



اولین کنفرانس خوردگی
در صنایع نفت
۱۳۷۹ - ۲۳ - ۲۵ خردادماه

مقایسه آند MMO با انواع آندهای موردمصرف در سیستمهای حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان

محمد شمعدانی حق - علیرضا سرابی^۱

چکیده:

با توجه به گسترش استفاده از سیستمهای حفاظت کاتدی بخصوص روش اعمال جریان جهت جلوگیری از خوردگی سازه‌های فلزی مdfون لازم است تا آندهای موردمصرف در این سیستمهای موردن بررسی قرار گرفته و پس از مقایسه مزایای هر یک، با توجه به شرایط خاص هر پروژه بهترین و مناسب‌ترین آند موردن نیاز انتخاب گردد. بدیهی است که این مقایسه بایستی در ابعاد مختلفی چون خواص فیزیکی، شیمیایی، راندمان کارکرد، نحوه نصب و اجرا و صرفه اقتصادی صورت پذیرد تا مهندس طراح بتواند با بررسی کلیه شرایط و ویژگیهای مربوط به آندهای موجود، سازه‌های مdfون، شرایط محیطی و هزینه‌های اقتصادی مناسب‌ترین نوع سیستم حفاظت کاتدی به همراه آند مربوطه و روش نصب مناسب را انتخاب و ارائه نماید. لذا بدین منظور سعی شده است تا در این مقاله انواع آندهای موردمصرف در سیستمهای حفاظت کاتدی به روش اعمال جریان موردن ارزیابی قرار گرفته و در نهایت مزایای هر

۱- شرکت رفرانس ایران

یک با آند MMO مقایسه تا شاید زمینه‌ای باشد تا صاحبان صنایع در ایران نیز از این نوع آند که دارای مزایای زیادی می‌باشد استفاده بهینه به عمل آورند.

این شرکت پس از انجام تحقیقات و پژوهش‌های لازم در این زمینه و تبادل اطلاعات با کمپانی CORRPRO/BASCO توانسته است نتیجه تحقیقات خود را با یافته‌های کمیابی فوق نیز مطابقت داده و نظرات نهایی را در قالب این مقاله ارائه نماید.

مقدمه:

از آندهای مورد مصرف در سیستمهای حفاظت کاتدی که در بسترهاي مدافون استفاده می‌گردد می‌توان آندهای گرافیت، سیلیکون، سیلیکون کرومدار، تیتانیوم / نیوبیوم پلاتینایزه شده و آندهای MMO را نام برد، که هر یک با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی و شرایط خاص منطقه توسط طراح انتخاب و استفاده می‌گردد. عموماً مهندسین خوردنگی از آندهای MMO و پلاتین در شرایطی استفاده می‌نمایند که محیط ابانته از آب و مواد شیمیایی باشد. هر یک از آندهای مذکور با توجه به مشخصات خاص خود و شرایط محیطی نحوه، اجرا را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این نحوه اجرا برای هر محیط شرایط خاص خود را داشته و از یک محیط به محیط دیگر تغییر می‌نماید که این امر باستثنی زیر نظر مهندس طراح صورت پذیرد. واکنشهای که در سطح آند اتفاق می‌افتد در چگونگی مصرف مواد بکار رفته در آندها تاثیر مستقیم دارند، لذا لازم است تا واکنشهای آندی اویله را مورد بررسی قرار داد:

واکنشهای آندیک

واکنشهای اکسیداسیون زیادی وجود دارند که ممکن است روی سطح یک آند اتفاق بیفتدند. جنس آندهای مورد مصرف و شرایط محیط باعث می‌گردد تا یکی از واکنشهای فوق بر دیگر واکنشها غلبه کرده و عموماً اتفاق افتد.

سه واکنش اویله که در سطح آند رخ می‌دهند عبارتند از:

- اکسیداسیون فلز

- متصاعد شدن اکسیژن

- متصاعد شدن کلر

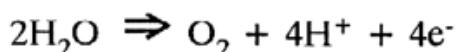
در آندهای فدا شونده واکنش آندی اویله بطور نرمال اکسیداسیون فلز است یعنی:



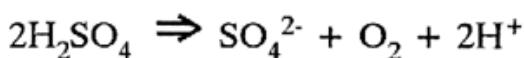
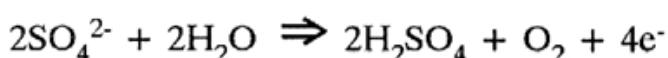
با توجه به اینکه در خاکهای خنثی یون فلز ناپایدار است و با آب برای تشکیل یک هیدروکسید یا اکسید هیدراته و یونهای هیدروژن واکنش انجام می‌دهد بنابراین:



این واکنش‌ها تا زمانی که مصرف آندها ادامه دارد باعث بوجود آمدن جریان می‌گردند. برای آندهای موردمصرف در روش اعمال جریان در مناطقی که خاک و آب دارای میزان خیلی کمی از کلرید هستند واکنش اولیه آندی متصاعد شدن اکسیژن است یعنی در این آندها واکنش زیر رخ می‌دهد:



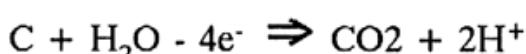
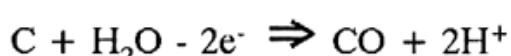
وقتی که یون‌های سولفات در الکتروولیت حضور داشته باشند واکنش مشابهی اتفاق می‌افتد:



