

# تأثیر فوق ذوب و دمای قالب بر عملکرد آندهای ریختگی فداشونده آلومینیمی

مهدی امید<sup>۱</sup>، رضا ابراهیمی کهریز سنگی<sup>۲</sup>، بهروز شایق بروجنی<sup>۱</sup>، اکبر منتظری<sup>۳</sup> و یزدان مختاری<sup>۳</sup>

۱- مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۳- کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

M\_Omidi@iaun.ac.ir

## چکیده

در این تحقیق تأثیر درجه حرارت قالب و دمای ریخته‌گری بر خواص الکتروشیمیایی آند فداشونده Al-Zn-In مورد پژوهش قرار گرفته است. قالب در درجه حرارت‌های ۲۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد آماده ریخته‌گری و نمونه‌ها در دماهای ۶۷۰، ۷۱۰، ۷۵۰ و ۸۳۰ درجه سانتیگراد ریخته‌گری شده و جهت انجام آزمایشات الکتروشیمیایی 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 در زمینه تأثیر شرایط ریخته‌گری بر راندمان آندهای Al-Zn-In بهترین راندمان زمانی حاصل می‌شود که دمای قالب ۴۰۰ درجه سانتیگراد و دمای ذوب‌ریزی ۶۷۰ درجه سانتیگراد باشد. تحت این شرایط انحلال آندی (خوردگی و مصرف آند) نیز به صورت یکنواخت خواهد بود. مطالعه ساختار میکروسکوپی و ماکروسکوپی نمونه‌ها نیز نشان داد که توزیع فازها، اندازه و شکل دانه‌ها بر روی خواص آندها اثرگذار است. پایین بودن فوق‌گداز باعث افزایش سرعت سرد کردن و بیشتر شدن آهنگ انجماد شده و همراه با انتقال حرارت کم قالب، آندهایی با خواص الکتروشیمیایی مناسب‌تری ایجاد می‌کند.

## واژه‌های کلیدی:

آلومینیم، روی، ایندیم، شرایط ریخته‌گری، آند فداشونده، ظرفیت جریان.

## ۱- مقدمه

استفاده می‌شود. یکی از مهمترین و گسترده‌ترین این سیستم‌ها، سیستم حفاظت کاتدی می‌باشد. می‌توان از سیستم آندهای فداشونده، به‌عنوان یکی از موفق‌ترین روش‌ها در سیستم‌های حفاظت کاتدی، به خصوص در سازه‌های دریایی (Offshore Structure) و یا سازه‌های نزدیک دریا (Inshore Structure) نام

مسائل مربوط به خوردگی یکی از بزرگترین مشکلات در صنایع مختلف می‌باشد که هزینه‌های فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. در چند دهه اخیر، از سیستم‌های حفاظتی مختلفی جهت غلبه بر مشکل مذکور و کاهش هزینه‌های مربوط به خوردگی

پر.د.

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

عنصر	Si	Fe	Cu	Ti	Pb	Zn	In	Al
درصد	۰/۰۸۸	۰/۱۵۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۴۰	۴/۹۹۴	۰/۰۲۲	باقیمانده

در این تحقیق اثر مهمترین پارامترهای ریخته‌گری مثل ترکیب شیمیایی، فوق‌ذوب و دمای قالب بر خواص الکتروشیمیایی و عملکرد آند مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- روش تحقیق

آزمایشات مربوط به تهیه نمونه‌های ریخته‌گری با ذوب ۲۰۰ گرم آلومینیوم خالص تجاری (۹۹/۸ درصد) در بوته گرافیتی انجام شد. برای ذوب کردن از کوره مقاومتی استفاده گردید. کنترل دقیق دما ( $\pm 5$  درجه سانتیگراد) با یک ترموکوپل نیکل-نیکل کروم صورت گرفت.

در این تحقیق نمونه‌هایی با ترکیب  $\text{Al-5\%Zn-0.02\%In}$  و دمای مذاب ۶۷۰، ۷۱۰، ۷۵۰ و ۸۳۰ درجه سانتیگراد در قالب ریخته شد. ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد استفاده در جدول (۱) آمده است. آنالیز شیمیایی توسط دستگاه جذب اتمی انجام گردید.

