بسم الله الرحمن الرحيم

٤٨٦٩٨

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

بررسی تاثیر عناصر آلیاژی برخواص الکتروشیمیایی آندهای فداشونده آلومینیومی

از اطلاعات و ارتباطات ایران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خوردگی و حفاظت مواد

مجید اولیایی نژاد

۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

استاد راهنما

دکتر احمد ساعت چی

۸۶۹۸ ۸ ۴

۱۳۸۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

پایان نامه کارشناسی‌ارشد رشته خوردگی آقای مجید اولیایی‌نژاد

تحت عنوان:

بررسی تأثیر عناصر آلیاژی بر خواص الکتروشیمیایی آندهای فداشونده آلومینیمی

در تاریخ ۸۱/۱۱/۱۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب قرار گرفت.

۱ ـ استاد راهنمای پایان‌نامه : دکتر احمد ساعتچی

۲ ـ استاد مشاور پایان‌نامه: دکتر محمدعلی گلعذار

۳ ـ استاد داور ۱: دکتر چنگیز دهقانیان

۴ ـ استاد داور ۲: دکتر محمدحسین فتحی

۵ ـ مسئول تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر احمد ساعتچی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات ،
ابتکـارات و نوآوریهـای ناشـی از تحقیـق
موضوع این پایان نامه (رسـاله) متعلـق بـه
دانشگاه صنعتی اصفهان است .

تقدیم به تمام کسانی که دوستشان دارم ،

مخصوصا همسر عزیزم که با صبر و شکیبایی

خود در تمام مراحل پروژه مرا یاری نمود .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- تعریف حفاظت کاتدی	۲
۱-۲- تاریخچه حفاظت کاتدی و آندهای فداشونده	۳
۱-۳- حفاظت کاتدی سازه های دریایی	۵
فصل دوم : مروری بر منابع	۸
۲-۱- آندهای فداشونده	۹
۲-۲- کاربرد آندهای فداشونده	۱۰
۲-۳- راندمان و ظرفیت جریان آند	۱۰
۲-٤- انواع آندهای فدا شونده	۱۱
۲-٤-۱- آندهای فداشونده منیزیمی	۱۱
۲-٤-۲- آندهای فدا شونده روی	۱۳
۲-٤-۳- آندهای فداشونده آلومینیومی	۱٤
۲-۵- تأثیر ناخالصی ها بر روی خواص الکتروشیمیایی آندهای فداشونده	۱٤
۲-٦- شکل آند	۱٦
۲-۷- تأثیر عناصر آلیاژی بر آندهای فداشونده آلومینیوم	۱۷
۲-۷-۱- اثر روی	۱۹
۲-۷-۲- اثر ایندیم	۲۱
۲-۷-۳- اثر جیوه	۲۳
۲-۷-٤- اثر قلع	۲۵
۲-۷-۵- اثر گالیم	۲۷
۲-۷-٦- تأثیر منیزیم	۳۰

عنوان | صفحه

۲-۷-۷- تأثیر تیتانیم ۳۳
۲-۷-۸- تأثیر کادمیم ۳۵
۲-۸-۹- اثر آهن ۳۵
۲-۷-۱۰- اثر نیکل و مس ۳۶
۲-۷-۱۱- اثر سیلیسیم ۳۶
۲-۷-۱۲- اثر منگنز ۳۶
۲-۷-۱۳- اثر بیسموت ۳۶
۲-۷-۱٤- اثر لیتیم ۳۷
۲-۷-۱۵- اثر کلسیم ۳۸
۲-۷-۱٦- اثر توام منیزیم و روی بر روی آندهای آلومینیومی ۳۹
۲-۸- تاثیر عوامل متالورژیکی بر خواص آندهای آلومینیومی ٤۰
۲-۸-۱- تأثیر شرایط ریخته گری ٤۰
۲-۸-۲- تأثیر روش تولید آند ۵۱
۲-۸-۳- تاثیر عملیات حرارتی ۵۲
۲-۹- تاثیر شرایط محیطی ۵۵