اکسیژن مجدد آزاد شده و هیدروژن بصورت یون تشکیل می‌گردد. متصاعد شدن کلر و واکنشی است که روی سطح آندهای روش اعمال جریان در حضور یون‌های کلرید اتفاق می‌افتد:



سپس گاز کلر با آب برای تشکیل هپیوکلروس و هیدروکلریک واکنش خواهد داد. اسید هپیوکلروس تجزیه شده و یون‌های هیدروژن نیز متناسب با مقدار اسید تشکیل می‌شوند. بنابراین متصاعد شدن کلر PH در سطح آند را کمتر از متصاعد شدن اکسیژن کاهش می‌دهد. در جاییکه ذغال کک بعنوان مواد پرکننده برای آندهای روش اعمال جریان استفاده می‌شود واکنش‌های آندیک در سطح ذرات کک بصورت زیر اتفاق می‌افتد:



تمام واکنش‌های اصلی آندی باعث کاهش PH محلول در محدوده آند می‌شوند. پتانسیل استاندارد redox $+0.40$ ولت برای یون‌های هیدروکسیل و $+136$ ولت برای یون‌های کلر است. از یک دیدگاه ترمودینامیکی اگر یک آند در الکتروولیتی حاوی هر دو یون پلاریزه شده باشد ابتدا اکسیژن متصاعد شده و بعد از آن کلر متصاعد می‌شود. در عمل این مسئله لزوماً واقعیت ندارد. بعنوان مثال در آندهای گرافیتی افزایش ولتاژ برای متصاعد شدن

اکسیژن خیلی بیشتر از زمانی است که برای متضاد شدن کلر داریم. در یک آند گرافیتی هرگاه از طریق آند واکنش پلاریزه شدن انجام شود قبل از هر چیز گاز کلر متضاد می‌گردد. خواص تبادل جرم در میان الکتروولیت از جمله فاکتورهای خیلی مهم در بسترها مدفون می‌باشند. متضاد شدن کلر در آب دریا با ارجحیت نسبت به متضاد شدن اکسیژن اتفاق می‌افتد زیرا واکنش کنندگان (یونهای کلر) می‌توانند روی سطح آند بهتر حرکت کنند و محصول واکنش (گاز کلر) می‌تواند خیلی بهتر از اکسیژن از آند دور شود. این مسئله در الکتروولیت خاک بستگی به مقدار جریان آب، مهاجرت یون‌ها و نفوذپذیری خاک دارد. نقصان کلرید و محدودیت مهاجرت کلر باعث می‌شود واکنش متضاد شدن اکسیژن یک واکنش غالب باشد. این رفتار از طریق مشاهده مستقیم تائید شده است. بنابراین جهت مقابله با حمله اسیدی و جلوگیری از واکنشهای مربوطه در بسترها مدفون بایستی جنس آندهای مورد استفاده مناسب و درست انتخاب شوند.

گرافیت

در چند سال گذشته اجرای رضایت بخش آندهای گرافیتی نصب شده در زیرزمین با پرکننده کربنی به روشنی درک شده است. تحت این شرایط شدت مصرف خیلی پائین است و معمولاً در محدوده ۰.۷ تا ۱.۱ کیلوگرم آمپر سال است. در جاییکه متضاد شدن اکسیژن روی سطح آند گرافیتی اتفاق می‌افتد کربن اسیدی می‌شود تا دی اکسید کربن تولید شود. PH پائین و میزان سولفات بالا می‌تواند شدت مصرف را تا حد ۴.۴ کیلوگرم آمپر سال افزایش دهد.

گرافیت نسبتاً یک ماده نرم است و در جریان‌های شدید آب برای مصرف پیشنهاد نمی‌شود زیرا جریانات شدید آب باعث افزایش خوردن گرافیتی آند گرافیتی می‌شود. بایستی در جاها ایکه ممکن است حفره در آند ایجاد شود از این نوع آند استفاده نگردد. در دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد شدت مصرف شدیداً افزایش می‌یابد، همچنین گرافیت جنس شکننده‌ای داشته و بایستی در طول نصب و حمل و نقل مراقب بود.

گرافیت یک ماده شدیداً متخلخل است. گازهای تولید شده در تخلخل‌های داخلی آند بعنوان نتیجه واکنش‌های آندی باعث نابودی مکانیکی و شیمیایی آند می‌شوند. در بعضی اوقات این امر باعث نرم شدن گرافیتی و باد کردن آند می‌شود. هنگامیکه متضاد شدن اکسیژن واکنش اولیه در

سطح آند باشد افزودن روغن تقریباً تا حدود ۲۰ درصد از نابودی گرافیت جلوگیری می‌کند. گرافیت دارای تمایل طبیعی به مصرف شدن مانند مداد دارد بخصوص در محیطهای خاکی با آب روان و جاری، اینکار قابل جبران توسط اتصال یک جریان به وسط آند به جای انتهای آن است. اتصال به مرکز آند، فاکتوریست که مصرف آندهای گرافیتی را به شدت کاهش می‌دهد. استفاده از بک فیل کک و کارکردن در شدت جریان‌های از ۵ تا ۱۰ آمپر شرایطی است که استفاده از آندهای گرافیتی را در بسترها محفوظ اقتصادی تر می‌نمایند.

سیلیکون گرومدار

آندهای سیلیکونی شامل یک ساختار سخت از فریت سیلیکون است که در آن قسمت اصلی کربن از فرم گرافیت است. حضور گرافیت بین رگه‌ها یک ضعف در آلیاژ ایجاد می‌کند. افزودن کروم به آلیاژ مذکور باعث حذف گرافیت و افزایش استحکام آند سیلیکونی می‌گردد.