برای تهیه آند با ترکیب فوق، Zn به صورت خالص و In به صورت آمیزان Al-In5 (Al-5%In) به آلومینیوم خالص تجاری اضافه شدند. آمیزان فوق به روش ریخته‌گری در اتمسفر خنثی و با ترکیب اسمی Al-5%In ساخته شد که بدلیل استفاده از این آمیزان، ترکیب شیمیایی مذاب بهتر کنترل شده، اتلاف عنصر آلیاژی کمتر بوده و انحلال آمیزان نسبت به فلز خالص در دمای پایین‌تری صورت می‌گرفت. بدین صورت که پس از تهیه مذاب آلومینیوم در دمای مورد نظر، عناصر آلیاژی روی و ایندیم به مذاب اضافه گردید و جهت ایجاد همگنی بیشتر در مذاب، برای مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگاه‌داشته و پس از خارج نمودن بوته از کوره، برای مدت ۲۰ ثانیه آن را هم زده و نهایتاً

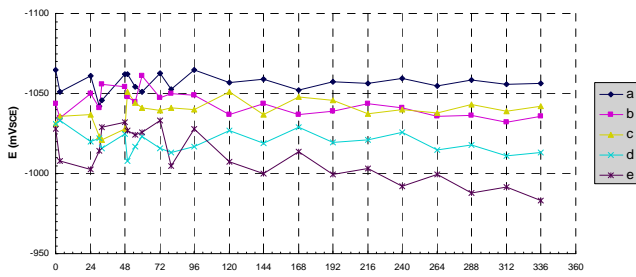
از آندهای مختلفی در حفاظت کاتدی سازه‌های دریایی استفاده می‌شود که اغلب بر پایه آلومینیوم بوده و روز به روز بر انواع آن افزوده می‌شود. این آندها انواع مختلف داشته ولی مهمترین آنها Galvalum I، Galvalum II و Galvalum III می‌باشند که به ترتیب از طریق آلیاژسازی با Zn همراه با Sn، Hg و In می‌توان از پسیو شدن آن در محیط آبی جلوگیری و در تأسیسات دریایی به عنوان آند فداشونده استفاده کرد [۱].

آندهای Al-Zn-In با ظرفیت جریان بالا (بیش از 2400Ah/Kg) جزء پرمصرف‌ترین و مطلوب‌ترین آندهای کاربردی در محیط‌های دریایی می‌باشند. در آندهای آلومینیومی افزودن عنصر روی (Zn) تا حدود 5wt.% باعث می‌شود که پتانسیل آند منفی‌تر و راندمان آن به بیشترین مقدار خود برسد، در این حالت روی به صورت محلول جامد  $\alpha$  وجود دارد [۱]. نقش عنصر ایندیم (In) در آلیاژ فوق، حذف مشکل مربوط به پسیو شدن آلومینیوم می‌باشد [۲].

علاوه بر خاصیت فوق، عنصر ایندیم پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تری داشته و دارای خوردگی ذاتی (Inherent Corrosion) کمتری می‌باشد. در نتیجه افزودن این عنصر آلیاژی باعث افزایش راندمان جریان آند نیز می‌شود. روش ریخته‌گری و آلیاژسازی می‌تواند بر روی کیفیت آندهای تولید شده اثر گذارد. بنابراین در تهیه آندهای فداشونده باید دقت شود تا ترکیب نهایی آند با مشخصات مورد نظر مطابقت داشته باشد. روش ریخته‌گری همچنین بر روی نحوه عملکرد و ساختار فیزیکی آند تأثیر مستقیم داشته و لذا ریخته‌گری باید طوری انجام شود که باعث جداسازی عناصر آلیاژی تشکیل دهنده آند نشود چون در این صورت امکان تمایل آند به پسیو شدن و یا احتمال خرد شدن مکانیکی آند، افزایش می‌یابد [۲].

ذوب‌ریزی درون قالب فلزی انجام گرفت.

اینچ (۲/۵×۲/۵×۲/۵ سانتیمتر) می‌باشند. پیل‌های آزمایشی از جنس پلاستیکی بوده و در داخل آنها یک توری فلزی (جنس



شکل (۲): نمودار پتانسیل- زمان (تغییرات پتانسیل) آلیاژ Al-5Zn-0.02In در دمای ذوب ۶۷۰ °C (a) ۴۰۰ °C (b) ۳۰۰ °C (c) ۲۰۰ °C (d) ۱۰۰ °C (e) ۲۵ °C.