فصل سوم : روش آزمایش ۵۸
۳-۱- تهیه مواد اولیه ٦۰
۳-۲- انجام عملیات ریخته گری و آلیاژسازی جهت تولید نمونه های مورد نیاز... ٦۱
۳-۳- آزمایش تعیین راندمان ٦۲
۳-٤- آزمایش پتانسیو استات ٦٦
۳-۵- تست سرعت خوردگی و پتانسیل مدار باز آند ٦۷
۳-٦- آزمایش متالوگرافی ٦۸
۳-۷- تصاویر SEM و آنالیز EDX ٦۸

عنوان	صفحه

فصل چهارم : نتایج ٦٩

٤-١- آنالیز شیمیائی ٧٠

٤-٢- خواص الکتروشیمیائی ٧١

٤-٢-١- آزمایش پلاریزاسیون ٧١

٤-٢-٢- آزمایش پتانسیل مدار باز ٧٦

٤-٣- تصاویر متالوگرافی ٧٩

٤-٤- تصاویر SEM ٨٦

٤-٥- آنالیز عنصری با تکنیک توزیع انرژی پرتو ایکس EDX ٨٩

فصل پنجم : تحلیل نتایج ٩٥

٥-١- بررسی راندمان و ظرفیت جریان آند..... ٩٦

٥-٢- بررسی سرعت خوردگی ٩٨

٥-٣- بررسی منحنی های پلاریزاسیون ٩٩

٥-٤- بررسی نتایج پتانسیل مدار باز و مدار بسته..... ١٠١

٥-٥- بررسی منحنی های پتانسیل ـ زمان ١٠٢

٥-٦- بررسی نتایج تصاویر متالوگرافی و آنالیز EDX ١٠٤

٥-٧- بررسی تصاویر SEM ١٠٥

نتیجه گیری..... ١٠٧

مراجع..... ١٠٨

چکیده

یکی از جمله آندهای فداشونده مورد استفاده در صنعت ، آند آلومینیومی است که به دلیل داشتن نیروی محرکه زیاد و فراوانی ، در محیط های دریایی جهت حفاظت کاتدی سازه ها بکار می رود. در این آند ، آلومینیوم خالص به دلیل ایجاد لایه پاسیو بر روی سطح و در نتیجه کاهش کارایی آند ، به تنهایی بکار نمی رود. بدین منظور از عناصری نظیر جیوه ، ایندیم و قلع به عنوان عناصر آلیاژی پاسیوزدا به آند اضافه می گردد . همچنین عناصر دیگری نیز مانند منیزیم ، منگنز ، تیتانیم ، کادمیم ، کلسیم و بیسموت جهت بهبود خواص الکتروشیمیایی به آند اضافه می گردد.

در این پروژه به دلیل اهمیت موضوع ، تاثیر تیتانیم وکادمیم به صورت مجزا وتوام بر روی آند مورد مطالعه قرار گرفت. و آزمایشهای راندمان ، سرعت خوردگی ، پتانسیل مدار باز، متالوگرافی، آنالیز EDAX و SEM انجام گردید. تیتانیم به عنوان جوانه زا به صورت Al-Ti-B افزوده شد و کادمیم نیز به صورت خالص مورد استفاده قرار گرفت. و مشخص گردید تیتانیم باعث یکنواخت شدن ساختار گردیده و سبب افزایش راندمان و منفی تر شدن پتانسیل می شود. همچنین کادمیم نیز باعث کاسته شدن لایه پاسیو شده و موجب می شود که سطح بیشتری در معرض محیط قرار گیرد. افزایش توام ۰/۰۲ درصد کادمیم و تیتانیم (درصد بهینه) باعث افزایش راندمان آند از ۸٤ درصد به ۹٤ درصد ، کاهش سرعت خوردگی از mpy ۱۱۳ به mpy ٤٥ و منفی تر شدن پتانسیل از ۱۰۸٤- میلی ولت به ۱۲۸۳- میلی ولت می شود و در نتیجه باعث بهبود خواص الکتروشیمیایی در آندهای آلومینیومی می گردد.