استفاده از آلیاژ سیلیکون گرومدار بعنوان یکی از انواع آندهای موردمصرف در سیستمهای محافظت کاتدیک به روش اعمال جریان شدیداً وابسته به تشکیل یک لایه نازک از دی اکسید سیلیکون هیدراته روی سطح آند است. این فیلم از آند محافظت نموده و باعث کاهش صدمه دیدن آند می‌گردد. خواص محافظتی آلیاژ مذکور وقتی قابل بهره‌برداری خواهد بود که حاوی حداقل ۱۴/۵ درصد سیلیکون باشد. اکسیداسیون آلیاژ برای تشکیل این فیلم حفاظت کننده الزامی است.

دی اکسید سیلیکون آلوده نشده دی الکتریکی است که مقاومت آن ۱۵۰ اهم - سانتی متر می‌باشد. اگرچه مکانیزم مشخصی ندارد، اما زمانی که واکنش اکسیداسیون در سطح آند بوقوع می‌پیوندد و دی اکسید سیلیکون از هدایت بالایی برخوردار می‌شود. پر واضح است که اکسیداسیون سیلیکون، دی اکسید سیلیکون موردنیاز برای نفوذ درونی یونهای هیدروکسیل و ملکولهای آب را تشکیل می‌دهد. واکنش اکسیداسیون، یون هیدروژنی را تولید خواهد کرد که قابلیت هدایت این توده را بیش از پیش افزایش دهد. در زمینهای بایر، انتشار محدود آب در سطح آند محفوظ باعث جلوگیری از تشکیل توده دی اکسید سیلیکون با قابلیت هدایت بالا می‌شود. این امر ممکن است دلیلی باشد بر اینکه چرا گاهی اوقات مشاهده می‌شود مقاومت زمین آندهای سیلیکون محفوظ در سیستمهای حفاظت کاتدی افزایش می‌یابد. آندهای سیلیکون

کرم دار در مقابل خوردگی ناشی از محلولهای اسیدی از مقاومت بالایی برخوردار هستند، لذا برای انتخاب در محیط‌های اسیدی آند مناسبی محسوب می‌شود. با این وجود، توده دی اکسید سیلیکون در محلولهای بازی حل شده و باعث بالارفتن مصرف آند و محدودیت عملکرد آن نیز می‌شود. بدیهی است زمانیکه خاکها حاوی تمرکز بالای یونهای سولفات باشند، واکنشهایی در سطح آند اتفاق می‌افتد که یا باعث جلوگیری از تشکیل توده دی اکسید سیلیکون شده یا باعث از بین بردن خواص حفاظتی می‌شود که طبعاً کارایی آند را محدود می‌کند.

آندهای سیلیکونی شکننده بوده ولی سختی آن باعث می‌شود که این آندها مانند گرافیت در معرض سائیدگی و خوردگی قرار نگیرند. این نوع آندها در حالت نصب شده در بسترها آندی با پرکننده کک خیلی مشابه با گرافیت عمل می‌کنند. وقتی این آندها بدون پرکننده نصب می‌شوند و در جاییکه متصاعد شدن اکسیژن به عنوان واکنش آندی غالب اتفاق می‌افتد، آندهای سیلیکونی بهتر از گرافیت عمل می‌کنند. سرعت مصرف شدن این نوع آندها در پشت بند کک به شرط آنکه مقدار کل محیط ناچیز باشد به ۰.۲۵ کیلوگرم آمپر سال و در جاییکه از پشت بند کک استفاده نشده و به تنها بی در خاک استفاده شوند این شاخص به مقدار ۱ کیلوگرم آمپر سال می‌رسد، همچنین در شرایط آب تازه میزان مصرف این نوع آندها تقریباً ۰.۵ کیلوگرم آمپر سال می‌باشد که بایستی مهندس طراح آنها در محاسبات خود مدنظر قرار دهد.

آندهای با پایه سرب

آندهای با پایه سرب مورد مصرف در سیستمهای حفاظت کاتدی از اواسط دهه ۱۹۵۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند سرب ذوب پائینی داشته و انعطاف پذیری و هدایت خوبی دارد. حضور یک لایه اکسید سرب (pbo_2) روی سطح آند که جریان از آن انتشار می‌یابد بعنوان یک هادی و منبع اکسید سرب عمل می‌کند. این اکسید در آب دریا غیر محلول بوده بطوریکه آندهای پایه سربی در کاربردهایی که آب دریا دخیل است خیلی مؤثر هستند. برای آنکه فیلم اکسید تشکیل شود لازم است تا آلیاژسازی انجام پذیرد زیرا سرب خالص فیلم لازم را تشکیل نمی‌دهد. معمول ترین این نوع آلیاژسازی افزودن نقره به میزان (۱٪) و آنتی موآن به میزان (۰.۶٪) است. آند دوگانه سرب، پلاتین نیز در بعضی موارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. نصب آندهای کوچک یا میخ‌هایی از این جنس در سطح سرب تشکیل فیلم اکسید سرب در محیط آب دریا را

بهبود می‌بخشد.