فولادی بدون پوشش) استوانه‌ای شکل قرار دارد و نقش کاتد را ایفا می‌کند. پس از برپایی مدار فوق، دانسیته جریانی برابر  $4 \text{ mA/in}^2$  بر سطح نمونه‌ها اعمال می‌شود. پتانسیل آندها در زمان‌های ۳، ۲۴، ۷۲ و ۳۳۶ ساعت نسبت به الکتروود مرجع کالومل ثبت می‌شود. پس از گذشت ۹۶ ساعت اولیه، به مدت ۲۴ ساعت، توسط یک بورت گاز حاصله از آندها جمع‌آوری می‌شود. ظرفیت جریان و راندمان آند از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$a-(1) \quad C/W_{Al} = \text{آمپر ساعت بر کیلوگرم}$$

$C$  = کل بار عبور کرده از سیستم، بر حسب آمپر ساعت.

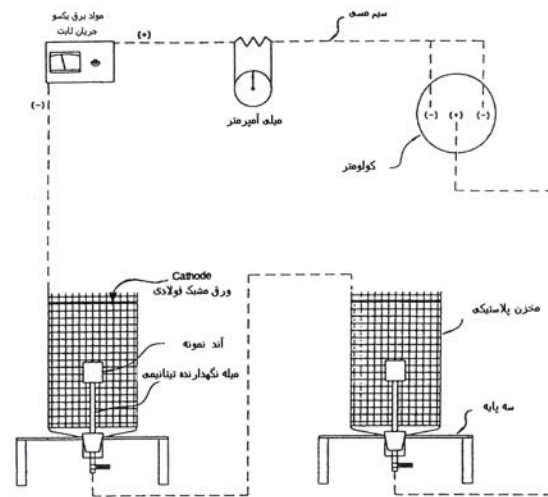
$$W_{Al} = \text{کاهش وزن نمونه‌های آندی}$$

در صورتی که از کولومتر دستی استفاده شود میزان  $C$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$b-(1) \quad C = 0.8443 \Delta W_{cu}$$

که  $\Delta W_{cu}$  افزایش وزن سیم مسی کولومتر در طول زمان آزمایش می‌باشد.

در تئوری با توجه به قانون فارادی، اگر یک اکی‌والان گرم از یک فلز برابر ۹۶۵۰۰ کولن، بار الکتریکی داشته‌باشد می‌توان محاسبه کرد که یک کیلوگرم از آلومینیم ظرفیتی برابر ۲۹۸۱/۵ آمپر ساعت خواهد داشت. به این مفهوم که اگر یک کیلوگرم از آلومینیم به طور کامل و بصورت الکتروشیمیایی حل شود، در این صورت ۲۹۸۱/۵ آمپر ساعت جریان جهت حفاظت سازه از



شکل (۱): طرح شماتیک دستگاه استاندارد NACE [۳].

دمای قالب نیز به ترتیب ۲۵، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد بود. جنس قالب در این سری آزمایشات، چدنی و جنس کف قالب، به منظور ایجاد شرایط انجماد جهت دار، مسی انتخاب گردید. برای انجام تست‌های الکتروشیمیایی، آزمایش استاندارد NACE، آزمایش تعیین پتانسیل آند و آزمایش پلاریزاسیون بر روی نمونه‌ها صورت گرفت [۳]. عنصر آلیاژی ایندیم، به علت بالا بودن دمای مذاب و وجود اکسیژن در محیط، اکسید می‌شود. برای رفع این مشکل می‌توان سرعت ذوب را افزایش داد و در صورت شدت اکسیداسیون و کاهش شدید مواد از فلاکس مناسب استفاده نمود.

### الف) آزمایش استاندارد NACE

این آزمایش استاندارد یک روش آزمایشگاهی جهت بررسی ظرفیت جریان و پتانسیل آندهای آلومینیومی جهت حفاظت کاتدی می‌باشد. این روش بر دو اصل استوار است. یکی تقلیل وزن و دیگری آزاد شدن هیدروژن از آندها. طرح روش به صورت شماتیک در شکل (۱) آمده است [۳].

نمونه‌های آندی در این آزمایش به شکل مکعبی با ابعاد  $1 \times 1 \times 1$

خود اعمال می‌کند. بنابراین ظرفیت تئوری آند ۲۹۸۱/۵ آمپر ساعت بر کیلوگرم، می‌باشد [۴].

جدول (۲): تأثیر شرایط ریخته‌گری (دمای قالب و دمای بار ریزی)

بر عملکرد آندهای Al-Zn-In.

