تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۹/۳۰

بررسی تاثیر افزودن عناصر آلیاژی در تولید بهینه آندهای فداشونده آلومینیمی

مهدی امیدی[۱]، اکبر منتظری[۲]، مسعود کثیری[۳]

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۱– مربی ۲– کارشناس ارشد ۳– استادیار

چکیده

در این تحقیق تأثیرعناصر آلیاژی منگنز و منیزیم بر خواص الکتروشیمیایی آند فداشونده Al-Zn-In مورد پژوهش قرار گرفته است. نمونه هایی از آلیاژ پایه با مقادیر مختلف منگنز ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی و مقادیر متفاوت منیزیم ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد وزنی در دمای مذاب ۷۵۰ درجه سانتیگراد و دمای قالب ۲۵ درجه سانتیگراد مهیا گردیدند. عملکرد خواص الکتروشیمیایی آندها مانند آزمایش‌های ظرفیت جریان، تعیین پتانسیل و پلاریزاسیون بررسی گردید و بهترین بازدهی (راندمان) با توجه به ظرفیت جریان بدست آمد. نتایج حاصله نشان داد که افزودن ۰/۱۵ درصد منگنز و ۲ درصد منیزیم به آلیاژ پایه باعث افزایش راندمان تا حدود ۸۳ درصد می شود، تحت این شرایط انحلال آندی (خوردگی و مصرف آند) نیز به صورت یکنواخت خواهد بود.

کلمات کلیدی: آلومینیم، روی، ایندیم، آند فداشونده، منگنز، منیزیم، ظرفیت جریان.

مقدمه

آندهای آلومینیمی از جمله آندهای مورد استفاده در روش آندهای فداشونده می‌باشند که جهت حفاظت خطوط لوله قرار گرفته در کف دریا، بدنه کشتی‌ها و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آندها معمولاً از طریق ریخته‌گری در داخل قالب فلزی تولید می‌شوند.

از سیستم آندهای فداشونده می‌توان به عنوان یکی از موفق‌ترین روشها در سیستم‌های حفاظت کاتدی، به‌خصوص در سازه‌های دریایی و یا سازه‌های نزدیک دریا نام برد. آندهای مورد استفاده در حفاظت کاتدی اغلب بر پایهٔ آلومینیم می‌باشد. این آندها انواع مختلفی دارند که از طریق آلیاژسازی با Zn همراه با Hg، Sn و In از پسیو شدن آن در محیط آبی جلوگیری و به‌عنوان آند فداشونده استفاده می‌گردد [۱].

آند Al-Zn-In جزء پرمصرف‌ترین آندهای مورد استفاده در محیط‌های دریایی است [۲]. در این آندها افزودن عنصر روی (روی به‌صورت محلول جامد α وجود دارد) باعث منفی‌تر شدن پتانسیل آند و افزایش راندمان آن می‌گردد. عنصر ایندیم پتانسیل الکتروشیمیائی آند را منفی‌تر و مشکل مربوط به پسیو شدن آلومینیم را حذف می‌کند، در نتیجه باعث افزایش راندمان و ظرفیت جریان آند می‌شود.

روش ذوب،آلیاژسازی و ریخته‌گری بر نحوه عملکرد و ساختار فیزیکی آند تأثیر مستقیم دارد. ریخته‌گری باید طوری انجام

عهده دار مکاتبات: مهدی امیدی، m_omidi@iaun.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

شود که باعث جداسازی عناصر آلیاژی آند نشده در غیراینصورت تمایل آند به پسیو شدن را افزایش می‌دهد [۳]. منگنز بدون حضور آهن در آلومینیم، باعث افزایش پتانسیل در آند می‌شود ولی اگر آهن وجود داشته باشد، با تشکیل یک بین‌فلز Fe-Mn از خوردگی خودبخودی آند جلوگیری می‌گردد و راندمان افزایش می‌یابد [٤و٥]. بنابراین افزودن منگنز به آلیاژ Al-Zn-In باعث افزایش ظرفیت جریان و راندمان آندها می‌شود. علت این امر کاهش مکان‌های فعال بوده که به‌صورت پیل‌های موضعی عمل کرده و موجب افت راندمان و خواص آندها می‌شوند. منیزیم موجب ریز شدن دانه و کاهش انرژی سطحی آلومینیم شده از اینرو با افزایش منیزیم مقدار ظرفیت جریان افزایش می‌یابد [٦و٧] و هنگامی که به دو درصد می‌رسد، ماکزیمم راندمان حاصل می‌شود. برای فعال‌سازی آلومینیم، منفی‌ترکردن پتانسیل و افزایش راندمان می‌توان از عنصر منیزیم استفاده‌کرد. اضافه کردن منیزیم باعث کاهش پارامتر شبکه و انرژی سطحی می‌گردد. از این‌رو با افزایش این عنصر، مقدار ظرفیت جریان افزایش می‌یابد و هرچه انرژی سطحی کمتر و پتانسیل انحلال کمتر باشد ضخامت لایهٔ γ-Al_2O_3 و چسبندگی لایه به فلز کمتر می‌شود. با انحلال ایندیم در منیزیم، ایندیم توزیع بهتری در ساختار پیدا می‌کند که این امر باعث پایداری پتانسیل می‌شود. افزایش بیش از حد منیزیم به آلومینیم باعث بوجود آمدن ذرات Al_3Mg_2 می‌گردد که خاصیت آندی دارد و باعث کاهش ظرفیت می‌شود [۸]. با افزودن منیزیم انرژی سطحی کم می‌شود، بنابراین ضخامت لایهٔ اکسید آلومینیم کمتر شده و چسبندگی لایهٔ اکسید به سطح کاهش می‌یابد [۹و۱۰]. بنابراین انحلال لایهٔ اکسیدی راحت‌تر صورت می‌پذیرد. افزایش سرعت خوردگی و کاهش ظرفیت جریان آند بدلیل تجمع عناصر آلیاژی، بوجود آمدن نقاط کاتدی و خوردگی بین دانه‌ای می‌باشد. افزایش بیش از حد این عناصر باعث ایجاد ترکیبات بین‌فلزی و یا تجمع عناصر شده که دارای پتانسیل مثبت‌تری نسبت به زمینه می‌باشند. این ذرات باعث بوجود آمدن خوردگی خودبخودی شده، در نتیجه باعث کاهش ظرفیت جریان آند می‌شوند.