تیتانیوم / نیوبیوم پلاتینایزه شده

معمول ترین آندهای پلاتینایزه شده مورد استفاده در صنعت حافظت کاتدی همراه با پایه‌های تیتانیوم نیوبیوم است. این آندها اساساً برای استفاده در آب دریا و محیط‌های دیگر کلردار طراحی شده‌اند زیرا هر دو پایه تشکیل لایه‌های محافظتی، دی‌کتریک و اکسیدی در حضور کلرید می‌دهند. گرچه نیوبیوم گران‌تر از تیتانیوم است اما دارای هدایت الکتریکی بالا و یک اکسید محافظتی با ولتاژ بالاتر را تشکیل می‌دهد. نصب و کاربرد این آندها در آب دریا در شدت جریان‌های بالا به خوبی مورد استفاده می‌باشد. در جائیکه واکنش غالب آندی متصاعد شدن کلر باشد، شدت مصرف پلاتین 11.7×10^{-6} تا 5.7×10^{-5} پوند آمپر سال خواهد بود.

آندهای پلاتینایزه شده تنها وقتی مقرر می‌شوند به صرفه هستند که در دانسیته جریان‌های بالا مورد استفاده قرار گیرند و این امر تنها در آب دریا امکان‌پذیر است، زیرا سرعت انتقال کلریدها به طرف آند سریع بوده و محصولات واکنش دور از سطح آند می‌باشند. در جائیکه واکنش آندی متصاعد شدن اکسیژن می‌باشد برای ولتاژ‌های بالاتر لازم است تا پتانسیل افزایش یافته و IR افت یابد. در هر دو حالت لازم است تا هزینه آند و توان آن مدنظر قرار گیرد بنابراین در بسترها مدفون معمولاً مقرر می‌شوند به صرفه نمی‌باشد.

برای پیش‌بینی استفاده از آندهای تیتانیوم و نیوبیوم پلاتینایزه شده در بسترها مدفون لازم است تا محدودیتهای محیطی در نظر گرفته شوند. با توجه به تجربیات بدست آمده از کندانسورها و بدن‌کشتهای، مشخص می‌شود که تشکیل دی‌اکسید منگنز در سطح آند به عنوان واکنش آندی محسوب شده که متقابلاً علاوه بر تصاعد کلورین، اکسیژن نیز متصاعد شده و این امر در نحوه بکارگیری آندها تاثیر بسزایی دارد.

سرعت عدم حل شوندگی آند پلاتین تقریباً ده برابر بیش از زمانی است که متصاعد شدن اکسیژن به عنوان یک واکنش غالب محسوب می‌گردد. تشکیل لجن در آندهای پلاتینایز شده عمر آند را تا ۱۰ درصد کوتاه نموده که این امر تنها در آب دریا مشاهده شده و علت آن حمله اسید به پلاتین و تیتانیوم یا پلاتین و تیتانیوم یا پایه‌های نیوبیوم است. عوامل دیگری که متقابلاً در بکارگیری از آند نقش موثری دارند شامل پیدایش جرم، خنثی‌کننده‌های زیستی، وجود مواد

آلی مشخص، فرکانس پائین امواج AC و حتی مدت‌های کوتاه برگشت جریان می‌باشد.

زمانیکه آندهای پلاتینایزه در بستر قرار می‌گیرند بایستی طوری طراحی شوند تا شرایط اتصال الکتریکی را با بک فیل فراهم نمایند نه آنکه صرفاً عنوان سطحی برای انجام واکنشهای آندی باشد. این بدان معنا است که فشار واردہ بر بک فیل بایستی به میزان کافی بالا بوده و دانسیته جریان نیز در محدوده ۱۵۰ تا ۳۰۰ آمپر / متر باشد. بایستی از تماس مستقیم با خاک جلوگیری شود. برخی از شکستگیهای آند داخل بک فیل بعلت خودگی تیتانیوم و نیوبیوم حادث می‌گردند. خیلی‌ها بر این باورند که این امر ناشی از اسیدی بودن بالای محیط است.

بایستی توجه داشت که نیوبیوم در برابر حمله اسیدی به مراتب از تیتانیوم ضربه پذیرتر است. زمانیکه آندهای پلاتینایزه در عمق‌های بالا مصرف می‌شوند ممکن است بخش اعظم مواد نامحلول آنها بعلت شرایط محیطی، مقاومت، حرارت و متصاعد شدن اکسیژن سبب افزایش اسیدیته شوند. این آندها معمولاً در عمق زیاد در معرض آبهای شور قرار می‌گیرند. تقریباً ۱۵ درصد از تمرکز یونهای کلرید، از آب دریا و بخشی از مصرف پلاتین تامین می‌گردد که ناشی از قرار گرفتن در عمق زیاد است.

از عوامل مهمی که ممکن است نحوه بکارگیری از آند را تحت تاثیر خود قرار دهند می‌توان: میزان سطح آب، نزدیکی به نواحی ساحلی و میزان نفوذپذیری آن را نام برد. عموماً با افزایش تراکم کلریدها و گستردگی شعاع عملکرد آند کلرین بیشتری متصاعد شده و آند می‌تواند بهتر عمل نماید.

یافته‌های یک تحقیق صنعتی نتایج فوق را تصدیق می‌نمایند. نتایج تحقیقات فوق حاکی از این است که زمانی آندها در آب شور بهتر عمل می‌کنند که بستر از نوع عمیق باشد و در این حالت میزان مصرف پلاتین ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. و میزان مصرف آنها با افزایش مقدار دانسیته جریان و کاهش PH سیر صعودی پیدا می‌کند.