شماره نمونه	دماهای مختلف (°C)		نتایج		
	دمای مذاب	دمای قالب	ظرفیت جریان (Ah.Kg <sup>-1</sup> )	پتانسیل مدار باز (mV <sub>SCE</sub> )	راندمان آند (درصد)
۱	۶۷۰	۲۵	۲۲۷۴/۴	-۱۰۶۷	۷۶/۳
۲	۷۱۰	۲۵	۲۲۹۰/۸	-۱۰۷۹	۷۶/۸
۳	۷۵۰	۲۵	۲۳۰۸/۷	-۱۰۷۴	۷۷/۴
۴	۷۹۰	۲۵	۲۲۵۸/۶	-۱۰۷۱	۷۵/۸
۵	۸۳۰	۲۵	۲۲۳۱/۵	-۱۰۶۳	۷۴/۸
۶	۶۷۰	۱۰۰	۲۳۴۹/۹	-۱۰۹۲	۷۸/۸
۷	۷۱۰	۱۰۰	۲۳۵۶/۶	-۱۰۹۹	۷۹/۰
۸	۷۵۰	۱۰۰	۲۳۴۲/۰	-۱۰۸۹	۷۸/۶
۹	۷۹۰	۱۰۰	۲۳۲۲/۴	-۱۰۸۴	۷۷/۹
۱۰	۸۳۰	۱۰۰	۲۳۰۵/۷	-۱۰۷۸	۷۷/۳
۱۱	۶۷۰	۲۰۰	۲۴۶۱/۶	-۱۱۰۶	۸۲/۶
۱۲	۷۱۰	۲۰۰	۲۴۶۹/۱	-۱۱۰۳	۸۲/۸
۱۳	۷۵۰	۲۰۰	۲۴۴۹/۰	-۱۰۹۴	۸۲/۱
۱۴	۷۹۰	۲۰۰	۲۴۳۸/۷	-۱۰۸۹	۸۱/۸
۱۵	۸۳۰	۲۰۰	۲۴۱۵/۶	-۱۰۸۳	۸۱/۰
۱۶	۶۷۰	۳۰۰	۲۵۶۸/۷	-۱۱۱۳	۸۶/۲
۱۷	۷۱۰	۳۰۰	۲۵۵۹/۳	-۱۱۰۷	۸۵/۸
۱۸	۷۵۰	۳۰۰	۲۵۵۲/۹	-۱۰۹۶	۸۵/۶
۱۹	۷۹۰	۳۰۰	۲۵۳۰/۵	-۱۰۹۲	۸۴/۹
۲۰	۸۳۰	۳۰۰	۲۵۱۸/۴	-۱۰۸۶	۸۴/۵
۲۱	۶۷۰	۴۰۰	۲۵۹۵/۹	-۱۱۳۱	۸۷/۱
۲۲	۷۱۰	۴۰۰	۲۵۷۸/۰	-۱۱۱۸	۸۶/۵
۲۳	۷۵۰	۴۰۰	۲۵۳۰/۳	-۱۱۰۵	۸۴/۹
۲۴	۷۹۰	۴۰۰	۲۵۱۵/۲	-۱۰۹۹	۸۴/۴
۲۵	۸۳۰	۴۰۰	۲۴۸۹/۳	-۱۰۹۴	۸۳/۵
۲۶	۶۷۰	۵۰۰	۲۵۲۱/۴	-۱۱۱۱	۸۴/۶
۲۷	۷۱۰	۵۰۰	۲۴۶۷/۶	-۱۱۰۲	۸۲/۸
۲۸	۷۵۰	۵۰۰	۲۴۰۱/۰	-۱۰۹۸	۸۰/۵
۲۹	۷۹۰	۵۰۰	۲۳۸۲/۲	-۱۰۹۳	۷۹/۹
۳۰	۸۳۰	۵۰۰	۲۳۳۸/۱	-۱۰۸۷	۷۸/۴

ولی در عمل ظرفیت جریان واقعی آندها کمتر از میزان تئوری آن برای آلومینیم می‌باشد، بنابراین راندمان آند عبارتست از [۵]  
(۲) ظرفیت جریان تئوری / ظرفیت جریان واقعی = راندمان آند (%)