روش آزمایش

نمونه‌های ریخته‌گری با ذوب ۲۰۰ گرم آلومینیوم با خلوص ۹۹/۸ درصد در یک بوتهٔ گرافیتی تهیه گردید. برای ذوب کردن از یک کوره مقاومتی استفاده و کنترل دقیق دما توسط یک ترموکوپل نیکل– نیکل کروم انجام گرفت.

در این تحقیق نمونه‌هایی با ترکیب Al-5%Zn-0.02%In (ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد استفاده در جدول (۱) آمده است) و با درصدهای مختلف منگنز ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۳ در درجه حرارت مذاب ۷۵۰ درجه سانتیگراد و دمای قالب ۲۵ درجه سانتیگراد تهیه گردیدند. عنصر آلیاژی منگنز به صورت Al-20%Mn به داخل کوره (بوته) اضافه شد.

جدول (۱): آنالیز شیمیایی ترکیب آلیاژ Al-Zn-In

عناصر	Si	Fe	Cu	Ti	Pb	Zn	In	Al
درصد	۰/۰۸۸	۰/۱۵۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰٤۰	٤/۹۹٤	۰/۰۲۲	باقیمانده

همچنین نمونه‌هایی با همین ترکیب (Al-5%Zn-0.02%In) و با درصدهای مختلف منیزیم۰/۵، ۱ ، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ درصد وزنی ریخته‌گری گردید و خواص الکتروشیمیایی آن‌ها بررسی گردید. عنصر آلیاژی منیزیم به صورت آلیاژ Al-50%Mg به داخل کوره (بوته) اضافه شد.

پس از تهیه مذاب آلومینیم روی به صورت خالص و ایندیم به صورت آمیژان Al-5%In به مذاب اضافه شدند. برای ایجاد همگنی بیشتر در مذاب، برای مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگهداشته و پس از خارج نمودن بوته از کوره، برای مدت ۲۰ ثانیه آن را هم زده و نهایتاً ذوب‌ریزی درون قالب فلزی انجام گرفت.

Archive of SID
www.SID.ir

برای انجام تست‌های الکتروشیمیایی، آزمایش تعیین پتانسیل آند و آزمایش پلاریزاسیون بر روی نمونه‌ها صورت گرفت [۱].
نمونه‌های آندی در این آزمایش به شکل مکعبی با ابعاد ۲/۵×۲/۵×۲/۵ سانتیمتر می‌باشند. پیل‌های آزمایشی از جنس پلاستیکی بوده و در داخل آنها یک توری فلزی استوانه‌ای شکل قرار دارد و نقش کاتد را ایفا می‌کند.
پس از برپایی مدار فوق، دانسیته جریانی برابر ٤ mA/in^2 بر سطح نمونه‌ها اعمال می‌شود. پتانسیل آندها در زمانهای ۳ ، ۲٤، ۷۲ و ۳۳٦ ساعت نسبت به الکترود مرجع کالومل ثبت می‌شود. پس از گذشت ۹٦ ساعت اولیه، به مدت ۲٤ ساعت، توسط یک بورت گاز حاصله از آندها جمع‌آوری می‌شود. ظرفیت عملی آند(ظرفیت جریان) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{آمپر ساعت بر کیلوگرم} = C/W_{Al} \times ۱۰۰۰ \qquad (۱)$$

C = کل بار عبور کرده از سیستم، بر حسب آمپر ساعت
W_{Al} = کاهش وزن نمونه‌های آندی
میزان C به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C = 0.8443\Delta W_{cu}$$

