرین				
Mg ۶/۵ %- Al ۳ % Zn	خاک مرطوب / آب	-۱۵۰۰	۱۲۰۰	۷/۵
شیرین				
روی				
Zn ۰/۵ % Al- ۰/۱ % Cd	آب دریا	-۱۰۵۰	۷۸۰	۱۱/۲۵
آلومینیم				
Al ۰/۴ % Zn ۰/۴ % Hg	آب دریا	-۱۰۵۰	>۲۸۰۰	۳/۱۰
Al ۵ % Zn ۰/۴ % Hg	بستر دریا	-۱۰۵۰	>۲۷۰۰	۳/۲۵
Al ۳/۵ % Zn ۰/۰۲ - ۰/۰۳ %	بستر دریا	-۱۱۰۰	۲۴۰۰-۲۷۰۰	۳/۶۵
In				۳/۲۵-

آندهای فدا شونده منیزیمی.

آندهای فدا شونده منیزیمی در دهه ۱۹۳۰ به عنوان آلیاژهای آند فداشونده مورد استفاده قرار گرفتند. بیشترین کاربرد این آندها در سازه های مدفون زیر خاک است. اکثر آندهای منیزیمی دارای پشت بند (بنتونیت ۲۵٪ و گچ ۷۵٪) بوده که البته درون پارچه کتان قرار می گیرند. پشت بند باعث یکنواخت شدن محیط اطراف آند و پایین آمده مقاومت بستر آند می شود. بعضی از آندهای منیزیم در سالهای اخیر در دریا برای حفاظت سازه بکار می روند. البته باید توجه کرد که در مخازن سرپسته ممکن است در اثر جمع شدن هیدروژن انفجار رخ دهد. افزودن

۶٪ آلومینیم و ۳٪ روی باعث کاهش پتانسیل نسبت به آند منیزیم خالص می شود و بر روی ظرفیت آند و کاهش میزان خوردگی داخلی نیز مؤثر است. جدول زیر انواع آندهای فداشونده منیزیمی را که به عنوان آند فدا شونده مصرف می شوند را نشان داده است.

نوع ۳	نوع ۲	نوع ۱	٪ عنصر
۰/۰۸ حداکثر	۰/۰۲ حداکثر	۰/۰۲	Cu
۵/۳-۶/۷	۰/۰۵ حداکثر	۰/۰۱ حداکثر	Al
۰/۳ حداکثر	۰/۰۵ حداکثر	---	Si
۰/۰۰۵ حداکثر	۰/۰۳ حداکثر	۰/۰۳	Fe
۰/۲۵ حداقل	۰/۵-۱/۵	۰/۵-۱/۳	Mn
۰/۰۰۳	----	۰/۰۰۱	Ni
۲/۵-۳/۵	۰/۰۳ حداکثر	---	Zn
باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	Mg
۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱ حداکثر	سایر عناصر
٪ ۵۰	٪ ۵۰	٪ ۵۰	راندمان
-۱/۵	-۱/۷	-۱/۷	پتانسیل (VSCE)
۱۲۳۰	۱۲۳۰	۱۲۳۰	ظرفیت جریان (A.h/Kg)

جدول فوق انواع آندهای فدا شونده منیزیم را نشان می دهد.

آندهای فدا شونده روی.

این آندها بیشترین کاربرد را در آب شیرین و محیط های دریایی دارند. روی بویژه در

صنایع کشتی سازی دارای اهمیت ویژه ای است. همچنین در دو طرف اتصالات عایق (جهت

حفاظت اتصال از جریانهای سرگردان) از این آندها استفاده می کنند که به صورت دوقلو بکار میروند و صفحه عایق مابین آنها قرار میگیرد. این آندها در خشکی نیز کاربرد دارند، البته باید توجه کرد در صورتی که مقاومت زمین بیش از 1500 ohm.cm باشد این آندها کارآیی خود را از دست میدهند.

در جدول زیر انواع آندهای فدا شونده روی همراه با خواص فیزیکی مربوطه را نشان داده

است.

جدول زیر مشخصات انواع آندهای فداشونده روی را نشان میدهد.

نوع ۴	نوع ۳	نوع ۲	نوع ۱	% عنصر
حداکثر ۰/۰۰۲	حداکثر ۰/۰۰۵	حداکثر ۰/۰۰۵	حداکثر ۰/۰۰۵	Cu
----	۰/۴ - ۰/۶	۰/۱ - ۰/۵	۰/۳ - ۰/۵	Al
----	حداکثر ۰/۱۲۵	حداکثر ۰/۱۲۵	حداکثر ۰/۰۰۳	Si
حداکثر ۰/۰۰۱۴	حداکثر ۰/۰۰۱۴	حداکثر ۰/۰۰۵	حداکثر ۰/۰۰۲	Fe
----	حداکثر ۰/۳	حداکثر ۰/۰۰۶	حداکثر ۰/۰۰۵	Pb
----	۰/۷۵-۰/۱۲۵	۰/۲۵-۰/۱۵	۰/۰۲۵-۰/۱	Cd
۰/۱-۰/۱۵	----	----	----	Hg
باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	باقیمانده	Zn
۰/۳	---	۰/۳	-----	سایر عناصر
% ۹۵	% ۹۵	% ۹۵	% ۹۵	راندمان
- ۱/۰۵	- ۱/۰۵	- ۱/۰۵	- ۱/۰۵	پتانسیل (SCE)

آندهای فدا شونده آلومینیمی.

با توجه به اینکه یکی از عمده ترین آندهای مورد استفاده در سازه های آبی و سکوها، آند

آلومینیمی میباشد، تحقیقات گسترده ایی در این خصوص انجام گرفته است.

در سال ۱۹۵۶ رهنم از شرکت رینولز متال با اضافه کردن ۵٪ روی به آلومینیم آن را به

عنوان آند فدا شونده استفاده کرد. راندمان این آند ۵۳٫۶٪ و ظرفیت جریان آن 1595 Ahr/Kg

بدست آمد. در سال ۱۹۶۱ با اضافه کردن ۳٫۵٪ روی و ۰٫۰۰۵ - ۰٫۰۰۸٪ ایندیم ظرفیت جریان به 2365 Ahr/Kg رسید. در همان زمان آلیاژ با ترکیب ۰٫۰۰۵ - ۰٫۰۰۸٪ ایندیم، ۰٫۲ - ۰٫۰۵٪ قلع و ۳٫۵ - ۹٪ روی نیز ساخته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که این آلیاژ باید تحت عملیات حرارتی انحلالی قرار گرفته تا بتوان خواص مطلوب را ارائه نماید. در سال ۱۹۶۳ در ژاپن از عنصر کادمیم نیز استفاده شد. در همین زمان کاربرد آند آلومینیمی حاوی جیوه نیز در فرانسه و آمریکا توسعه یافت. در سال ۱۹۶۶ ردینگ و نیوپرت بر تأثیر عناصر آلیاژی در آند آلومینیمی تحقیق کردند و متوجه شدند که عناصر افزودنی شامل جیوه، گالیم، ایندیم، بیسموت، کادمیم و باریم باعث منفی تر شدن پتانسیل می شوند، بعضی عناصر مانند مس و آهن باعث مثبت تر شدن پتانسیل می گردند. البته ساکائو بیان کرد که در آند آلومینیمی مقدار کمی آهن مفید خواهد بود. ولی مس باید کمتر از ۰٫۱۹٪ باشد، به تازگی ربول و همکارانش تحقیقاتی در مورد تأثیر عملیات حرارتی بر روی آند AL-Zn-In انجام داده اند.