### ب) آزمایش تعیین پتانسیل آند

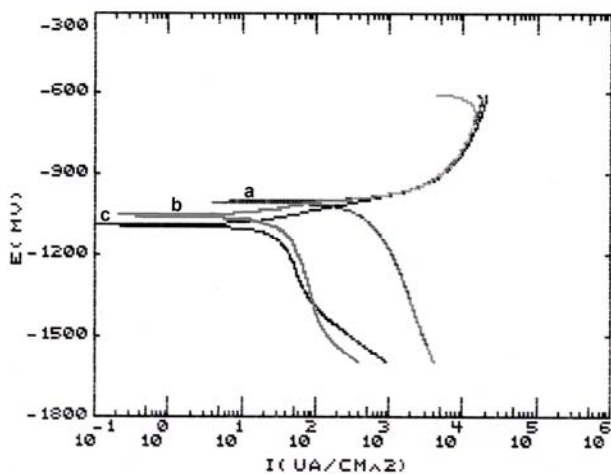
جهت تعیین پتانسیل آند، در آزمایش تعیین ظرفیت آند، دقیقاً پس از قرار دادن نمونه‌ها، پتانسیل آنها نسبت به الکتروود مرجع کالومل توسط یک ولت‌متر دیجیتال خوانده شده و این عمل هر روز، در طی ۱۴ روز آزمایش تحت دانسیته جریان  $4 \text{ mA/in}^2$  انجام گرفت [۶]. هدف از این آزمایش چگونگی تغییرات پتانسیل آند و پایداری یا ناپایداری آن می‌باشد.

### ج) آزمایش پلاریزاسیون

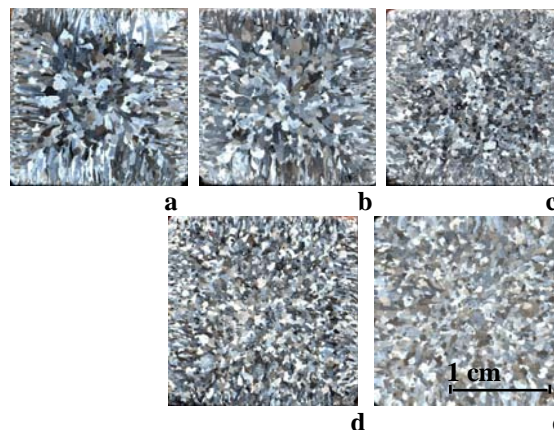
هدف از انجام این آزمایش رسم منحنی‌های E-Logi و بررسی رفتار آندها در پتانسیل‌های گوناگون می‌باشد. آزمایشات الکتروشیمیایی جهت حصول ویژگی‌های پلاریزاسیون آندهای مورد نظر توسط دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات، مدل EGG-M273A انجام شده‌است (دقت این دستگاه ۰/۱ mA و ۱ mV است). اطلاعات اولیه، مانند مساحت سطح مقطع نمونه، سرعت جاروب، نقطه شروع و خاتمه جاروب پتانسیل، توسط کاربر به دستگاه داده‌شد. سل آزمایش شامل الکترودهای کمکی، الکتروود کاری و الکتروود مرجع می‌باشد.

نتیجه حاصله به صورت منحنی E-Logi حاصل می‌شود [۶]. از این منحنی‌ها جهت تشخیص چگونگی رفتار خوردگی آندها در محیط آبی و وجود یا عدم وجود لایه اکسیدی روئین در سطح آندها استفاده می‌شود. در این آزمایش مساحت سطح مقطع نمونه‌ها  $2/5 \text{ Cm}^2$  و سرعت جاروب  $0/002 \text{ V/S}$  و محلول  $0/5 \text{ MNaCl}$  با  $\text{PH}=5$  جهت مقایسه نمونه‌های مختلف استفاده شد.

شکل (۲) آورده شده است.



شکل (۵): نمودار پلاریزاسیون آلیاژ Al-5Zn-0.02In در دمای قالب  $400^{\circ}\text{C}$  (a) و دماهای بارریزی: (a)  $750^{\circ}\text{C}$  (b)  $710^{\circ}\text{C}$  (c)  $670^{\circ}\text{C}$