که ΔW_{cu} افزایش وزن سیم مسی کولومتر در طول زمان آزمایش می‌باشد.
اگر یک کیلوگرم از آلومینیم بصورت الکتروشیمیائی حل شود، ۲۹۸۱/۵ آمپرساعت جریان جهت حفاظت سازه از خود اعمال می کند، بنابراین ظرفیت تئوری آند ۲۹۸۱/۵ آمپرساعت بر کیلوگرم می‌باشد [۲].
بنابراین راندمان آند عبارتست از [۳]:
(۲) ظرفیت جریان تئوری/ظرفیت جریان واقعی = راندمان (٪)
پتانسیل آند توسط یک ولت‌متر دیجیتال خوانده شده و این عمل در طی ١٤ روز آزمایش انجام گرفت .بررسی ساختاری نمونه‌ها به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM نوع Cam Scan مدل MV2300 انجام شد

نتایج و بحث

با توجه به جدول (۲) آند با ۰/۱۵ درصد منگنز دارای بیشترین ظرفیت جریان و آند فاقد عنصر منگنز دارای کمترین ظرفیت جریان می‌باشد. سایر آندها نیز از ظرفیت جریان مطلوب‌تری نسبت به آند بدون منگنز برخوردار می‌باشند.

جدول (۲): خواص الکتروشیمیائی آندهای آلومینیمی مورد آزمایش با درصدهای مختلف منگنز

شماره نمونه	میزان منگنز (wt.%)	نتایج		
		ظرفیت جریان ($Ah.Kg^{-1}$)	پتانسیل مدار باز (mV_{SCE})	راندمان آند (درصد)
آند مرجع	۰	۲۳۰۸/۷	-۱۰۷۹	۷۷/٤
۱	۰/۰۱	۲۳٤۷/۱	-۱۰۸۱	۷۸/۷
۲	۰/۰۵	۲۳۸۳/۳	-۱۰۹۰	۷۹/۹
۳	۰/۱	۲٤۳۹/۰	-۱۱۰۲	۸۱/۸
٤	۰/۱۵	۲٤۷۱/۷	-۱۱۰٦	۸۲/۹
۵	۰/۲	۲٤۲۹/۳	-۱۱۰۰	۸۱/۵
٦	۰/۳	۲۳۵۸/۰	-۱۰۸۵	۷۹/۱

مطابق با جدول (۳) افزودن منیزیم به آندهای پایه Al-Zn-In موجب افزایش ظرفیت جریان و متعاقب آن افزایش راندمان آندها می‌شود. بالاترین ظرفیت جریان با افزودن دو درصد منیزیم ایجاد می‌شود.

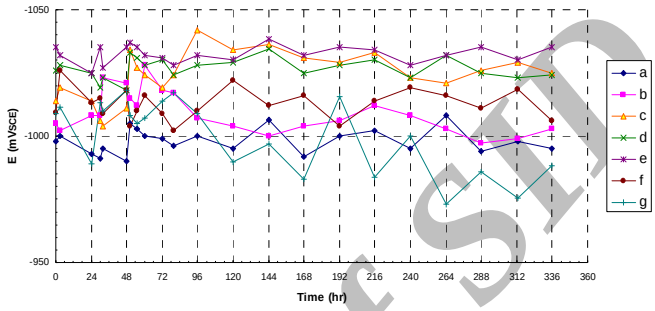
جدول (۳): خواص الکتروشیمیائی آندهای آلومینیمی مورد آزمایش با درصدهای مختلف منیزیم

شماره نمونه	میزان (Wt.%)	نتایج		
		ظرفیت جریان ($Ah.Kg^{-1}$)	پتانسیل مدار باز (mV_{SCE})	راندمان آند (درصد)
آند مرجع	۰	۲۳۰۸/۷	-۱۰۷۹	۷۷/٤
۱	۰/۵	۲۳٤۲/۰	-۱۰۸٦	۷۸/٦
۲	۱	۲۳۹۷/۵	-۱۰۹۵	۸۰/٤
۳	۱/۵	۲٤۵۰/۷	-۱۱۰۳	۸۲/۲
٤	۲	۲٤۸۳/۳	-۱۱۰۹	۸۳/۳
۵	۲/۵	۲٤۲۱/۱	-۱۰۹۸	۸۱/۲
٦	۳	۲۳۸۰/۲	-۱۰۹۲	۷۹/۸

با توجه به جداول (۲) و (۳) که مربوط به افزودن منگنز و منیزیم به آلیاژ پایه می‌باشد می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش بیش از حد عناصر آلیاژی سرعت خورده شدن آند افزایش و