این مقادیر در شرایط مشابهی همچون بسترهاي عميق و بسترهاي افقی با پشت بند ذغال کک نیز قابل مشاهده می‌باشد. گزارشات بیشتر نشان می‌دهد که پس از گذشت چند سال مقاومت زمین بسترهاي آندی برای آندهای پلاتینایزه شده بک فیل دار سیر صعودی فاحشی پیدا می‌کند. گزارش شده است که این امر برای آندهای چاهی و بسترهاي زمینی نیز صادق است.

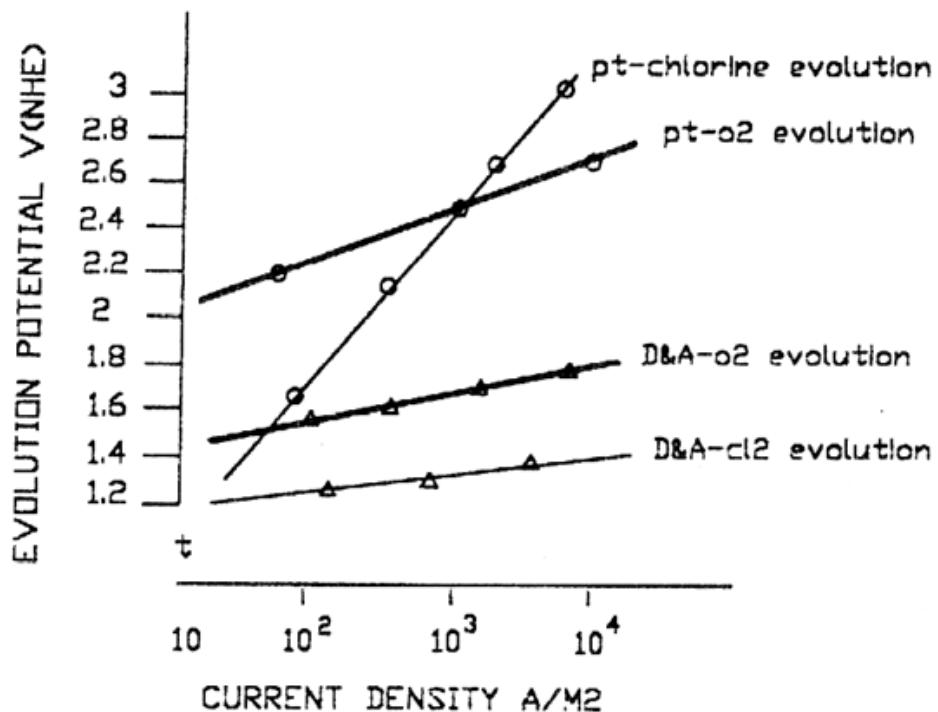
آندهای اکسید فلزی مخلوط (MMO)

آندهای MMO شامل پوشش‌های فعال الکترو-کاتالیستی بر روی یک پایه تیتانیوم هستند. پوشش‌های اکسید فلزی شدیداً هادی بوده و میزان مصرف جرم خیلی کمی دارند (کمتر از یک میلی گرم آمپر سال) و این وقتی است که عنوان یک آند در سیستمهای حافظت کاتدیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین این نوع آندها ارجحیت خاصی در عدم وابستگی به تشکیل یک فیلم محافظ در محیط خاک دارند. استفاده از این نوع آند در اوخر دهه ۱۹۶۰ به عنوان یکی از آندهای مورد مصرف در سیستمهای حافظت کاتدی به روش اعمال جریان گسترش پیدا کرده و آنها بطور وسیعی در عملیات‌های کلر - بازی (آلکالی) مورد استفاده قرار گرفتند. در ابتدا از این نوع آندها در سیستمهای حافظت کاتدی مورد مصرف در آب دریا استفاده می‌شد و به عنوان بستر آندی در کنار دریا نصب می‌گردیدند. کاربرهای اولیه این نوع آندها به دلیل غیرمحسوس بودن سرعت مصرف آنها که در اثر تشکیل فیلم اکسیدی روی سطح آند می‌باشد تا مدت‌های طولانی داشت. از اوایل دهه ۱۹۸۰ این نوع آندها در بسترها مدفون جهت حافظت کاتدیک مخازن و لوله‌کشی‌های مدفون مورد استفاده قرار گرفت. امروزه چندین هزار آند زیرزمینی که تا دهها هزار آمپر سال کارکرد بدون اشکال کار می‌کنند وجود دارند.

آندهای MMO شدیداً در برابر حمله اسیدی حتی در PH کمتر از یک مقاوم هستند. همانطوریکه قبلأً بحث شد این یکی از خصوصیت‌های بسیار مهمی است که بایستی یک آند مناسب مورد مصرف در بسترها مدفون داشته باشند. منحني‌های مقایسه‌ای پلاریزاسیون برای تیتانیوم پلاتینیزه شده و آند پوشش‌دار اکسید فلزی (MMO) در نمودار (۱) ارائه گردیده است. در آندهای MMO واکنش آندیک حتی در شدت جریان‌های بالا همراه با متصاعد شدن کلر می‌باشد. هرگونه واکنش ثانویه که باعث متصاعد شدن اکسیژن و افزایش میزان اسید می‌شود هیچ تاثیری روی پوشش اکسید فلزی بعلت مقاوم بودن در برابر اسید ندارد.

مشخصات اجرای بالای پوشش اکسید فلزی مخلوط فایده‌های بیشتری را در دسترس قرار می‌دهند. آند در برابر معکوس شدن جریان مقاوم است. پوشش حاوی امکاناتی در بارهای بالا از شدت جریان است که ممکن است برای پلاریزاسیون اولیه ساختار یا دخالت در سیستم ابیساط لازم باشد به علاوه پوشش از نظر شیمیایی دارای توانایی عملیات کردن در شدت جریانهای بالا مداوم اگر لازم باشد است. این امر به علت اینست که کاملاً اکسید شده است.