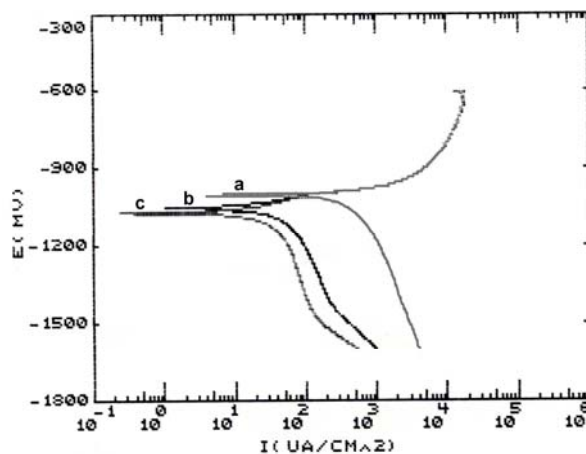
شکل (۳): ساختار میکروسکوپی آلیاژ Al-5Zn-0.02In در دمای  $670^{\circ}\text{C}$  و دماهای قالب: (a)  $25^{\circ}\text{C}$  (b)  $100^{\circ}\text{C}$  (c)  $200^{\circ}\text{C}$  (d)  $300^{\circ}\text{C}$  (e)  $400^{\circ}\text{C}$

با توجه به این شکل و نمودارهای مربوطه، دیده می‌شود که با افزایش درجه حرارت قالب از  $25^{\circ}\text{C}$ ،  $100^{\circ}\text{C}$ ،  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $300^{\circ}\text{C}$  پتانسیل آند بهتر شده و پایداری بهتری نیز دارد. حد حلالیت In در Al حدود  $0.17\%$  درصد است و اگر مقدار ایندیم از این حد تجاوز کند مابقی به صورت رسوب ظاهر می‌شود [۷].

اگر دمای مذاب به قدر کافی بالا باشد این مشکل (جدایش) کمتر پیش می‌آید، از طرفی دمای بیش از حد مذاب نیز باعث اکسید شدن ایندیم می‌شود و بدلیل وجود لایه‌های اکسیدی، خوردگی به صورت غیریکنواخت بوده و راندمان و ظرفیت جریان نیز ممکن است به این علت کاهش یابد، (جدول (۲)).

عنصر آلیاژی روی (Zn)، بدلیل فشار بخار بالا در دمای ذوب آلومینیوم امکان تبخیر دارد. در این حالت انتظار می‌رود که میزان اتلاف روی (Zn) بیشتر از مقدار اکسید شدن ایندیم باشد و تنها راه جلوگیری از آن پایین آوردن دمای ریخته‌گری و افزایش سرعت ریخته‌گری می‌باشد. در آلیاژهای Al-Zn روی تمایل به تجمع در مرزخانه‌ها و مناطق بین دندریتی دارد [۸].

در این حالت مقدار عنصر آلیاژی در دانه خیلی کم می‌شود.



شکل (۴): نمودار پلاریزاسیون آلیاژ Al-5Zn-0.02In در دمای ذوب  $670^{\circ}\text{C}$  و دماهای قالب: (a)  $25^{\circ}\text{C}$  (b)  $200^{\circ}\text{C}$  (c)  $400^{\circ}\text{C}$

### ۳- نتایج و مباحث

جدول (۲) نتایج حاصل از آزمایش استاندارد NACE مربوط به تأثیر دمای ریخته‌گری و دمای قالب می‌باشد. بر طبق این نتایج موقعی که دمای قالب  $400^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد و دمای ذوب‌ریزی  $670^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد باشد، راندمان و ظرفیت جریان بهتری خواهیم داشت.

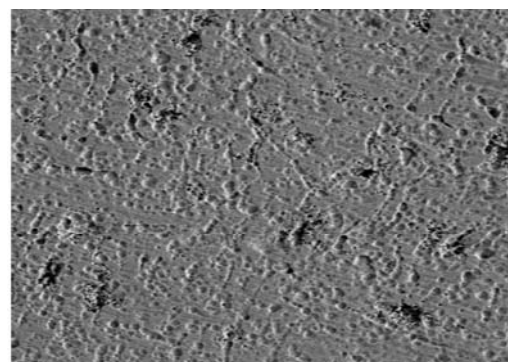
نتایج حاصله از آزمایش تعیین پتانسیل آند به صورت نمودار در

در صورت بالا بودن فوق گداز و پایین بودن دمای قالب با ایجاد ساختار ستونی در حین انجماد، روی تمایل به جدایش در مرزهای دانه‌ای و یا وسط قطعه داشته و در این مناطق پدیده اکتیواسیون و پلاریزاسیون اتفاق می‌افتد، که باعث منفی‌تر شدن پتانسیل شده و به علت خوردگی موضعی (localized Corrosion) راندمان عمل کاهش می‌یابد. به طور کلی از لحاظ تئوری خوردگی یکنواخت آند، بیشترین راندمان را خواهد داشت.