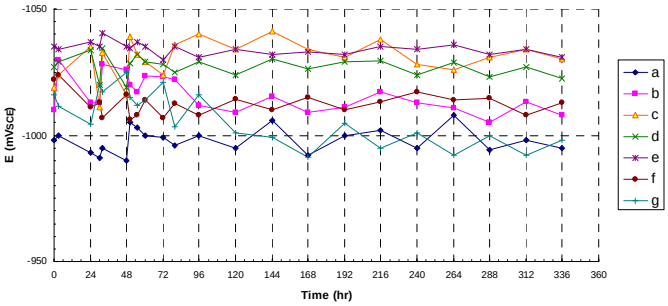
Archive of SID
www.SID.ir

ظرفیت جریان کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۱) مشاهده می‌شود که تغییرات پتانسیل آندها نسبت به زمان متفاوت است. به‌طوریکه در آند فاقد عنصر منگنز، تغییرات پتانسیل شدیدتر از سایر آندها می‌باشد. آندهای حاوی عنصر منگنز تا حدود ۰/۱۵ درصد، تغییرات پتانسیل کمتری نسبت به زمان داشته و این نشان دهندهٔ میزان پلاریزاسیون کم و سرعت خوردگی کمتر در آندهای فوق می‌باشد. همچنین در این حالت پایداری پتانسیل آندها در زمان اعمال جریان کاتد، بیشتر است. البته آند بدون منگنز، قادر به حفاظت سازه می‌باشد ولیکن تغییرات شدید پتانسیل آند می‌تواند در شرایط حاد و بحرانی مشکل‌ساز باشد. در این شکل مشاهده می‌شود که تغییرات پتانسیل آندها با افزایش عنصر آلیاژی منگنز تا حدود ۰/۱۵ نسبت به زمان کاهش یافته و از ثبات پتانسیل بهتری برخوردار می‌باشند.



شکل (۱): منحنی پتانسیل ـ زمان از نمونه‌های ریخته شده آلیاژ پایه با درصدهای مختلف منگنز:
(a) صفر (b) ۰/۰۱ (c) ۰/۰۵ (d) ۰/۱ (e) ۰/۱۵ (f) ۰/۲ (g) ۰/۳ درصدوزنی

با توجه به شکل (۲) می‌توان گفت که با افزودن منیزیم تغییرات پتانسیل نسبت به زمان کمتر شده و این تغییرات نسبتاً پایدارتر می‌شود. این تأثیر مرتبط با افزایش منیزیم می‌باشد به این‌گونه که ایندیم موجود در این آندها هیچ‌گونه محلول جامدی با آلومینیم و روی نمی‌سازد. ایندیم به طور غیرهمگن در مذاب آلیاژ Al-Zn-In پخش می‌شود و به این دلیل زمانیکه آلیاژ ذکر شده به‌عنوان آند فداشونده به‌کار می‌رود، نوساناتی در سطح حل شده ایجاد می‌گردد که این نوسانات موجب انحلال غیریکنواخت آند شده و باعث ناپایداری پتانسیل آندی در اثر گذشت زمان می‌شود [۱۱و۱۲]. منیزیم با ایندیم و آلومینیم یک محلول جامد ساخته و بر همین اساس در ذوب یک آلیاژ اگر مقادیر مناسبی از منیزیم افزوده شود، ایندیم در آلیاژ به‌طور یکنواخت توزیع می‌گردد. این توزیع یکنواخت ایندیم موجب انحلال آندی به‌صورت یکپارچه شده و در نهایت موجب پایداری پتانسیل می‌شود. با توجه به شکل مذکور می‌توان نتیجه گرفت که افزودن دو درصد منیزیم نسبت به نمونه‌های دیگر علاوه بر پتانسیل منفی‌تر، موجب پایداری بیشتر پتانسیل می‌شود.



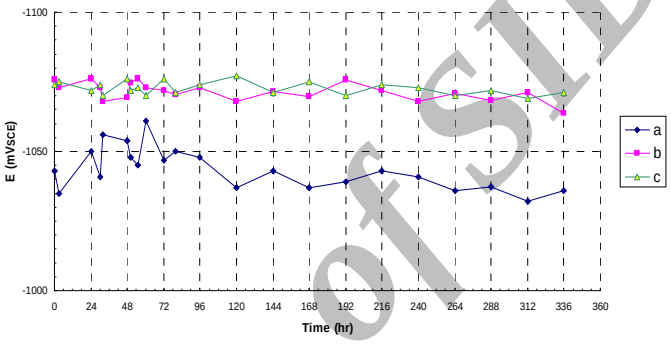
شکل (۲): منحنی پتانسیل ـ زمان از نمونه‌های ریخته شده آلیاژ پایه با درصدهای مختلف منیزیم:
(a) صفر (b) ۰/۵ (c) ۱ (d) ۱/۵ (e) ۲ (f) ۲/۵ (g) ۳ درصد وزنی