اینکار (اکسیداسیون) با حداقل تاثیر روی طول عمر آند از آنجاییکه واکنش آندی قالب متصاعد شدن کلر است می‌شود.



(نمودار ۱)

یک عدم بهره‌وری واقعی آندهای اکسید فلزی مخلوط روی تیتانیوم پلاتینیزه شده در کاربردهای در دمای پائین در آب دریا است. این بخاطر کلر متصاعد شده و تغییر هیدرات کلر به حالت جامد که باعث جرم گرفتگی آند می‌شود است. بنابراین اگر آند در حال عملکرد در خروجی بالا است یک شدت جریان خیلی بالا می‌تواند روی یک سطح آند احیا شده باعث از کارافتادگی شود.

کاربردها

آن德 MMO بطور موافقیت‌آمیزی برای سالهای متمادی در شرایط مختلف که مثال‌های نمونه آن در ضمیمه یک آمده است کارکرده‌اند.

نتیجه:

تعداد زیادی از آندها هستند که می‌توان برای کاربردهای زیرزمینی در حفاظت کاتدیک انتخاب کرد. یک آند اگر در یک محیط عملکرد خوبی دارد دلیل نمی‌شود که در محیط دیگر عملکرد مناسبی را نشان دهد. در تمرین‌های مهندسی دقیق نیاز به این هست که ما محیطی را که قرار است آند در آن قرار گیرد آزمایش نمائیم و واکنش قالب آندیک را در نظر بگیریم و اجرای مواد آندی مختلف را تحت شرایط مشابه برآورد کنیم و بهترین انتخاب مهندسی و اقتصادی را برای کاربرد خاص انجام دهیم.

جدول ۱ (آندهای گرافیتی)

معایب	محاسن
- افزایش مصرف با متصاعد شدن اکسیژن	- اجرای خوب و مناسب
- فرسایش تدریجی ناشی از جریان آب	- شدت مصرف خیلی پائین در استفاده با پرکننده‌ها و شرایط خشک
- بسیار ترد و شکننده	
- دارای خلل و فرج	- صرفه اقتصادی
- سنگین و حجمی	

جدول ۲ (آندهای سیلیکونی کروم دار)

معایب	محاسن
- عملکرد ضعیف در مقابل سولفاتها	- عملکرد مناسب در پشت بند کک
- عملکرد ضعیف در شرایط مرطوب	- عملکرد مناسب در شرایط مرطوب
- بسیار ترد و شکننده	- قابل نصب بدون پشت بند
- سنگین و حجمی	- مقاوم در برابر اسید

جدول ۳ (آندهای با پایه سرب)

معایب	محاسن
- میزان مصرف بالا	- کارایی مطلوب در آب دریا
- سنگین و متراکم	- سهولت در ریخته‌گری و ماشین کاری

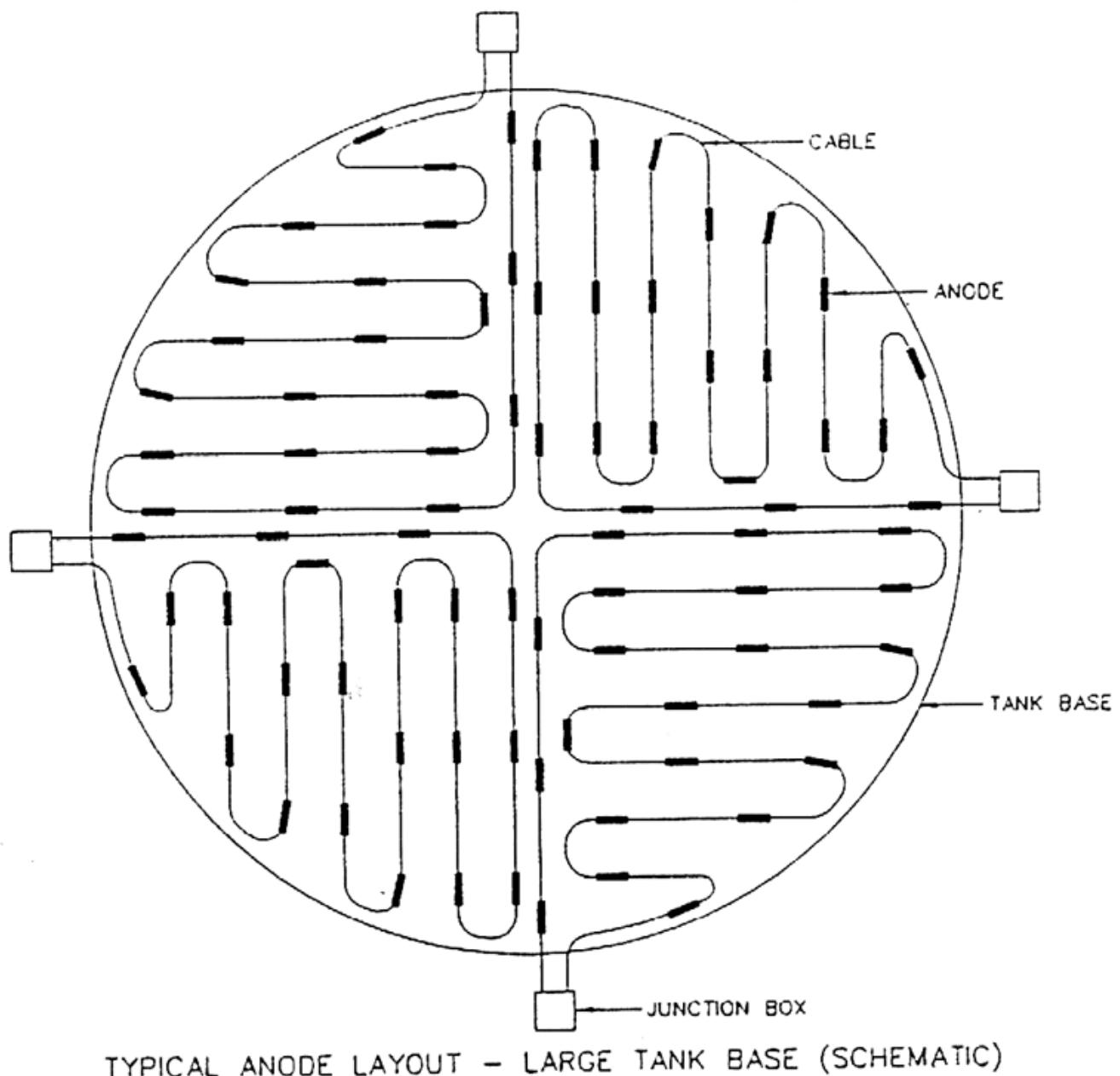
جدول ۴ (نیوبیوم - تیتانیوم پلاتینایزه شده)