فصل اول

مقدمه

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تعریف حفاظت کاتدی

حفاظت کاتدی یک روش جلوگیری از خوردگی است که بر اساس کنترل واکنش آندی و کاتدی و به کمک تشکیل پیل گالوانیکی انجام می گیرد. در این پیل، سازه در کاتد قرار می گیرد و از خورده شدن آن جلوگیری می شود. در واقع با اعمال الکترون بر روی سازه ، واکنش کاتدی رخ داده و با ایجاد لایه پلاریزاسیون پوشش محافظی روی سطح ایجاد می کند.

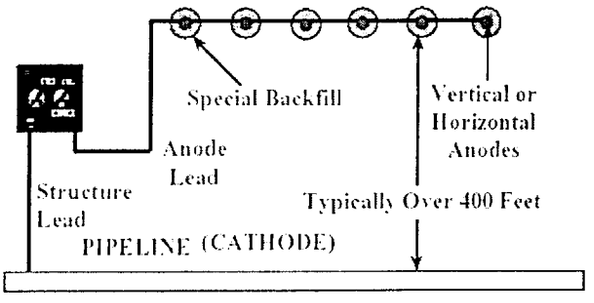
دو نوع سیستم حفاظت کاتدی وجود دارد : آند فدا شونده[1] و اعمال جریانی[2]

در سیستم آند فدا شونده از فلزی استفاده می شود که از لحاظ الکتروشیمیایی دارای پتانسیل منفی تری نسبت به سازه می باشد و عمدتا از منیزیم، روی و آلومینیوم استفاده می شود و بر اساس شرایط ، یکی

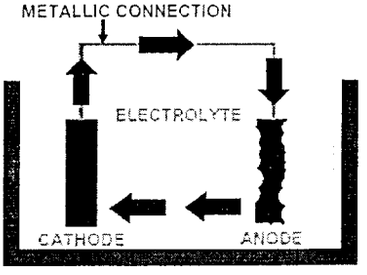
---

1 anode
2. Impress current

از این آلیاژها انتخاب می شوند .در سیستم اعمال جریانی از یک ترانس رکتیفایر به عنوان منبع جریان استفاده می گردد. در اینجا از آندهای کمکی استفاده می گردد که سرعت خورده شدن آنها کمتر از آندهای فدا شونده است. از جمله می توان به آندهای فروسیلیکون، سرب و تیتانیم اشاره کرد. در شکل ۱-۱ می توان به طور ساده شماتیک سیستم حفاظت کاتدی هر دو نوع سیستم را مشاهده نمود [۱] .



الف



ب

شکل ۱-۱ : شماتیک ساده از سیستم حفاظت کاتدی[۱]

الف- سیستم اعمال جریان

ب- سیستم آند فداشونده

۱-۲- تاریچه حفاظت کاتدی و آندهای فدا شونده

حفاظت کاتدی اولین بار توسط سر هومفری [1] در دهه ۱۸۲۰ میلادی برای کنترل خوردگی در کشتیهای نیروی دریایی انگلیس مطرح شد. در دهه ۱۹۳۰ م. در آمریکا ، حفاظت کاتدی به صورت عمومی

1.Humphery

درآمد و در کنترل خوردگی لوله های انتقال هیدروکربنها (نفت و گاز) مورد استفاده قرار گرفت. با توسعه کاربرد حفاظت کاتدی ، این روش در کنترل خوردگی تأسیسات ساحلی و خطوط فولادی مدفون نیز به کار رفت [۱] .

در سال ۱۹۵٦ م. رهمن [1] از شرکت رینولز متال با اضافه کردن ۵ درصد روی به آلومینیوم آن را به عنوان آند فدا شونده به کار برد. راندمان این آند ۵۳/٦ درصد و ظرفیت جریان آن Ahr/Kg ۱۵۹۵ بدست آمد.در سال ۱۹٦۱ میلادی با اضافه کردن ۳/۵ درصد روی و ۰/۰۵-۰/۰۰۸ درصد ایندیم ظرفیت جریان به Ah/Kg ۲۳٦۵ رسید. در همان زمان آلیاژ با ترکیب ۰/۰۵ -۸ ۰/۰۰ درصد ایندیم، ۰/۲-۰/۰۵ درصد قلع و ۹-۳/۵ درصد روی نیز ساخته شد. نتایج بدست آمده نشان داده است که این آلیاژ باید تحت عملیات انحلالی قرار گرفته تا بتواند خواص مطلوب را ارائه نماید[۲] .