تأثیر عناصر آلیاژی بر آندهای فدا شونده آلومینیمی.

آلومینیم به عنوان آند فداشونده بطور خالص مورد استفاده قرار نمی گیرد زیرا لایه پسیو پایدار روی سطح آن تشکیل شده، از ادامه واکنشهای آندی جلوگیری می کند، بنابر این راندمان کاهش می یابد.

در محیطهای آبی روی سطح آلومینیم اکسید آلومینیم هیدراته، بر اساس واکنش زیر تشکیل می شود.



هدایت یونی و الکترونی این لایه بسیار کم است و از ادامه واکنش جلوگیری می کند. با قرار گرفتن آند در محیط آبی و هیدراته شدن این لایه اکسید، بوهمیت (ALOOH - δ) و یا

پریت (AL(OH)₃) تولید می شود. مسیرهای یونی با هدایت الکتریکی بالا مانند ترکهای موئی و مناطق مرز دانه ها نقش مهمی در تخریب این لایه سطحی دارند، لذا مکانهای فلز لخت می توانند با محیط تماس مجدد برقرار کنند. بدین منظور عناصر آلیاژی به آلومینیم اضافه می گردد. به دو منظور عناصر آلیاژی به آلومینیم اضافه می شوند.

- جلوگیری از پاسیو شده سطح.
 - منفی تر کردن پتانسیل شیمیایی به منظور افزایش نیروی محرکه.
- معمولاً آندهای فدا شونده آلومینیمی به صورت AL - Zn - X است. محققان متوجه شدند که هرچه نقطه ذوب عناصر افزودنی بالاتر باشد، تأثیر کمتری بر روی خواص الکترو شیمیایی آند دارد. در جدول زیر میتوان این مطلب را مشاهده کرد.
- جدول زیر تأثیر نقطه ذوب عناصر آلیاژی بر روی خواص الکتروشیمیایی آند آلومینیمی را نشان می دهد.

	کاهش پتانسیل به میزان ۰/۳-۰/۹ ولت					کاهش پتانسیل به میزان ۰/۳-۰/۱ ولت				
عنصر	Hg	Ga	In	Sn	Bi	Cd	Zn	Mg	Ba	
نقطه ذوب	-۳۹	۲۹/۶	۱۵۶	۲۳۲	۲۷۱	۳۲۱	۴۲۰	۶۵۰	۷۲۷	
°C										

جدول فوق تأثیر نقطه ذوب عناصر آلیاژی بر روی خواص الکتروشیمیایی آند آلومینیوم را نشان می دهد.

عناصر افزودنی به آندهای آلومینیمی باید دارای نقطه ذوبی پایین و حلالیت کم در آلومینیم (البته حلالیت روی ، گالیم و منیزیم در آلومینیم بیشتر از سایر عناصر افزودنی است) باشند، همچنین باعث منفی تر شدن پتانسیل آند شوند.

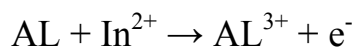
اثر روی.

عنصر روی بعنوان یکی از مهمترین عناصر آلیاژی است که به آندهای آلومینیمی اضافه می شود. روی حلالیت زیادی در آلومینیم دارد، میزان آن بین ۱ الی ۵ درصد است که اکثراً به صورت محلول جامد در فاز α است. هرچه مقدار روی افزایش یابد باعث منفی تر شدن پتانسیل می گردد در آلیاژی AL - Zn روی به سمت مناطق مرز دانه ها متمایل می شود، این امر به علت نرخ سرد کردن و ترکیب آلیاژی می باشد، هنگامی که آند با این ترکیب شیمیایی تحت پلاریزاسیون قرار می گیرد حفره پدیدار می گردد که این امر باعث پایین آمدن خواص الکترو شیمیایی آند می شود.

در آلیاژی AL - 1% Zn مقداری جدایش فازی و حفره های عمیق در مرز دانه بوجود می آید. این مقدار کم روی باعث افزایش اندازه دانه ها می شود. توزیع غیر یکنواخت در این محدوده آلیاژی تغییراتی در پتانسیل الکترو شیمیایی ایجاد می کند. همچنین در این محدوده، تغییرات ریز ساختار در اثر تغییر شرایط ریخته گری، بیشتر بر رفتار الکترو شیمیایی تاثیر می گذارد. در آلیاژ AL - 5% Zn پتانسیل به اندازه کافی منفی است، این امر به واسطه توزیع مناسب فاز β در ساختار حاصل شده است. در اینجا، راندمان مستقل از نوع ساختار است و در بهترین حالت قرار دارد. در اغلب آندهای تجاری این مقدار از غلظت روی در آلیاژ به کار می رود. در محدوده $5\% < Zn < 40\%$ درصد راندمان بطور شدیدی افت پیدا می کند، زیرا $(\alpha/\beta) > 1$ است و اکثر حملات خوردگی روی فاز β اتفاق می افتد در اینجا پدیده جدایش بوجود می آید و باعث افت زیاد خواص مکانیکی می شود.

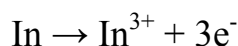
• اثر عنصر ایندیم

ایندیم یکی از عناصر آلیاژی مهم است که به عنوان فعال کننده به آلومینیم اضافه می شود و توسط مکانیزمی مشابه زدایش روی، روی سطح رسوب می کند.



ربول بیان می کند که مکانیزم رسوب مجدد، باعث از بین رفتن فیلم پسیو شده و در نتیجه آند را فعالتر می کند. ایندیم فقط بر روی اکسید آلومینیم سطحی رسوب می کند و باعث فعال شدن آلومینیم می شود.

علاوه بر واکنش مذکور واکنش زیر برگشت پذیر بوده و بر روی سطح رسوب می دهد.



انحلال ایندیم در آلومینیم بسیار کم است و در دمای ۱۵۵ درجه سانتی گراد حدود ۰,۰۱٪ است، مابقی بصورت رسوب ظاهر می شود. مقدار ایندیم بین ۰,۰۵٪ - ۰,۲۵٪ به آلومینیم اضافه می گردد. این عنصر امروزه یکی از عمده ترین عناصری است که به آلومینیم اضافه می شود و تنها مشکل این عنصر گرانی آن می باشد. این آلیاژ نیاز به عملیات حرارتی ندارد و کاربرد وسیعی در حفاظت از سازه های دریایی دارد. افزایش بیش از حد ایندیم باعث ایجاد خوردگی خود بخودی می شود و منجر به کاهش راندمان آند می گردد.