معایب	محاسن
- عملکرد ضعیف در حضور اکسیژن متتصاعد شده	- عملکرد مناسب در حضور کلرین متتصاعد شده
- نامناسب برای بسترها مدفون	- کارکرد تایید شده در آب دریا
- عدم امکان بالا رفتن و لتاژ شکست	- وزن سبک در اندازه‌های متفاوت
- در معرض حمله موجهای با فرکانس پایین	- عملکرد مناسب در درجه حرارت‌های پائین
- خوردنگی بالا در بسترها عمیق	
- عدم امکان پوشش با گل و لای	

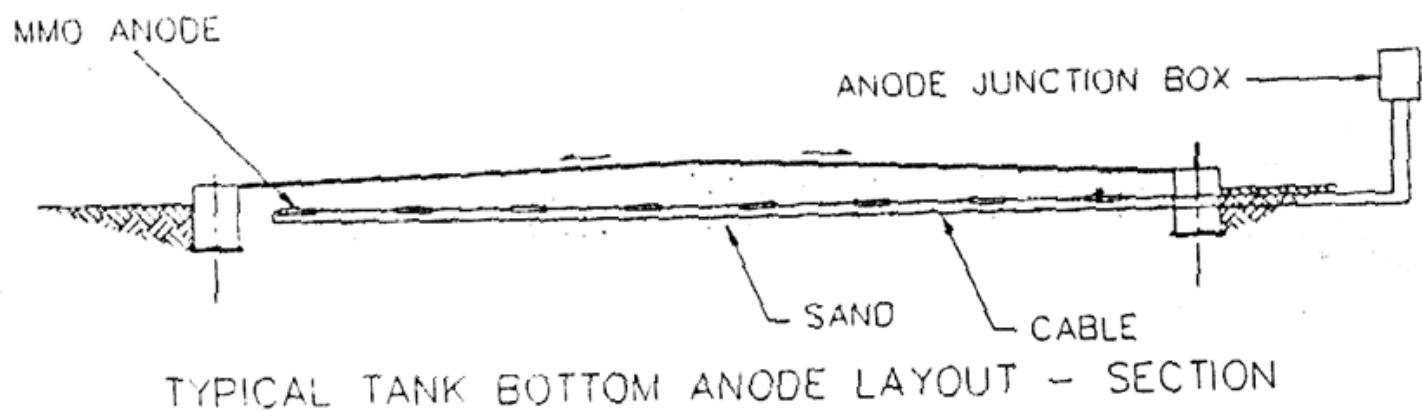
جدول ۵ (آندهای اکسید فلزی مخلوط *MMO*)

معایب	محاسن
- کاربرد محدود در درجه حرارت پائین	<ul style="list-style-type: none"> - سطح کاملاً اکسیدی - سرعت مصرف و فرسایش کم - حساسیت کم در مقابل موج AC (نسبت به تیتانیوم پلاتینایزه) - مقاوم در برابر اسید - حساسیت کمتر و لتاژی (نسبت به تیتانیوم پلاتینایزه) - سطح سخت‌تر نسبت به آندهای پلاتینایزه (خرابی کمتر مکانیکی) - سبک و آسان برای ساخت و حمل و نقل - اتصال مطمئن‌تر کابل