Archive of SID
www.SID.ir

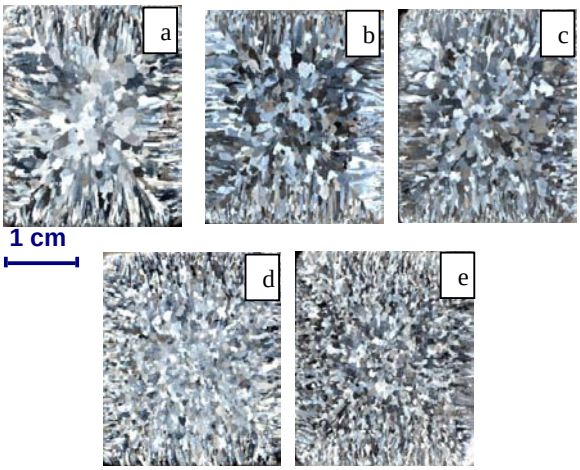
با مقایسه منحنی‌های پتانسیل – زمان در شکل‌های قبل با منحنی تغییرات پتانسیل در شکل (۳) مشاهده می‌گردد که افزودن منیزیم و منگنز با درصدهای مناسب به آند پایه موجب پایداری بیشتر پتانسیل و منفی‌تر شدن مقدار آن می‌شود. به‌نظر می‌رسد در این حالت به دلیل وجود منیزیم، علاوه بر توزیع یکنواخت ایندیم در زمینهٔ آلومینیمی، اصلاح ساختار و ریز شدن دانه‌ها، توزیع و پخش یکنواخت عناصر آلیاژی را نیز داریم و در نهایت موجب پایداری بیشتر پتانسیل و انتقال آن به مقادیر منفی‌تر می‌شود.

شکل (٤) نشان می‌دهد که با افزایش منگنز به علت کم بودن درصد منگنز، این عنصر تأثیر کمی روی اندازهٔ دانه دارد. بنابراین در مقادیر کم نقش جوانه‌زنی نمی‌تواند داشته باشد و فقط روی مهاجرت مرز دانه‌ای اثر می‌گذارد.

در شکل (٥) مشاهده می‌شود که با افزایش درصد منیزیم ساختار ستونی حذف شده و ساختار هم‌محور در حال ریز شدن است. در این حالت ساختار با دانه‌های هم‌محور ریز خواهیم داشت که برای آندهای مذکور مناسب می‌باشد.



شکل (۳): منحنی پتانسیل ـ زمان از نمونه‌های ریخته شده آلیاژ پایه در دمای ذوب ۷۵۰ درجه و دمای قالب ۲۵ درجه سانتیگراد با درصدهای مختلف منگنز و منیزیم: (a) صفر (b) ۰/۱۵ درصد وزنی منگنز (c) ۲ درصد منیزیم

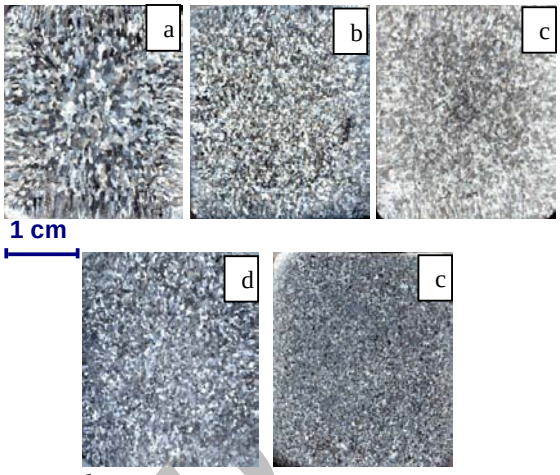


شکل(٤): ساختار ماکروسکوپی از نمونه های ریخته شده آلیاژ پایه با درصدهای مختلف منگنز:
(a) صفر (b) ۰/۰۵ (c) ۰/۱ (d) ۰/۱۵ (e) ۰/۲ درصد وزنی

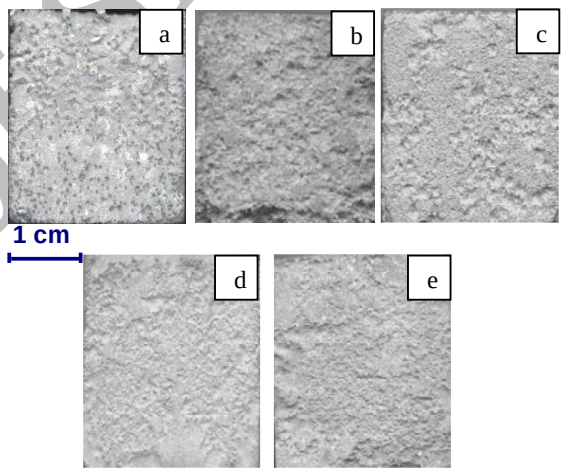
افزایش منیزیم باعث هم محور شدن ساختار نمونه‌ها می‌شود و با افزودن منیزیم (۲ درصد) ساختار ریزدانه‌تر و متراکم‌تر می‌گردد.که توزیع مناسب دانه‌ها و ریزدانه‌تر شدن آنها موجب خوردگی یکنواخت‌تر آندها، یکنواختی مورفولوژی حمله، بالا رفتن راندمان و افزایش پتانسیل کاری آند می‌شود. شکل‌های (٦) و (٧) تأثیر افزودن عناصر منگنز و منیزیم را به آلیاژ پایه پس از خوردگی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (٦) در آند با درصد مناسبی از منگنز (شکل ٦– د)، به علت کاهش مقدار سل‌های خوردگی موضعی، خوردگی یکنواخت‌تری مشاهده می‌شود. بدین صورت که افزودن عنصر منگنز و تبدیل ترکیبات بین‌فلزی مانند Al_3Fe به ترکیبات بین فلزی Fe-Mn مانند $Al_3(Fe, Mn)$ و کاهش خوردگی‌های داخلی پارازیتینگ در داخل و سطح آندها، میزان خوردگی‌های داخلی کاهش می‌یابد [٦]. همچنین خوردگی به‌صورت یکنواخت‌تر صورت می‌گیرد، در نتیجه باعث افزایش ظرفیت جریان نیز می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

