



آلودگی‌زدایی سریع و کنترل‌پذیر آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ آلوده شده به مواد رادیواکتیو به روش اکسایش پالسی آندی

حمیدرضا معظمی^{ID}، میثاق قرقانی^{ID}، طاهر یوسفی^{ID}، محمدرضا پورجاوید^{ID}

پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۸۴۸۶، تهران- ایران

*Email: hmoazzami@aeoi.org.ir

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۹/۱۳ تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

چکیده

روش اکسایش پالسی آندی برای آلودگی‌زدایی آلومینیم ۷۰۷۵ استفاده شده است. این روش شامل استفاده از جریان الکتریکی با شدت بالا و زمان کوتاهی است که از طریق آن، اکسیدها و سایر آلودگی‌ها از سطح آلیاژ حذف می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که با تغییر این پارامترها شامل فرکانس، ولتاژ و زمان می‌توان به طور دقیق آلودگی‌زدایی و بهبود خواص مکانیکی و کیفیت سطح آلومینیم ۷۰۷۵ را کنترل کرد. در نتیجه، روش اکسایش پالسی آندی می‌تواند به عنوان یک روش سریع و کارآمد برای آلودگی‌زدایی و بهبود خواص آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ مورد استفاده قرار گیرد. این روش می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر و قابل اعتماد در صنایع مختلف خصوصاً صنایع هسته‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی‌زدایی، آلیاژهای آلومینیم، روش اکسایش آندی پالسی (الکتروپولیش)

Fast and controllable decontamination of 7075 aluminum alloy radioactive contaminated by anodic oxidation (electropolishing) method

H.R. Moazami*, M. Gharaghani, T. Yousefi, M.R. Pourjavid

Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran

Research Article

Received: 4.12.2023, Revised: 17.2.2024, Accepted: 5.3.2024

Abstract

The anodic pulse oxidation method has been utilized for the decontamination of 7075 aluminum. This method involves the application of high-intensity electric current for a short period, effectively removing oxides and other impurities from the alloy's surface. The results indicate that by adjusting parameters such as frequency, voltage, and time, precise control over decontamination can be achieved, leading to enhanced mechanical properties and surface quality of aluminum 7075. Consequently, the anodic pulse oxidation method proves to be a rapid and efficient technique for decontamination and property enhancement of aluminum alloys. This method can serve as a dependable and effective solution across various industries, particularly in nuclear industries.

Keywords: Decontamination, Aluminum alloys, Anodic oxidation method (electropolishing)



۱. مقدمه

افزایش روزافزون مصرف سوخت‌های فسیلی سبب تولید انواع آلاینده‌های خطرناک و سمی و انتشار آن در محیط زیست شده که نگرانی‌های جدی و مهمی را برای بشر به دنبال داشته است. سوخت هسته‌ای به دلیل تولید حجم بسیار کم گازهای گلخانه‌ای یکی از جایگزین‌های مهم سوخت‌های فسیلی است. یک نگرانی عمده در ارتباط با سوخت‌های هسته‌ای، اثرات مواد پرتوزا بر محیط زیست و سلامت کاربران تأسیسات هسته‌ای است. آلودگی به مواد پرتوزا ممکن است ناخواسته (به دلیل بروز حوادث غیرقابل پیش‌بینی) یا به دلیل کارکرد عادی تجهیزات مورد استفاده در تأسیسات هسته‌ای باشد. به عنوان مثال، در پایان عمر هر رآکتور هسته‌ای حجم بسیار زیادی از مواد ساختاری و تجهیزات مورد استفاده در رآکتور به مواد پرتوزا آلوده هستند [۱]. براین اساس، زدودن آلودگی‌های پرتوزا یک مرحله ضروری در هنگام برچینش رآکتورهای هسته‌ای است. آلودگی‌زدایی ممکن است برای دستیابی به چندین هدف مانند کاهش مواجهه شغلی، محدود کردن انتشار و جذب بالقوه مواد پرتوزا، اجازه استفاده مجدد از قطعات و تسهیل مدیریت پسماند مورد استفاده قرار گیرد. توسعه روش‌های مناسب جهت زدودن آلودگی‌های پرتوزا ضروری است [۲].