• اثر عنصر جیوه

جیوه یکی از مهمترین فلزاتی است که آلومینیم را شدیداً فعال می کند و پتانسیل آند را بمیزان ۰,۹ - ۰,۳ ولت کاهش می دهد. طول منطقه پسیو در آند حاوی جیوه نسبت به آند حاوی ایندیم کمتر است. بنابر این جیوه، آلومینیم را فعالتر می کند. آلومینیم خالص در جریان $1 \mu A/cm^2$ پسیو می شود و در پتانسیل 710 mV- جریان شدیداً افزایش پیدا می کند، منطقه ترانس پسیو شروع می شود. دو آلیاژ دیگر، جریان پسیو بزرگتر از آند آلومینیمی خالص است. در اثر افزودن عناصر آلیاژی پتانسیل شکست در شاخه آندی منفی تر شده است. در این حالت پیش از شروع حفره در منطقه ترانس پسیو پتانسیل در حدود 1300 mV- می باشد. لازم به ذکر است، با توجه به سمی بودن جیوه این عنصر امروزه کاربرد کمتری دارد.

• اثر عنصر قلع

قلع یکی از فلزاتی است که از دیر باز به آلومینیم اضافه شده و پس از انجام عملیات حرارتی داری خواصی مطلوب می گردد.

خوردگی آلومینیم از نوع حفره ایی میباشد. با اضافه کردن عناصر آلیاژی پتانسیل شروع خوردگی حفره ای منفی تر شده و طول منطقه پاسیو کوتاهتر می شود. قلع به طور انتخابی در فصل مشترک اکسید سطحی آند، جذب شده و باعث افزایش هدایت لایه اکسیدی می شود. با فرآیند نفوذ سطحی پوشش ضعیفتری حاصل می گردد، با شکسته شدن آن ولتاژ اضافه هیدروژن افزایش می یابد. این امر باعث منفی تر شدن پتانسیل انحلالی آند، کاهش پلاریزاسیون آندی و افزایش راندمان جریان می شود. در جدول زیر می توان آنالیز شیمیایی آندهای آلومینیومی حاوی قلع و بدون قلع را مشاهده کرد. قلع حلالیتی در آلومینیوم و روی ندارد، بنابر این شرایط ریخته گری، توزیع قلع در آلومینیوم را مشخص می کند. عملیات حرارتی بر توزیع قلع در آلیاژ تأثیر مثبتی خواهد داشت و باعث بهبود ساختار متالوژیکی می شود. بنابراین پتانسیل الکتروشیمیایی اعمالی به آند و راندمان افزایش می یابد.

جدول زیر ترکیب شیمیایی آند آلومینیمی حاوی قلع و بدون قلع را نشان می دهد.

آلیاژ	Zn	Sn	Fe	Si	Cu	Ti	Cr	V	Ga	Mn	Mg	Al
AlZn	۵	-	۰/۳	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۲	باقیمانده
		
AlZnSn	۵	۰/۱	۰/۳	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۲	باقیمانده
		

در مناطقی از آلومینیم که عناصر روی و قلع وجود دارد، خوردگی افزایش می یابد. در اینجا توسعه ترک، راندمان آند را محدود می کند. بنابر این در این آلیاژها، مورفولوژی خوردگی و ظرفیت جریان، وابسته به ریزساختار است که خود نیز وابسته به شرایط ریخته گری و عملیات حرارتی می باشد. ظرفیت جریان این آندها بین ۲۰۰۰-۱۱۴۰ آمپر ساعت بر کیلو گرم و پتانسیل

آنها بین ۱,۰۳- تا ۱,۰۸- ولت متغیر می باشد. بدلیل مشخص نبودن دقیق راندمان و مشکلات عملیات حرارتی، از این آلیاژ استفاده نمی شود.

• اثر گالیم

آند های آلومینیمی با ترکیب $ZnX (3-5)\% -AL$ که X می تواند گالیم، قلع، جیوه و ایندیم باشد. مقدار ۰,۴- تا ۰,۱ درصد گالیم بر روی آلومینیم تأثیر مثبتی دارد. ردینگ و نیوپرت بیان کردند که با افزودن گالیم پتانسیل الکتروشیمیایی آند تا حدود ۱,۳- ولت منفی می شود. وقتی تأثیر توأم گالیم و روی بررسی شد، مشخص گردید که کاهش پتانسیل در این حالت کمتر از وقتی است که گالیم و روی بتنهايي به آلومینیم اضافه می شود، به نظر می رسد که عنصر روی از کاهش پتانسیل توسط گالیم جلوگیری می کند. آلیاژ دوتایی $AL - Ga$ تمایل کمتری به پاسیو شدن دارد. در آلیاژ سه تایی $AL-Ga-Zn$ با افزایش گالیم، حساسیت آلومینیم به خوردگی بیشتر می شود. اما در مقدار ثابت گالیم هرچه مقدار روی افزایش یابد، باعث کاهش پتانسیل می شود. مکانیزم فعال کردن آلومینیم توسط گالیم مؤثرتر از ایندیم است، ولی راندمان این آلیاژ حاوی گالیم پایین تر است. در جدول زیر می توان این مطلب را مشاهده کرد.

در جدول زیر راندمان آندهای آلومینیمی نشان داده شده است.

آلیاژ	درصد راندمان
AL - 4% Zn	۵۱
AL - 1% Ga	۴۳
AL - 0.2% Ga	۶۷
AL - 2% Zn - 0.5% Ga	۶۶
AL - 4% Zn - 1% Ga	۲۳

AL – 4% Zn – 0.5% Ga	۵۳
----------------------	----

در اینجا به نظر می رسد که روی باعث بهبود راندمان نمی شود، ولی برای دیگر آلیاژهای حاوی عناصر قلع، ایندیم و جیوه این مطلب صادق نیست. علت این است که حلالیت این سه عنصر در آلومینیم در دمای اتاق بسیار کم است. در حالی که حلالیت گالیم در آلومینیم تقریباً ۲۰٪ است. در آلیاژ AL – Zn – In، AL – Zn – Ga، AL – Zn – Sn و AL – Zn – Sn < 5% ساختار تک فاز حاصل می شود، که با افزایش روی ساختار هموزن تر می گردد. در صورتیکه گالیم در دمای ۲۹ درجه سانتی گراد مایع است و گالیم مایع در مرز دانه باعث افت شدید خواص مکانیکی و در نتیجه باعث پایین آمدن راندمان آند می شود.

• تأثیر منیزیم

برای فعال سازی آلومینیم، منفی تر کردن پتانسیل و افزایش راندمان می توان از عنصر منیزیم استفاده کرد. براساس تحقیقات صورت پذیرفته با اضافه کردن ۲٪ منیزیم به آند فدا شونده می توان راندمان را از ۸۰٪ به ۹۰٪ رساند. هم اکنون در کشور های فرانسه و آمریکا از این آلیاژ استفاده می شود.