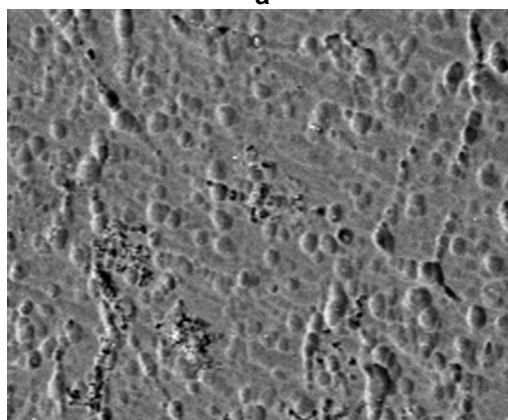
در دماهای نامناسب مقدار جدایش فازی و حفره‌های عمیق در مرز دانه وجود می‌آید و توزیع غیر یکنواخت عناصر آلیاژی باعث تغییرات پتانسیل الکتروشیمیایی می‌شود و به علت تغییرات ریزساختار تاثیر زیادی روی رفتار الکتروشیمیایی آند Al-Zn-In می‌گذارد. در دمای مناسب قالب (حدود  $400^{\circ}\text{C}$ ) و دمای ذوب ریزی بهینه (حدود  $670^{\circ}\text{C}$ ) به علت توزیع خوب فازها، پتانسیل به اندازه کافی منفی است. در اینجا راندمان در بهترین حالت قرار دارد و تحت این شرایط انحلال آندی نیز به صورت یکنواخت خواهد بود و راندمان بالاتری خواهیم داشت.

با توجه به ساختارهای میکروسکوپی شکل (۳)، در نمونه‌ها دیده می‌شود که در دماهای بالاتر قالب (تا  $400^{\circ}\text{C}$ ) به خاطر تشکیل ساختار یکنواخت (به علت انتقال حرارت کم قالب و در نتیجه آهنگ انجماد کمتر)، آندهایی با خواص الکتروشیمیایی بهتر ایجاد می‌کند (جدول (۲)). در این حالت منحنی پلاریزاسیون نیز مناسب‌تر خواهد بود (شکل‌های (۴) و (۵)) یعنی اینکه به خاطر شاخه کاتدی که به سمت جریان‌های خوردگی کمتری رفته است، قدرت پرتاب الکترون آند بیشتر بوده و در نتیجه کاتد بهتر محافظت خواهد شد.

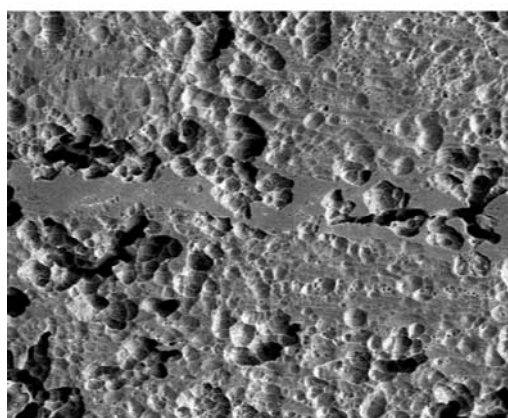
دمای بیش از حد مذاب نیز باعث اکسید شدن عناصر آلیاژی می‌شود و بدلیل وجود لایه‌های اکسیدی و افزایش تخلخل، خوردگی به صورت غیریکنواخت بوده (شکل (۶)) و ظرفیت جریان نیز ممکن است به این علت کاهش یافته باشد. روی (Zn) تمایل دارد در مرز دانه‌ها یا مناطق بین دندریتی تجمع کند [۸]، در پلاریزاسیون این تغییر موضعی ترکیب سبب تشکیل سل‌های



a



b



c

شکل (۶): ساختار میکروسکوپی آلیاژ Al-5Zn-0.02 In در دمای قالب  $400^{\circ}\text{C}$  و دمای بار ریزی  $750^{\circ}\text{C}$ : (a) پیت‌های بوجود آمده بعد از پلاریزاسیون (b) بعد از پلاریزاسیون با بزرگنمایی ۵۰۰ (c) بعد از پلاریزاسیون با بزرگنمایی

نحوه عملکرد آندهای Al-Zn-In داشته و در حالت بهینه باعث افزایش راندمان و ظرفیت جریان آند می‌شود.

۲- افزایش دمای قالب از بوجود آمدن ساختار ستونی جلوگیری کرده و در نتیجه راندمان آند (تا دمای ۴۰۰ °C) افزایش می‌یابد. همچنین افزایش دمای ریخته‌گری تا ۶۷۰ درجه سانتیگراد مطلوب خواهد بود و پس از گذشت از آن باعث افت شدید راندمان خواهد شد.