در سال ۱۹٦۳ در ژاپن از عنصر کادمیم نیز استفاده شد. در همین زمان کاربرد آند آلومینیوم حاوی جیوه نیز در فرانسه و امریکا توسعه یافت. در سال ۱۹٦٦ ردینگ [2] و نیوپرت [3] بر تأثیر عناصر آلیاژی بر روی آند آلومینیومی تحقیق کردند و متوجه شدند که عناصر افزودنی به آلومینیوم شامل جیوه ، گالیم ، ایندیم ، بیسموت ، کادمیم و باریم باعث منفی تر شدن پتانسیل می شوند و نیز بعضی از عناصر مانند مس و آهن باعث مثبت تر شدن پتانسیل می گردند. البته آقای ساکانو [4] بیان کرد که در آند آلومینیومی مقدار کمی آهن مفید خواهد بود. ولی مس باید کمتر از ۰/۰۱۹ درصد باشد . همچنین به تازگی آقای ربول [5] و همکارانش تحقیقاتی را درمورد تأثیر عملیات حرارتی بر روی آند Al-Zn-In انجام داده اند[۲] .

---

1. Rohman
2. Reding
3. New port
4. Sakano
5. Rebol

۱-۳- حفاظت کاتدی سازه های دریایی

جهت جلوگیری از خوردگی شیمیایی و خوردگی های مکانیکی از جمله خوردگی تنشی، خستگی و سایشی نیاز است تا سازه های دریایی تحت حفاظت کاتدی قرار گیرند . بنابراین حفاظت کاتدی باید طوری اعمال گردد که پتانسیل حفاظتی بر روی کل سازه اعمال شود و تمام نقاط جوش و اتصالات که حساسیت زیادتری دارند را بپوشاند. در طراحی سیستم حفاظت کاتدی سازه های دریایی معمولا موارد ذیل در نظر گرفته می شود : [۳]

الف- انتخاب مواد مناسب ، مهمترین قسمت در طراحی سازه های دریایی انتخاب مواد مناسب برای جلوگیری از خوردگی است .

ب- انتخاب روش مناسب نصب که باید مطابق استانداردهای بین المللی باشد .

ج- انتخاب و طراحی سیستم حفاظت کاتدی مقرون به صرفه

د- حصول اطمینان از طول عمر در نظر گرفته شده برروی سازه

هـ- انتخاب حداقل جریان برای جلوگیری از جریانهای سرگردان

و- بررسی اثرات احتمالی جریان سرگردان بر روی دیگر سازه ها

پتانسیل مورد نیاز برای حفاظت سازه های دریایی در حالت هوادهی شده و بدون حضور باکتریهای SRB و حالت هوا دهی نشده در جدول ۱-۱ مشاهده می شود.

جدول ۱-۱ : پتانسیل حفاظت سازه های دریایی[۳]

فلز	الکترود مرجع		
فولاد در محیط هوادهی شده	Cu/CuSO4(V)	Ag/AgCl(V)	Zinc(V)
محدوده مثبت	-۰/۸۵	-۰/۸۵	+۰/۲۵
محدوده منفی	-۱/۱۰	-۱/۰۵	+۰/۰۰
فولاد در محیط هوادهی شده محدوده مثبت	-۰/۹۵	-۰/۹۰	+۰/۱۵
محدوده منفی	-۱/۱۰	-۱/۰۵	+ ۰/۰۰

دانسیته جریان مورد نیاز برای حفاظت سازه های دریایی وابستگی به سرعت آب و میزان اکسیژن محلول در آب دارد. در جدول ۱-۲ می توان این دانسیته جریان ها را با توجه به شرایط محیطی مشاهده نمود .

جدول ۱-۲- دانسیته جریان مورد نیاز سازه های دریایی[۳]

دانسیته جریان (mA/m2)	نرخ خوردگی (mpy)	سرعت خطی (m/s)
۱۰۲	۰/۱۲	۰/۰
۱۱۸	۰/۱۳۸	۰/۳
۱۲۳	۰/۱٤٤	۰/٤
۱۳۳	۰/۱٥٦	۰/٦
۱٥۳	۰/۱۸۰	۱