اضافه کردن منیزیم باعث کاهش پارامتر شبکه و انرژی سطحی می گردد. از این رو با افزایش آن مقدار ظرفیت جریان افزایش می یابد و هنگامی که به مقدار ۲٪ می رسد ماکزیمم راندمان و منفی ترین پتانسیل آند نیز حاصل می گردد. هرچه انرژی سطحی کمتر و پتانسیل انحلال کمتر باشد، ضخامت لایه پاسیو $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ و چسبندگی فیلم به فلز کمتر می شود. با انحلال ایندیم در منیزیم، ایندیم توزیع بهتری در ساختار پیدا می کند که این امر باعث پایداری پتانسیل می شود.

افزایش بیش از ۲٪ منیزیم باعث بوجود آمدن Al_3Mg_2 می گردد که خاصیت آندی دارد و باعث کاهش ظرفیت می شود. با اضافه کردن ۲٪ منیزیم حالت مطلوبی در ساختار ایجاد می شود، اما با اضافه کردن بیشتر منیزیم ذرات Al_3Mg_2 در مرز دانه ها رسوب می کند. در جدول زیر ترکیب شیمیایی آندهای آلومینیمی حاوی منگنز و منیزیم بیان شده است.

جدول زیر ترکیب شیمیایی آندهای آلومینیمی حاوی منیزیم و منگنز را نشان می دهد.

عنصر	In	Zn	Mg	Mn	Ga	Fe	Si	Cu	Al
درصد	۰/۰۲	۳/۸	۰/۷	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۱	باقیمانده

• تأثیر تیتانیم

تیتانیم یکی از فلزاتی است که دارای نقطه ذوب ۱۶۶۰ درجه سانتی گراد می باشد. این فلز با ترکیبی به صورت AL-Ti-B به عنوان جوانه زا به آلیاژ AL - Zn - In - Mg اضافه می شود. با اضافه کردن تیتانیم به مذاب به میزان حداکثر ۰,۰۲٪، می توان عمل جوانه زنی را انجام دهد. در این صورت ذرات $TiAl_3$ بوجود می آید که محل های جوانه زنی آلومینیم می باشند. با اضافه کردن این عنصر، ساختار با دانه های هم محور بوجود می آید که از بوجود آمدن دانه های ستونی با دانه های درشت جلوگیری می کند، در نتیجه خوردگی یکنواخت در سطح ایجاد خواهد شد که باعث افزایش راندمان می گردد. بهترین اندازه دانه ۶۰۰ - ۱۰۰ میکرون می باشد. اگر میزان تیتانیم بیش از این مقدار گردد، تأثیر منفی بر روی ظرفیت جریان می گذارد، زیرا با افزایش تیتانیم، ایندیم تمایل به جدایش و آمیزش در مرز دانه دارد، در نتیجه باعث کاهش راندمان می شود. در جدول زیر حالت بهینه برای ترکیب شیمیایی آندهای آلومینیمی نشان داده شده است.

جدول زیر حالت بهینه ترکیب شیمیایی آندهای آلومینیمی را نشان می دهد.

عنصر	In	Zn	Mg	Mn	Fe	Si	Cu	جوانه زا	باقیمانده
درصد	۰/۰۵	۲-۶	۱/۵	۰/۲	۰/۱۸	۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۲	Al
	۰/۰۱		۰/۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۱	MA	MAX	
							X		

با افزودن جوانه زا حفرات انقباضی، ترک گرم و حفرات هیدروژنی کاهش می یابند که به دنبال آن باعث بهبود عملکرد آند می گردد. از دیگر خواص مطلوب جوانه زا ها پراکنده ساختن ذرات بین فلزی نظیر آهن است که تأثیر عمده ای بر روی خوردگی دارد.

• تأثیر کادمیم

کادمیم بعنوان یک عنصر آلیاژی باعث ایجاد محصولات خوردگی با چسبندگی کم به فلز پایه و منفی تر کردن پتانسیل می گردد. در ژاپن از آلیاژ AL - Zn - In - Cd جهت ساخت آند استفاده می شود، میزان کادمیم در آن بین ۰,۰۲ - ۰,۰۱ درصد می باشد.

حلالیت کادمیم در دمای ۶۴۹ درجه سانتی گراد به میزان ۰,۴٪ و در دمای ۱۷۷ درجه سانتی گراد کمتر از ۰,۰۰۰۲٪ می باشد. با سریع سرد کردن این آلیاژ فازهای ناپایدار و محلول جامد نیز به وجود نمی آید. کادمیم را نمی توان به عنوان جوانه زا در آلومینیم بکار برد، لذا تأثیر چندانی بر ساختار ندارد. افزودن کادمیم به آلیاژهای AL - Zn بر خواص نظیر ضریب انبساط حرارتی، سختی، استحکام کششی، مقاومت به ضربه، تأثیر چندانی ندارد. افزودن این عنصر باعث کاهش شدید مقاومت به خوردگی آند می شود که میتواند خواص مطلوبی در آند باشد.

• اثر آهن

آهن یکی از فلزات مضر است که باعث کاهش راندمان می گردد و به دو مکانیزم عمل می کند.

(الف) ایجاد ذرات AL - Fe باعث افزایش خوردگی می شوند.

(ب) به عنوان عنصر آلیاژی در آلومینیم حل می شود و بر روی سطح رسوب می کند و

باعث ایجاد خوردگی خود بخودی می شود. تأثیر منفی عنصر آهن با افزودن منگنز از بین می

رود که می بایستی نسبت درصد منگنز به آهن برابر با ۰,۹ / ۱ باشد.

• اثر نیکل و مس

براساس تحقیقات انجام شده، مشخص شد اگر میزان این دو فلز افزایش یابند باعث پایین

آمدن ولتاژ می شود، در نتیجه ظرفیت آند پایین می آید.

• اثر سیلیسیم

سیلیسیم بعنوان یک جدا کننده آهن از مذاب عمل می کند. در آلیاژ باید نسبت خاصی

بین آهن و سیلیسیم برقرار باشد تا اثر همدیگر را خنثی کنند. بنابراین اگر آلومینیم دارای ۰,۵٪

آهن باشد، می توان با تعدیل سیلیسیم، راندمان را حتی به ۸۰٪ رساند.

• اثر منگنز

منگنز بدون حضور آهن در آلومینیم باعث افزایش پتانسیل می شود ولی اگر آهن وجود

داشته باشد، با تشکیل یک فلز Fe - Mn می توان از خوردگی خود بخودی آهن جلوگیری کرد و

افزایش راندمان را مشاهده کرد.

• اثر بیسموت

در سالهای گذشته در آمریکا از آلیاژ AL - Sn - Bi استفاده می کردند که راندمان آنها

۵۲٪ بود. امروزه در آندهای آویختنی از عنصر بیسموت به میزان ۴٪ استفاده می کنند. این عنصر

باعث منفی تر شدن پتانسیل آند به میزان ۰,۳ - ۰,۱ ولت می شود.