پژوهشگران روش‌های مختلفی را برای رفع و کاهش آلودگی قطعات فلزی آلوده به مواد پرتوزا بررسی کرده‌اند. روش‌های بکار گرفته شامل روش شیمیایی (شست‌وشو با مواد شیمیایی، عوامل کمپلکس‌دهنده مانند ترکیبات سیترات)، روش ذوب، روش اولتراسونیک، روش حرارتی و مکانیکی است [۳]. انتخاب روش آلودگی‌زدایی به نوع تأسیسات (نیروگاه، تأسیسات چرخه سوخت، تأسیسات تحقیقاتی)، نوع ایزوتوپ‌های موجود و خواص فیزیکی و شیمیایی قطعات بستگی دارد. در هنگام آلودگی‌زدایی معمولاً یک پسماند ثانویه تولید می‌شود که با توجه به روش مورد استفاده، این پسماند می‌تواند محلول شوی، کف، ذرات معلق، ذرات جامد و غبار حاصل از سمباده باشد [۴]. روش آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی به عنوان روشی مؤثر و کارآمد جهت رفع آلودگی هسته‌ای قطعات فلزی و مواد ساختاری که رفع آلودگی آنها با سایر روش‌ها مشکل است معرفی گردیده است [۵، ۶]. در این روش، سطح مورد نظر در حمام الکترولیت به عنوان آند قرار گرفته و با عبور جریان الکتریکی، یک لایه نازک از آن با اکسایش آندی برداشته می‌شود. این روش دارای مزیت‌هایی همچون پسماند تولید شده کم، سرعت بالا و بازده رفع آلودگی زیاد است. یکی دیگر از مزیت‌های روش آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی قابلیت آن برای رفع آلودگی سطوح غیرقابل دسترسی است که شست‌وشوی دقیق آنها با

روش‌های شیمیایی امکان‌پذیر نیست. در واقع، که این روش برای سطوح پرزدار و دارای خلل و فرج مؤثرتر از روش‌های شیمیایی است. در مقایسه با روش‌های شیمیایی، در روش‌های الکتروشیمیایی از واکنش‌گرهای ملایم با خوردنگی و سمیت کمتر استفاده می‌شود. همچنین در سایر روش‌ها برای افزایش سرعت رفع آلودگی و راندمان آلودگی‌زدایی باید از دمای بالا استفاده شود [۷].

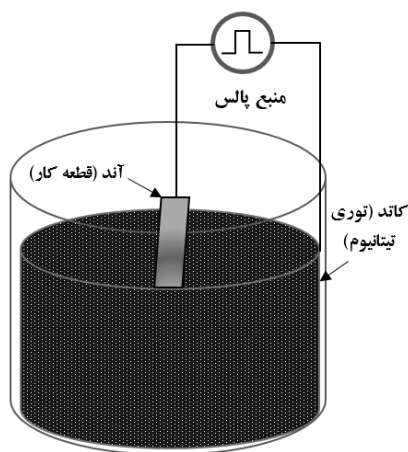
آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی دارای اساس مشابه با الکتروپولیش است. اولین بار ژاکت "نظریه فیلم چسبناک (ویسکوز)" را برای توصیف سازوکار حذف مواد در الکتروپولیش پیشنهاد داد. ژاکت فرض کرد که محصولات انحلال آندی منجر به تشکیل یک فیلم چسبناک روی قطعه می‌شوند. این فیلم به دلیل مقاومت الکتریکی بالا باعث کاهش چگالی جریان و در نتیجه کاهش سرعت حذف مواد می‌شود [۸]. لایه چسبناک در موقعیت دره نسبتاً ضخیم است و به دلیل مقاومت الکتریکی بالا و توزیع پتانسیل کم، انحلال مواد کند است. برعکس، فیلم چسبناک در موقعیت بیرون‌زدگی نازک است و به دلیل توزیع پتانسیل بالا، انحلال مواد سریع است. اختلاف توزیع پتانسیل در موقعیت‌های بیرون زده و دره، به دلیل نرخ‌های مختلف انحلال مواد، یک اثر هموارکننده روی سطح ایجاد می‌کند [۹].

این روش معمولاً در صنایع غیرهسته‌ای برای تهیه سطوح صاف و صیقلی و یکنواخت از آلیاژ یا فلز بکار برده می‌شود. استفاده از روش الکتروشیمیایی زمانی که سطح هادی یا قطعه آلوده شده به مواد رادیو اکتیو، آلیاژهای پایه آهن (شامل استیل ضدزنگ)، مس، سرب، آلومینیم و مولیبدن باشد خیلی مؤثر و کارآمد است.

آلومینیم و آلیاژهای آن به دلیل جلوه ظاهری و قابلیت ایجاد لایه اکسید متخلخل و رنگ‌پذیر بر سطح فلز، مقاومت به خوردگی بالا که در نتیجه لایه اکسیدی تشکیل شده در اثر واکنش با اتمسفر است، از جایگاه خاصی در کاربردهای صنعتی برخوردار هستند.

آلومینیم ۷۰۷۵ یکی از آلیاژهای مهم آلومینیم با آلیاژساز عمده روی است که در بسیاری از صنایع و بخش‌های مختلف استفاده می‌شود. این آلیاژ دارای چگالی کم، قابلیت ماشین‌کاری عالی، مقاومت بالا در برابر خمش و کشش است و در برخی از موارد می‌تواند به عنوان جایگزینی برای فولاد استفاده شود. مهم‌ترین کاربرد آلومینیم ۷۰۷۵ در صنعت هوا و فضا است. با این وجود، ویژگی‌های این آلیاژ آن را به یک گزینه مهم در صنایع خودروسازی، صنایع ورزشی و صنایع نظامی تبدیل کرده است. آلومینیم ۷۰۷۵ یک ماده مهم و پرکاربرد در صنایع هسته‌ای است. خواص مکانیکی مناسب و مقاومت این آلیاژ





شکل ۱. طرح‌واره دستگاه مورد استفاده برای آلودگی‌زدایی به روش پالسی.