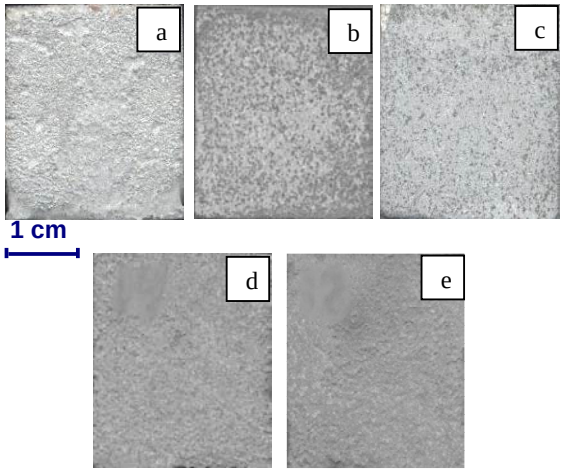


شکل (۵): ساختار ماکروسکوپی از نمونه های ریخته شده آلیاژ پایه با درصدهای مختلف منیزیم: (a) ۰/۵ (b) ۱ (c) ۱/۵ (d) ۲ (e) ۲/۵ درصد وزنی

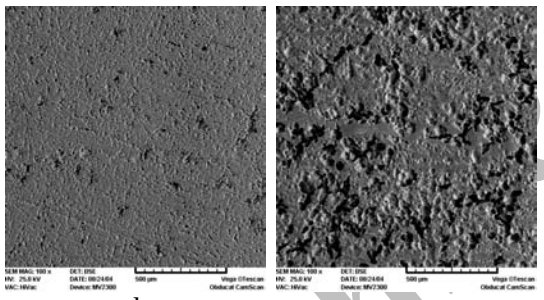


شکل (٦): ساختار ماکروسکوپی نمونه‌ها پس از آزمایش خوردگی با درصدهای مختلف منگنز: (a) صفر (b) ۰/۰۵ (c) ۰/۱ (d) ۰/۱۵ (e) ۰/۲ درصد وزنی

در این حالت نیز افزودن منیزیم به آند پایه موجب توزیع یکنواخت‌تر ایندیم در زمینهٔ آلومینیمی شده [۷و۱۳] و از خوردگی موضعی آند جلوگیری می‌شود. مشاهدهٔ ظاهری آندها نشان می‌دهد که آند با دو درصد منیزیم از خوردگی و حفره‌دار شدن یکنواخت‌تری برخوردار است (شکل ۷ – د). در شکل (۸) خوردگی یکنواخت‌تر آند، با افزودن منگنز دیده می‌شود. منگنز با آهن موجود در آلیاژ پایه ترکیب شده و با ایجاد ترکیبات بین‌فلزی Fe-Mn از اثرات مضر این عنصر می‌کاهد. افزودن منگنز باعث تبدیل ترکیبات بین‌فلزی حاوی آهن مثل Al_3Fe به فازهای مناسب‌تر حاوی منگنز مثل Al3FexMny و کاهش خوردگی‌های موضعی در داخل و سطح آندها، باعث افزایش راندمان نیز می‌شود [٦].



شکل (۷): ساختار ماکروسکوپی از نمونه هاپس از آزمایش خوردگی با درصدهای مختلف منیزیم: (a) ۰/۵ (b) ۱ (c) ۱/۵ (d) ۲ (e) ۲/۵ درصد وزنی

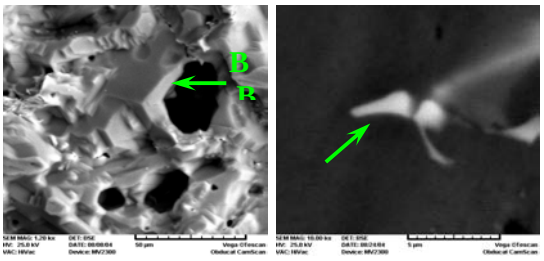


شکل (۸): تصویر میکروسکوپ الکترونی a– نمونه ریختگی در دمای محیط حاوی عنصر آهن b– نمونه ریختگی در دمای محیط حاوی ۰/۱۵ درصد منگنز