• اثر عنصر لیتیم

یکی از عناصری که در آند های آلومینیمی استفاده می شود عنصر لیتیم است که به آلیاژ AL - Zn - Mg اضافه می گردد و باعث بوجود آمدن رسوباتی در مناطق بین دندریتی در حالت ریخته گری و عملیات حرارتی می شود. رسوبات δ -AL - Li در بین دندریتها واقع در مرزدانه یا زمینه، باعث فعال کردن سطح می شود. در اثر وجود روی، حلالیت لیتیم در فاز α -AL کم شده و بیشتر به صورت رسوبات ظاهر می گردد. این آلیاژ وقتی عملیات حرارتی شود (در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد برای مدت ۲۴ ساعت) راندمانی حدود ۷۸ - ۶۳ درصد پیدا می کند، این ناشی از توزیع خوب فاز τ -AL₂Zn₃Mg₃ در زمینه α -AL می باشد.

ذرات بین فلزی منجر به شکسته شدن فیلم پاسیو می شوند. این آلیاژ وقتی عملیات حرارتی می شود فاز Mg₇Zn₃ از بین میرود و از ایجاد حفره در نقاط دندریتی جلوگیری می کند، در نتیجه از افت راندمان جلوگیری می شود. وجود فازهای α -AL - Li و τ -AL₂Zn₃Mg₃ نقش مهمی در شکستن فیلم اکسید، روی سطح آلومینیم دارند، خود این فازها نیز بصورت گالوانیکی خورده می شوند که خود باعث افزایش راندمان می شوند.

• اثر عنصر کلسیم

در سال ۱۹۷۲ اثر کلسیم و منیزیم بر روی آندهای آلومینیمی AL-Zn-In بررسی شد. آنها کلسیم را به میزان بین ۰,۰۵ - ۰,۰۰۵ درصد و منیزیم به میزان بین ۴ - ۰,۱ درصد به آند اضافه کردند، پس از انجام آزمایشات الکتروشیمیایی به نتایج ذیل دست یافتند. کلسیم و منیزیم و سایر عناصر خاکی نادر بر آندهای آلومینیمی دو تأثیر دارند.

الف) خوردگی یکسان آند بواسطه انحلال یکنواخت در آند.

ب) ایجاد محصولات خوردگی با چسبندگی کم به فلز پایه که باعث از بین رفتن سریع

محصولات خوردگی می شود.

با این دو عملکرد میزان سطحی که با محیط در تماس است، افزایش یافته، لذا منطقه وسیعتری از سازه را تحت حفاظت قرار می دهد. یعنی راندمان آند افزایش می یابد. براساس تحقیقات انجام گرفته حداکثر مقداری که میتوان کلسیم و منیزیم را به آلومینیم افزود به ترتیب ۰,۰۵ و ۴ درصد است، اگر از این مقدار بیشتر شود، باعث کاهش شدید پتانسیل شده و خوردگی خود بخودی ایجاد می شود و راندمان کاهش می یابد. همچنین افزایش بیش از حد منیزیم به آندهای آلومینیمی باعث بوجود آمدن خوردگی بین دانه ای شده و محصولات به سطح فلز می چسبند، نهایتاً موجب افت راندمان می گردد. اگر عناصر خاکی نادر بیش از ۰,۰۵٪ به آند افزوده شوند، باعث افزایش خوردگی خود به خودی می شود. همچنین به علت اینکه این عناصر گران هستند استفاده بیش از حد آنها مقرون به صرفه نمی باشد.

• اثر توأم منیزیم و روی بر روی آندهای آلومینیمی.

باربوکسی و همکارانش تحقیقاتی در زمینه تولید آندهای بدون عامل اکتیو کننده انجام دادند. آنها بر روی آلیاژ ۵٪Mg - ۵٪Zn - AL آزمایشات خود را انجام دادند و به نتایج جالبی دست یافتند. با آنیل این آلیاژ در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت می توان به پتانسیل ۱۰۸۲ میلی ولت و راندمان ۸۷٪ دست یافت. در این آلیاژ لایه پاسیو به راحتی شکسته می شود و آلومینیم اکتیو میگردد. در این آلیاژ روی و منیزیم به صورت محلول جامد وجود دارند که می توانند به شکل رسوباتی ظاهر گردند. با انجام عملیات حرارتی می توان مورفولوژی ریز ساختار را بهبود بخشید تا بتوان راندمان و رفتار الکترو شیمیایی خوبی از آلیاژ بدست آورد. بنابر این، این آلیاژ می تواند جایگزین مناسبی برای آندهای آلومینیمی تجاری باشد.

آنالیز و ترکیب شیمیایی آندهای آلومینیمی.

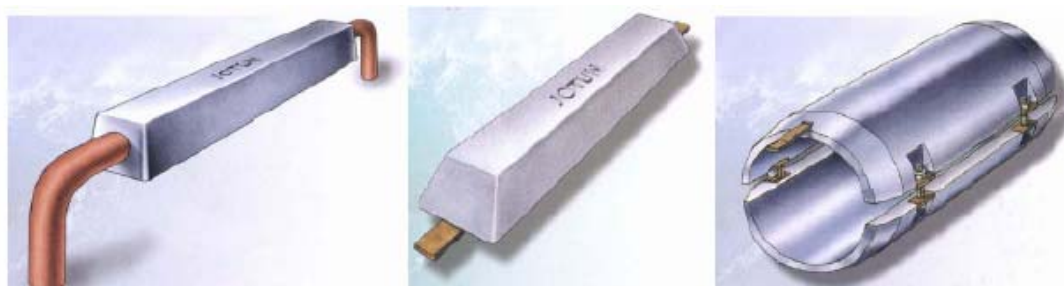
براسای مطالعات انجام گرفته آنالیز انواع آندهای آلومینیمی مورد استفاده در صنعت در

جدول زیر داده شده است.

جدول زیر ترکیب شیمیایی انواع آندهای آلومینیمی را نشان می دهد.

آلیاژ	In	Hg	Zn	Mn	Mg	Ga	Fe	Si	Ti	ظرفیت جریان A.h/Kg	پتانسیل (mV) (SCE)	نوع خورگی
Al-In-Zn	۰/۰۲	-	۵	-	-	-	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۱۵	۲۶۱۰	-۱۰۸۵	یکنواخت
Al-Hg-Zn	-	۰/۰۴	۴/۵	-	-	-	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۱۵	۲۷۹۰	-۱۰۴۵	غیر یکنواخت
Al-In-Zn-Mg	۰/۰۲	-	۳/۹	-	۰/۸۵	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۱۵	۲۶۸۰	-۱۰۸۷	یکنواخت
Al-In-Zn-Mn	۰/۰۲	-	۳/۸	۰/۱۵	-	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۱۵	۲۶۹۰	-۱۰۸۰	یکنواخت
Al-In-Zn-Mg	۰/۰۲	-	۳/۸	۰/۱۵	۰/۸۲	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۱۵	۲۷۸۰	-۱۰۹۶	یکنواخت

اشکال زیر آندهای آلومینیمی را نشان می دهد.