۳- توزیع مناسب‌تر عناصر آلیاژی و خوردگی یکنواخت به علت دمای مناسب قالب و دمای بهینه ریخته‌گری، باعث افزایش کارایی و طول عمر آندها می‌شود.

#### ۵- مراجع

- [1] Barbucci, A. and Cabot, P.L., "Role of Intermetallics in the Activation of Al-Mg-Zn Alloys", J. Alloys and compounds, Vol. 13, P.1075, 1998.
- [2] Bessone, J.B., "Sea Water testing of Al-Zn-In Sacrificial Anodes", Corrosion Sci, Vol. 88, P.453, 1981.
- [3] "NACE Standard", TM0190-98, 1998.
- [4] Durney, L.J., "Electro Plating Engineering FI and Book", 4<sup>th</sup> Edition Copy Writc, 1984.
- [5] Britton, J., "Quality Assurance for Offshore Aluminum Sacrificial Anodes", Material Processing, Oct, Vol.18, pp.85-97, 1993.
- [6] Walmar, C.P., "Lon-Term Performance of Aluminum Anodes in Sea water and Marine Soil", Vol. 13, P. 1026, 1999.
- [7] Breslin, C.B. and Carroll, W.M., Corrosion Sci, Vol. 34, P. 1099, 1993.
- [8] Salinas et al, D.R., "Influence of Alloying Elements and Microstructure of Aluminum Sacrificial Anode Performance: Case Al-Zn", J. Appl. Electrochem, Vol. 29, P. 1063, 1999.
- [9] Munoz et al, A.G., "corrosion of on Al-Zn-In Alloy in chloride Media", Corrosion Sci, Vol. 44, P. 2171, 2002.
- [10] Munoz, A.G., et al, Sci, C., Vol. 43, P.1245, 2001.
- [11] Venugopal, A. and Raja, V.S., "Evidence of Dissolution-Redeposit ion Mechanism in Activation of Aluminum by Indium", British Corr.J, Vol 31, P 318, 1996.

موضعی و شروع حملات خوردگی شده که نتیجه آن افت راندمان آند خواهد بود. مطالعه رفتار الکتروشیمیایی آلیاژ Al-Zn-In در محلول‌های کلرایدی نشان می‌دهد که شروع حملات خوردگی مرتبط با مناطق غنی از روی و ایندیم (مناطق بین دندریتی و مرز دانه‌ها) است. مونز (A.G.Munoz) پس از پلاریزاسیون این آلیاژ در پتانسیل 0.9V در محلول کلرایدی، نشان داد که حملات از مرز دانه‌ها شروع و از مناطق دندریتی به درون دانه‌ای گسترش می‌یابند [۹ و ۱۰].

ایندیم به عنوان فعال کننده به آلومینیوم اضافه می‌شود و توسط مکانیزم زیر روی سطح رسوب می‌کند [۱۱].



مکانیزم رسوب مجدد باعث از بین رفتن فیلم پسیو و در نتیجه فعالتر شدن آند می‌شود. ایندیم روی اکسید سطحی آلومینیوم رسوب و باعث فعال شدن آلومینیوم می‌شود. علاوه بر واکنش (۲) واکنش (۳) نیز برگشت‌پذیر بوده و در روی سطح رسوب می‌دهد.



در دماهای پایین‌تر ایندیم به صورت غیرهمگن در مذاب Al-Zn-In پخش می‌شود و در موقع قرارگیری این آلیاژ به عنوان آند فداشونده در محیط آبی نوساناتی در شرایط سطح حل شونده ایجاد می‌گردد. که این نوسانات موجب انحلال غیر یکنواخت آند شده و باعث ناپایداری پتانسیل آندی در اثر گذشت زمان می‌شود. در دمای قالب مناسب و دمای ذوب‌ریزی بهینه عناصر آلیاژی (به ویژه ایندیم) به طور یکنواخت در آلیاژ توزیع شده، موجب انحلال آندی یکنواخت و در نهایت افزایش ظرفیت جریان (جدول (۲))، پایداری پتانسیل شکل (۲)، بهبود عملکرد آند شکل‌های (۴) و (۵) و افزایش طول عمر آند خواهد شد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

۱- دمای قالب و دمای ریخته‌گری تأثیر مهمی در راندمان و