شکل (۹) تصویر میکوسکوپ الکترونی از نمونه حاوی درصد مناسبی از منیزیم را نشان می‌دهد. فاز ایجاد شده حاوی منیزیم می‌باشد (احتمالاً $Al_2Mg_xZn_y$). افزودن منیزیم موجب توزیع مناسب ایندیم در زمینه شده و از خوردگی موضعی جلوگیری می‌کند. علاوه بر این منیزیم باعث کاهش انرژی سطحی آلومینیم شده و هر چه انرژی سطحی کمتر باشد، ضخامت لایهٔ اکسید آلومینیم کاهش یافته و چسبندگی آن به سطح کمتر می‌شود. لذا انحلال لایهٔ اکسیدی راحت‌تر صورت می‌پذیرد. افزایش منیزیم به بیش از دو درصد موجب بوجود آمدن ذرات

Archive of SID
www.SID.ir

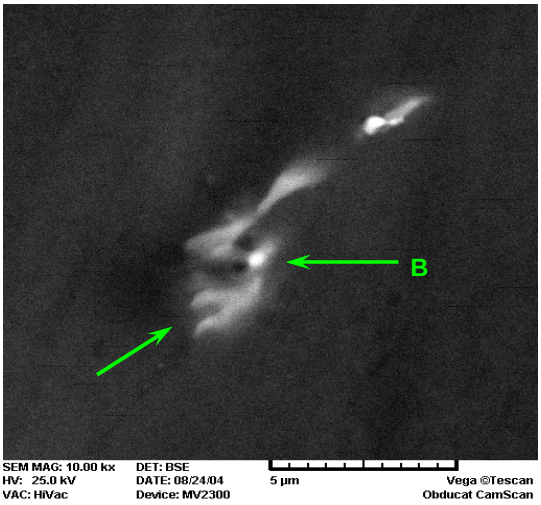
Al_3Mg_2 می‌گردد که خاصیت آندی داشته و باعث کاهش ظرفیت جریان می‌شود [۷و۸].



b a

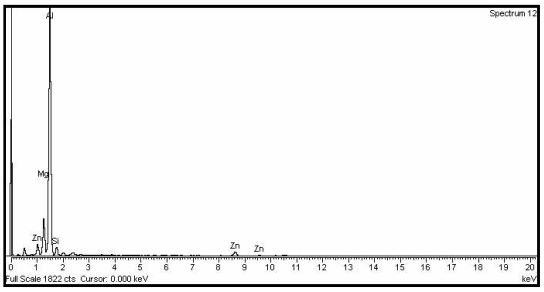
شکل (۹): تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریختگی در دمای محیط حاوی ۲ درصد منیزیم(Al-5%Zn-0.02%In-۲Mg) a– فاز تشکیل شده حاوی منیزیم b– فاز تشکیل شده حاوی منیزیم از نمونه زیاد اچ شده

شکل (۱۰) تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونهٔ حاوی دو درصد منیزیم و فاز ایجاد شده می‌باشد. نقطهٔ A بر اساس آنالیز نقطه‌ای شکل (۱۱) در تصویر فوق، نشان دهندهٔ فاز ایجاد شده توسط منیزیم است. در این شکل نقطهٔ B با توجه به آنالیز نقطه‌ای در شکل (۱۲) نشان دهندهٔ حضور عنصر ایندیم در کنار فاز ایجاد شده حاوی منیزیم می‌باشد.

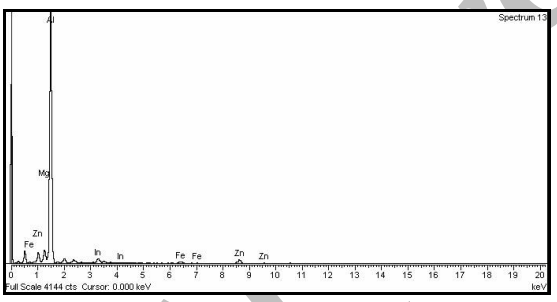


شکل (۱۰): تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه حاوی فاز منیزیم

با استفاده از درصد مناسب منیزیم همزمان با ایجاد ساختار یکنواخت، محصولات خوردگی نیز از روی سطح سریع‌تر پاک می‌شوند. این دو عامل باعث بوجود آمدن راندمان بیشتر می‌گردد. در تصویر میکروسکوپ نوری از این آند می‌توان یک ساختار با دانه‌های همگن مشاهده کرد. مطالعهٔ ساختار نمونه‌ها نشان داد که توزیع فازها، اندازه و شکل دانه‌ها و بعضی عیوب ریخته‌گری برروی خواص آندها اثر گذار است. انتخاب فوق گداز مناسب همراه با انتقال حرارت کم قالب و در نتیجه آهنگ انجماد کمتر، آندهایی با خواص الکتروشیمیائی مناسب‌تری ایجاد می‌کند. دمای بیش از حد مذاب نیز باعث اکسید شدن ایندیم و دیگر عناصر آلیاژی می‌شود و بدلیل وجود لایه‌های اکسیدی، خوردگی به‌صورت غیریکنواخت بوده و راندمان و ظرفیت جریان نیز ممکن است به این علت کاهش یابد.