آزمایش تعیین ظرفیت جریان برای آندهای آلومینیمی

با توجه به اینکه آند آلومینیمی در صنایع دریایی و Offshore کاربرد دارد لذا توضیح در

مورد آزمایش راندمان که از مهمترین آزمایش ها بر روی آند می باشد، ضروری به نظر می رسد.

لازم به ذکر است آزمایش سایر آندها از جمله منیزیم و روی نیز مشابه فرآیند زیر انجام می گیرد.

این آزمایش براساس استاندارد NACE-TM 0190 انجام می گیرد که مراحل آزمایش به

شرح ذیل می باشد. ابتدا از نمونه های ریخته گری شده نمونه های استوانه ای به طول ۸۲

میلیمتر و به قطر ۱۵ میلیمتر تراشکاری و سپس سطح بالای نمونه را سوراخ نموده و توسط پیچ

به سیم مسی روکش داری متصل می گردد. به منظور اینکه سطح جانبی نمونه ها ۶ اینچ مربع شود، سطح بالا و پایین آن لاک گرفته می شود. قبل از اتصال سیم به نمونه ، نمونه توسط محلول ۲۰ گرم بر لیتر NaOH به مدت ۵ دقیقه چربی زدایی و شستشو و سپس برای زدودن دوده از سطح، نمونه درون محلول اسید نیتریک ۱۰٪ قرار گرفته، دوباره با آب شستشو می شود. در آخرین مرحله شستشو، نمونه ها با آستن شسته ، خشک و توسط ترازو با دقت ۰٫۱ میلی گرم وزن می شوند.

محلولی که بعنوان الکترولیت مورد استفاده قرار می گیرد، براساس استاندارد – ASTM D 1141-52 دارای ۳٪ کلرید سدیم می باشد.

ظرف محلول (سل) به شکل استوانه ای و به قطر ۱۳ سانتی متر و ارتفاع ۲۵ سانتی متر از فولاد انتخاب و ۱۲ سل به طور سری به یکدیگر متصل می گردد، به این ترتیب که سیم توسط گیره از سر آند به کاتد سل بعدی متصل می شود. از سل آخر سیمی به قطب منفی ترانس وصل و از اولین آند، سیمی به کولومتر متصل می شود و از آنجا نیز توسط سیم به قطب مثبت ترانس وصل می گردد.

برای اندازه گیری مقدار جریان عبوری، از کولومتر استفاده می شود، این وسیله طبق استاندارد ASTM-G 97 تهیه می شود. محلول موجود در کولومتر دارای ترکیب شیمیایی ذیل می باشد.

(۵۰ میلی لیتر اتیل الکل) + (۲۷ میلی لیتر H_2SO_4 ۹۸٪) + (۲۳۵ گرم $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) + (۹۰۰ میلی لیتر آب مقطر)

سیم مسی قبل از قرار گرفتن در کولومتر و پس از انجام آزمایش با ترازو به دقت ۰٫۱ میلی گرم وزن می شود. از منبع تغذیه ای با حداکثر ولتاژ ۱۲ ولت استفاده می گردد، براساس این

استاندارد دانسیته جریان مصرفی 4 mA/in^2 است. بر طبق استاندارد، زمان این آزمایش ۱۴ روز بوده که در ساعتهای ۳،۲۴،۷۲،۳۳۶ ولتاژ مدار باز و بسته توسط الکتروود کالومل اندازه گیری می شود. برای اندازه گیری پتانسیل مدار بسته سیم سر آند به بدنه کاتدی خود وصل و از آنجا یک سیم به ولت‌متر و سر دیگر ولت‌متر به الکتروود مرجع متصل می شود. برای اندازه گیری پتانسیل مدار باز یک سر ولت‌متر به سیم آند و سر دیگر به الکتروود مرجع متصل و ولتاژ اندازه گیری می شود. لازم به ذکر است در حین اندازه گیری الکتروود مرجع کالومل بایستی نزدیک آند قرار گیرد. پس از اتمام آزمایشات و قطع اتصالات از آند، محصولات خوردگی توسط محلول شیمیایی ذیل از روی نمونه در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و زمان ۵ دقیقه باید تمیز شود. ترکیب شیمیایی محلول تمیز کننده به عبارت زیر است.

(۲۸ گرم تری اکسید کروم) + (۴۱ میلی لیتر اسید فسفریک) + (۱،۴ لیتر آب)

سپس نمونه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰،۱ میلی گرم وزن و اختلاف وزن هر نمونه محاسبه می گردد. بر اساس فرمولهای زیر ظرفیت و راندمان آند محاسبه می شود.

$$\text{ظرفیت جریان واقعی آند} = (1000C) / W (\text{A.h/Kg})$$

$$E = (2981 / \text{ظرفیت جریان واقعی آند} \times 100)$$

$$C = 0,8433 W1$$

W1: اختلاف وزن سیم کولو متر بر حسب گرم. W: اختلاف وزن نمونه بر حسب گرم

C: مقدار جریان عبوری آند بر حسب آمپر ساعت. E: راندمان آند

۲۹۸۱: ظرفیت جریان تئوری آلومینیم بر حسب آمپر ساعت بر کیلو گرم.

مقایسه سیستم آند فدا شونده و اعمال جریان

هر نوع سیستم حفاظت کاتدی دارای مزایا و معایبی است که طراح با توجه به نیاز پروژه، نوع سیستم را انتخاب می کند. جدول زیر برخی از این موارد را ذکر نموده است.

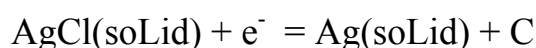
سیستم اعمال جریان	سیستم آند فدا شونده	موضوع
معمولاً محدودیتی در مورد مقاومت الکتریکی محیط وجود ندارد، اما ممکن است در محیط های حاوی کلر زیاد برخی آندها بکار نروند.	ممکن است در محیط های با مقاومت بسیار پایین کاربرد نداشته باشد) مثلاً، منیزیم در آب دریا)	محیط
نیاز به طراحی دقیق دارد و ممکن است طراحی آن پیچیده باشد.	نصب آن آسان است.	نصب
یک منبع خارجی مورد نیاز است و باید از اشتباه وصل کردن کابلها به قطبهای منبع تغذیه اجتناب کرد.	نیاز به منبع تغذیه خارجی ندارد.	منبع تغذیه
معمولاً سبکتر و تعداد آن کمتر است و در طراحی سعی می شود که جریان آب بر آنها تأثیر منفی نگذارد.	ممکن است جریان آب و تلاطم دریا بر انتخاب شکل آند تأثیر داشته باشد.	آند