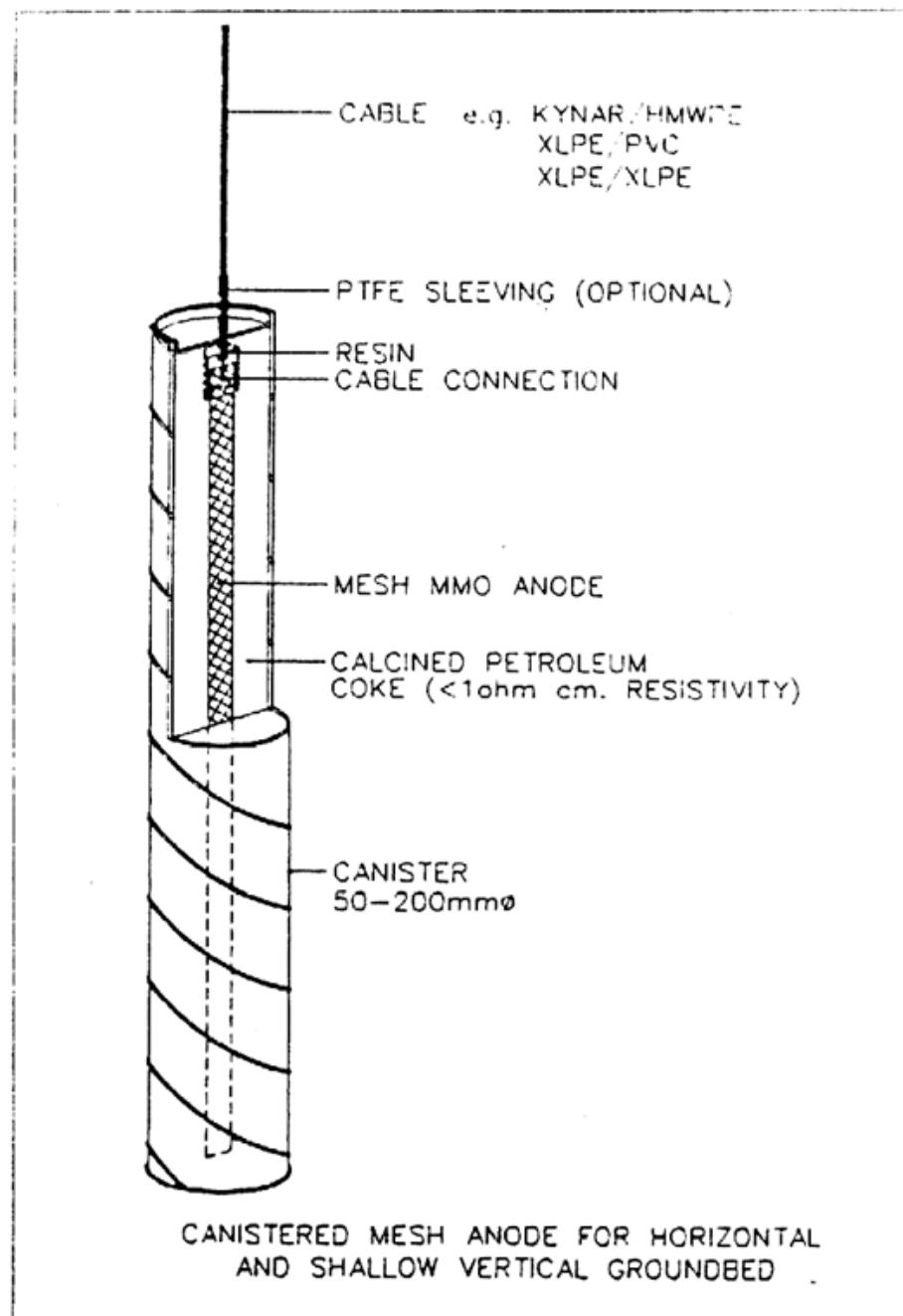
کاربردهای مختلف آندهای MMO در صنایع



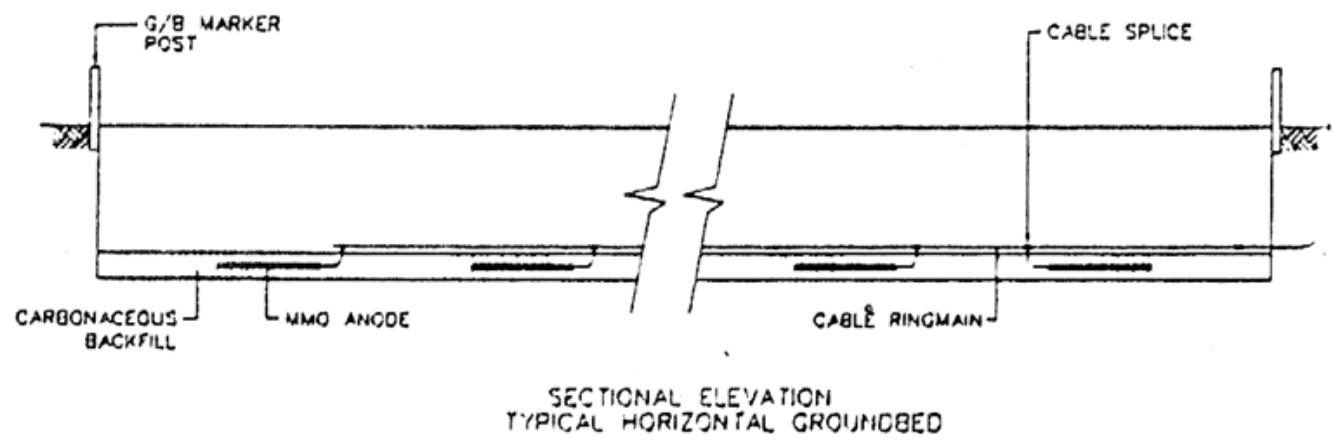
شکل (۱) استفاده از آندهای MMO در کف مخازن ذخیره سازی



شکل (۲) مقطعي از نحوه استقرار آندهای MMO در کف مخازن ذخیره سازی



شکل (۳) ساختار داخلی آندهای MMO و نحوه استقرار از آنها در بسترهاى عمودی



شکل (۴) نحوه استقرار آندهای MMO در بسترها افقی