شکل (۱۱): آنالیز نقطه ای از فاز تشکیل شده حاوی منیزیم (شکل ۱۱ نقطه A)



شکل(۱۲): آنالیز نقطه ای از فاز تشکیل شده حاوی منیزیم (شکل ۱۱ نقطهB)

نتیجه‌گیری

۱– افزایش ۰/۱ الی ۰/۱۵ درصد منگنز باعث افزایش ظرفیت جریان و راندمان آند Al-Zn-In و از طرف دیگر باعث کاهش سرعت خوردگی و سرعت مصرف آند شده که پارامتر مهمی در طراحی سیستم حفاظت کاتدی جهت حفاظت بهتر از سازه‌های دریایی می‌باشد.

۲– در دمای مناسب قالب و دمای ذوب ریزی بهینه (حدود ۷۵۰ درجه سانتیگراد) در صورت وجود منگنز به مقدار مناسب،

Archive of SID
www.SID.ir

توزیع مناسب فازها، در زمینه مشاهده می‌شود. این امر می‌تواند بدلیل مواردی چون انتقال حرارت کمتر قالب و حذف دانه‌های ستونی باشد.

۳– افزایش منیزیم به آند باعث افزایش راندمان می‌گردد. علت این امر می‌تواند مرتبط با کاهش پتانسیل کاری و انرژی سطحی آند باشد که در این حالت به‌نظر می‌رسد ضخامت لایهٔ γ-Al2O3 کمتر شده که کاهش چسبندگی لایهٔ اکسیدی را به همراه خواهد داشت.

٤– توزیع مناسب تر عناصر آلیاژی و خوردگی یکنواخت به علت درصد مناسب عناصر آلیاژی، دمای مناسب قالب و دمای بهینه ریخته گری، باعث افزایش کارآیی و طول عمر آندها می‌شود.

مراجع

1. "NACE Standard", TM0190-98, 1998.
2. Walmar C.P., "Lon-Term Performance of Aluminum Anodes in Sea water and Marine Soil", 1999 , Vol.13, P.1026.
3. Breslin C.B., Carroll W.M., Corrosion Sci., 1993, Vol.34, P.1099.
4. Salinas D.R., et al., "Influence of Alloying Elements and Microstructure of Aluminum Sacrificial Anode Performance: Case Al-Zn", J. Appl. Electrochem. , 1999, Vol. 29, P.1063.

۵– بدرخانی، امید، "بررسی اثر افزودن عنصر منگنز از دیدگاه الکتروشیمیائی برروی آندهای فداشونده تجاری Al-Zn-In جهت بالا بردن راندمان و افزایش ظرفیت جریان"، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، ۱۳۷۷.

6. Shreir L. L., Jarman R. A., Burstein G. T., "Corrosion Metal Environment Reactions", John Wiley, New York, 1994, p. 38-50.
7. Salinas D. R., Bessone J. B., Munoz A.G., "Electrochemical Behaviour of Al-5%Zn-0.1%Sn Sacrificial Anode in Aggressive Media: Influence of Its Alloying Elements and the Solidification Structure", Corrosion Science, 1991, Vol. 32, pp. 665-674.
8. Shibli S. M. A., Binoj K. K., "Development of MnO_2-incorporated high performance aluminum alloy matrix sacrificial anodes", Journal of Applied Electrochemistry, 2009, Vol. 39, pp. 159-166.
9. Barbucci A., Cerisola G., Cabot P., "Role of Intermetallics in theActivation of Al-Mg-Zn Alloys", Journal of Alloys and Compounds, 1998, Vol. 268, pp. 295-301.
10. Murai H., "Aluminum Alloy for Galvanic Anode", U. S. Patent, 1979, No. 4141725, pp. 3-8.
11. Venogupal A., Sram V., "Evidence of Dissolution-Redeposition Mechanism in Activation of Aluminium by Indium", British Corrosion Journal, 1996, Vol. 31, pp. 46-50.
12. Zazoua A., Azzouz N., "An investigation on the use of indium to increase dissolution of Al-Zn anodes in sea water", Materials and Design, 2008, Vol. 29, pp. 806-810.
13. Orozco R., Genesca J., Juarez-Islas J., "Effect of Mg content on the performance of Al-Zn-Mg sacrificial anodes", Journal of Materials Engineering and Performance, 2007, Vol. 16, pp. 229-235.

Archive of SID

www.SID.ir