<p>قابل کنترل است می توان بصورت اتوماتیک یا دستی آنرا کنترل کرد.</p>	<p>بسته به میزان جریانی است که از آند خارج می شود. و در واقع افزایش یا کاهش میزان جریان قابل کنترل نیست.</p>	<p>کنترل</p>
<p>تأثیر آندها بر روی سازه های نزدیک باید بررسی گردد.</p>	<p>معمولاً، تأثیر بسیار کمی بر روی سازه های اطراف می گذارند.</p>	<p>جریان سرگردان</p>
<p>تجهیزات برای مدت طولانی طراحی شده اند اما یک بازدید منظم از تجهیزات الکتریکی مورد نیاز است.</p>	<p>معمولاً نیاز ندارد مگر در شرایط خاص آند تعویض می گردد.</p>	<p>تعمیر و نگهداری</p>
<p>آنها از ساختار نسبتاً سبکتری ساخته شده و لذا مقاومت کمتری در برابر خسارات مکانیکی از خود نشان می دهند. حذف چند آند ممکن است باعث کاهش راندمان سیستم گردد.</p>	<p>آنها معمولاً بزرگ هستند و به خسارات مکانیکی حساس نیستند. و حذف چند آند تأثیر جزئی بر سیستم دارد. اتصالات بایستی قادر به تحمل نیروهائی باشند که به سازه وارد می شود.</p>	<p>خسارات</p>

الکتروود مرجع.

بوسیله الکتروود مرجع Ag/AgCl و روی، پتانسیل سازه های دریائی را می تون اندازه گیری کرد. لازم به ذکر است کاربرد الکتروود مرجع Cu / CuSO4 برای محیط دریا توصیه نمی شود. براساس آزمایشات و تجربیات دقت الکتروود مرجع Ag / AgCl، $5_{-} mV_{+}$ و روی $30_{-} mV_{+}$ می باشد.

در الکتروود مرجع Ag/AgCl واکنش زیر رخ می دهد و میزان کلر در آب دریا بر پتانسیل الکتروود مرجع تأثیر دارد. الکتروود مرجع می تواند بصورت قابل حمل یا ثابت استفاده شود.



الکتروود مرجع مورد استفاده بایستی از سایش و جلبکها دور نگه داشته شود و در اولین مصرف بایستی چند ساعت درون آب تازه نگه داشته شود. همچنین کابل انتهایی آن بایستی عایق باشد که از اتصال کوتاه جلوگیری شود. تغییر غلظت نمک در محیط باعث تغییر در پتانسیل الکتروود Ag/AgCl می شود، این تغییر می تواند در دهانه ورودی رودخانه به دریا اتفاق افتد، رقیق شدن غلظت نمک باعث مثبت تر شدن پتانسیل می شود. میزان تغییر مجاز برای الکتروود مرجع در اثر تغییر غلظت نمک حدود $60mV$ می باشد، که پتانسیل حفاظتی را کمی منفی تر نشان میدهد. در صورتی که تأثیر غلظت دارای اهمیت باشد می توان Element مورد نظر را در محلول با غلظت مشخص KCl درون ظرف بدون سوراخ قرار داد و الکتروود را توسط تویپی متخلخل از محیط جدا نمود. الکتروود مرجع روی، باید از روی بسیار خالص با آهن کمتر از 0.0014% تهیه گردد. آلودگیهای روی سطح آند باعث تغییر پتانسیل آند می شود. همچنین آند روی بایستی نسبت به نگهدارنده و سازه حفاظت شده عایق شود در غیر این صورت باعث پلاریزه شدن آن

می شود. پتانسیل الکتروود مرجع می تواند با الکتروود مرجع کالومل کنترل شود و از کالیبره بودن آن اطمینان حاصل کرد و همچنین می توان از الکتروود مرجع هیدروژن در آزمایشگاه جهت آزمایش کالیبره بودن استفاده کرد. در جدول زیر پتانسیل انواع الکتروود مرجع مورد استفاده در محیط دریا ذکر شده است.

در جدول زیر پتانسیل الکتروود مرجع نسبت به الکتروود استاندارد هیدروژن در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد داده شده است.

Electrode	Volt
Silver/silver	۰,۲۰
Chloride/Saturated KCl	۰,۲۵ + حدودا،
Silver/silver Chloride / sea water	۰,۲۸
Calomel (normal) KCl	۰,۲۴
Calomel (Saturated) KCl	۰,۷۸ - حدودا،
Zinc/Sea Water	

نکته: لازم نیست دمای آزمایش در مواردی که آزمایش میدانی انجام می شود در نظر گرفته شود.

نکته: جدول فوق میزان پتانسیل الکتروود ها نسبت به یکدیگر را نشان می دهد الکتروود مرجع هیدروژن فرض شده است.

معیار حفاظت کاتدی.

براساس منحنی های پلاریزاسیون حداقل معیار حفاظت کاتدی در دریا (Ag/AgCL) V $-0,8$ می باشد. در صورت وجود باکتری (Sulfate Reducing Bacteria) این حداقل به (Ag/AgCL) V $-0,9$ کاهش می یابد. افزایش پتانسیل باعث ایجاد Over Protection می شود که زمینه ساز ایجاد تاول بر روی پوشش سازه ها یا ایجاد پدیده تردی هیدروژنی می شود. حداکثر پتانسیل قابل قبول برای فولاد معمولی (Ag/AgCl) V $-1,1$ می باشد و در فولاد های با استحکام بیشتر از 700 N/mm^2 جهت جلوگیری از تردی هیدروژنی محدوده پتانسیل حفاظتی بین (Ag/AgCL) V $-0,8$ تا $-0,9$ می باشد. همچنین توصیه می شود در نقاط نزدیک جوش که از فولاد با استحکام بالا نیز استفاده شده حداکثر پتانسیل حفاظتی (Ag/AgCL) V $-0,8$ در نظر گرفته شود، در صورتی که خوردگی میکروبی وجود داشته باشد، بایستی از پوشش بر روی سازه استفاده کرد یا در مناطقی از سازه که قابل دسترس و محدود است از میکروپ کشها استفاده نمود. با توجه به اینکه در محیط دریا از دو الکتروود مرجع استفاده می شود در جدول زیر تبدیل معیار حفاظت مشخص شده است.

جدول زیر معیار حفاظت کاتدی فولاد را نشان می دهد.

Potential (V) Ag/AgCl/ sea water		Potential (V) Zn/sea water
-0,40	intense corrosion	+0,65
-0,50	Freely corroding	+0,55
-0,60		+0,45
-0,65	Some protection	
-0,70		+0,35
-0,80	Threshold of full protection for aerobic conditions	+0,25
-0,90	Some over polarization recommended for anaerobic condition	+0,15
-1,00	Increasing over polarization	+0,05
-1,10	Can affect adhesion of some paints	-0,05

Increasing risk of hydrogen embrittlement of susceptible steels and adverse effect on fatigue life

جریان سرگردان.

با اعمال سیستم حفاظت کاتدی سازه های فلزی نزدیک بستر آندی یا کاتد، تحت تأثیر قرار گرفته و پتانسیل آنها تغییر می کند. در صورتیکه سازه نزدیک کاتد باشد و پتانسیل شیفت مثبت داشته باشد، تداخل کاتدی بوجود می آید که حداکثر مجاز این شیفت 20mV می باشد، در صورتیکه پتانسیل بیش از این مقدار شود، بسیار خطر ناک است و بایستی جهت کنترل آن اقداماتی انجام داد.

استفاده از پوشش و حفاظت کاتدی با یکدیگر بمنظور حفاظت از سازه های دریایی. استفاده از پوششهای غیر فلزی بطور چشمگیری میزان جریان مورد نیاز حفاظت کاتدی را کاهش می دهد. که منجر به کاهش تعداد آندها و ظرفیت ترانس رکتیفایر میگردد. استفاده از ترکیب دو سیستم می تواند از نظراقتصادی مقرون به صرفه باشد. در سازه هایی که عمر طولانی مد نظر است، سیستم حفاظت کاتدی بتنهایی قابل کاربرد نیست مگر اینکه با پوشش ترکیب شود.

کاربرد رنگ در بخشی از قسمتهای مغروق در آب ممکن است، مناسب نباشد، این بخشها محلتهائی مانند نقاط جوش در محل حساس که نیاز به بازرسی دوره ای دارد. پوششهای فلزی بر پایه آلومینیم یا روی میتواند بعنوان حفاظت کاتدی (آند فدا شونده) بکار روند. با این حال در مقایسه با پوشش های آلی کاهش میزان جریان حفاظت کاتدی چندان زیاد نیست. پرایمر Zinc Rich در کاربرد با حفاظت کاتدی مناسب نیست، زیرا این پوشش به Cathodic Disbanding حساس و دارای مقاومت الکتریکی پایین است که موجب افزایش جریان حفاظتی می گردد. در سیستم حفاظت کاتدی، در کاتد گاز هیدروژن متصاعد می شود و سازه هایی که به خوردگی هیدروژنی حساس هستند، بایستی پوشش مناسب بعنوان مانعی در برابر نفوذ هیدروژن مورد توجه قرار گیرد و همچنین مقاومت به Cathodic Disbanding آنها نیز قوی باشد. پوششهای

Cathodic Disbanding که بیشتر در منطقه جزر و مدی بکار می روند مقاوم به Glass Flake بوده که براساس استاندارد Noros M – 501 حداکثر 10mm می باشند.

Nomenclature

BHA	Bottomhole Assembly
CRA	Corrosion Resistant Alloys
EFC	European Federation of Corrosion
ERW	Electric Resistance Weld
GCMS	Gas Chromatography Mass Spectrometer
HAZ	Heat Affected Zone
HE	Hydrogen Embrittlement
HIC	Hydrogen Induced Cracking
HPCT	High Pressure Coiled Tubing
IRP	Industry-Recommended Practice
JIP	Joint Industry Project
NACE	National Association of Corrosion Engineers
NDT	Non-Destructive Testing
SCC	Stress Corrosion Cracking
SOHIC	Stress Orientated Hydrogen Induced Cracking
SSC	Sulfide Stress Cracking
SSRT	Slow Strain Rate Test
XRD	X-Ray Diffraction

منابع

(۱) مهندسی خوردگی - ترجمه دکتر احمد ساعتچی - چاپ جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی

اصفهان - پاییز ۱۳۶۵

(۲) تکنولوژی گل حفاری - مرحله یک تئوری - اداره آموزش نیروی انسانی شرکت ملی حفاری

ایران - مهندس غلامرضا عربی.

(۳) - استاندارد (IRANIAN PETROLEUM STANDARDS) IPS E - TP- 100 .

(۳) - پروژه تحقیقاتی " بررسی خوردگی در صنعت حفاری و راههای کاهش یا حذف آن " اجراء

شده توسط دانشگاه صنعت نفت تهیه کننده: دکتر منصور فرزام. پاییز سال ۱۳۸۶ .

(۴) - پروژه " تحقیقاتی بررسی روشهای کاربردی نوین و پیشرفته در دنیا به منظور جلوگیری از

خوردگی از تأسیسات فلزی دریایی ". اجراء شده تحت حمایت مدیریت پژوهش شرکت ملی نفت

ایران.

References

1. Van Adrichem, W.P.: "Coiled Tubing Failure Statistics Used to Develop Tubing Performance Indicators," paper SPE 54478 presented at the 1999 SPE/ICoTA Coiled Tubing Roundtable, Houston, TX, May 25-26.
 2. Crabtree, A.R. and Skrzypek, H.: "Investigation of Coiled Tubing Failures Over 2 Years and Corrosion Prevention Methods," paper SPE 46024 presented at the 1998 SPE/ICoTA Coiled Tubing Roundtable, Houston, TX, April 15-16.
 3. Stanley, R.: "An Analysis of Failures in Coiled Tubing," paper IADC/SPE 39352 presented at the 1998 IADC/SPE Drilling Conference, Dallas, TX, Mar. 3-6.
 4. "Active CTU's in International Operations," www.icota.com/files/CAN.USA.WORLD.August%202002.htm.
 5. Luft, H.B. and Wilde, G.: "Industry Guidelines for Underbalanced Coiled-Tubing Drilling of Critical Sour Wells," paper SPE 54483 presented at the 1999 SPE/ICoTA Coiled Tubing Roundtable, Houston, TX, May 25-26.
 6. Luft, H.B., Sklarz, K.E., Nowinka, J. and Skrzypek, H.: "Evaluating Fitness-For-Purpose of Coiled Tubing for Underbalanced Drilling of Sour Wells," Corrosion/2002 paper No. 02054 presented at the NACE Annual Meeting, Denver, CO, April 7-11.
- 7) Hisham A. Nasr-EL-Din, SPE, Saudi Aramco and Arthur S. Metcalfe, SPE, BJ Services Company, U.S.A.: "Workovers in Sour Environments: How Do We Avoid Coiled Tubing Failures?". paper SPE 87622 presented at the first international symposium on oilfield corrosion held in Aberdeen, UK, 28 May 2004.
- 8) BAROID MUD TECHNOLOGY HAND BOOK COPYRIGHT 1965: SECTION 14.P.P.119.
- 9) METALS HANDBOOK, NINTH EDITION, VOL. 13, CORROSION, ASM INTERNATIONAL, METALS PARK, OH, 1987.

۱۰) "DRILLING FLUID ENGINEERING MANUAL", MAGCOBAR DIVISION OIL FIELD PRODUCTS GROUP DRESSER INDUSTRIES, INC. HOSTON. TEXAS, REVISED JANUARY, 1977 (R.L.S) SECTION CORROSION.

11) GLOSSARY OF DRILLING FLUID AND ASSOCIATED TERMA, API BULD11 FIRST EDITION, DECEMBER 1965.

12) MAGOBAR TECHNICAL BULLETIN NO. 31-57 REPRINTED 11-21-65.

13) Haitao Fang, Srdijan Nestic, Bruce Brown. " General Co₂ corrosion in high salinity Brain. " Hnstitute for corrosion and multiphase Technology 342 West state street, Ohio Univrsity Athens Ohio 45702 USA.