۳. نتایج

۱.۳ تعیین فرکانس بهینه

برای تعیین فرکانس بهینه، دامنه پالس اعمالی در شش ولت تنظیم شد. آلودگی‌زدایی در فرکانس‌های متفاوت (فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ هرتز) انجام شد. نمونه در فواصل زمانی نمونه از الکترولیت خارج و پس از شست‌وشو و خشک کردن توزین شد. شکل ۲ کاهش ضخامت نمونه را به صورت تابعی از زمان برای ۱۰ تکرار مختلف نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۲، آلودگی‌زدایی در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز دارای بیشترین شیب کاهش ضخامت و میزان قابل قبولی از خطی $R^2=0.9922$ بودن است. همچنین، شکل ۳ شیب کاهش ضخامت قطعات را برای بازه زمانی ۶۰۰ ثانیه به صورت تابعی از فرکانس نشان می‌دهد.

براساس نتایج حاصل از شکل‌های ۲ و ۳ فرکانس ۱۰۰۰ هرتز به عنوان فرکانس بهینه برای آلودگی‌زدایی پالسی آندی انتخاب شد.

۲.۳ تعیین دامنه پالس بهینه

به منظور بهینه‌سازی دامنه پالس اعمالی، فرکانس ۱۰۰۰ هرتز به عنوان فرکانس بهینه انتخاب و ادامه آزمایش با دامنه پالس‌های مختلف (۱ تا ۶ ولت) انجام شد. شکل ۴ نمودار کاهش ضخامت را برای تکرارهای ۱ دقیقه‌ای نشان می‌دهد. هر نمونه تا تخریب و فروریختن یک نوار به ضخامت ۱ میلی‌متر، عرض ۱ cm و طول ۴ cm تحت انحلال آندی پالسی قرار گرفت.

نسبت به اکسایش به کاربرد آن در تجهیزات جداسازی مخلوط‌های گازی منجر شده است. روش‌های آنالیز واکنش هسته‌ای رزونانسی و پس‌پراکندگی رادرفورد نشان می‌دهند که این آلیاژ در محیط هگزافلورید اورانیوم و گاز فلوئور تا دمای 200°C مقاوم بوده و خواص خود را در طولانی‌مدت حفظ می‌کند [۱۰].

در این پژوهش روش اکسایش پالسی آندی برای آلودگی‌زدایی از سطح آلومینیم ۷۰۷۵ به عنوان یک روش سریع و کارآمد برای بهبود خواص این آلیاژ مورد استفاده قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ مواد

اسیدنیتریک (HNO_3)، اسیدپرکلریک (HClO_4) (۹۹٪) و اتانول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$) (۹۶٪) از شرکت مرک آلمان تهیه شد. قطعات آلومینیم (Al) برش داده شده در ابعاد ۱ در ۴ سانتی‌متر با ضخامت ۲ میلی‌متر بدون هیچ‌گونه آماده‌سازی سطح مورد استفاده قرار گرفت.

۲.۲ دستگاه‌های اندازه‌گیری و آنالیز

از یک دستگاه شمارش‌گر سوسوزن مایع ۱۲۲۰ Quantulus با سوسوزن تجاری ۳ Hisafe برای تعیین بهره آلودگی‌زدایی استفاده شد. مورفولوژی و ترکیب عنصری سطحی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل ۱۸ STOE EVO تعیین شد. آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی با استفاده از دستگاه منبع تغذیه آبکاری پالسی جلوه مدل $\text{K}20\text{A}6\text{V}$ انجام شد. برای طیف‌نگاری امپدانس الکتروشیمیایی از دستگاه پتانسیواستات مدل ۳۰۲ Autolab استفاده شد. تصاویر میکروسکوپی نوری با استفاده از میکروسکوپ Leitz مجهز به دوربین دیجیتال میکروسکوپی DCM۳۵ ثبت شد.

۳.۲ آماده‌سازی محلول

کلیه آزمایش‌های آلودگی‌زدایی در الکترولیت تازه تهیه شده اسیدپرکلریک و اتانول (۴:۱ حجمی) یا (۸۰٪ اسیدپرکلریک و ۲۰٪ اتانول حجمی) در حمام یخ در دمای صفر درجه سانتی‌گراد انجام شد.

شکل ۱ طرح‌واره سیستم مورد استفاده برای آلودگی‌زدایی به روش پالسی را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱، سیستم مورد استفاده شامل کاتد تیتانیوم با قطر ۶۵mm ضخامت ۱ mm و ارتفاع ۱۰ cm است. قطعه کار به عنوان قطب مثبت (آند) به منبع پالس متصل شد.

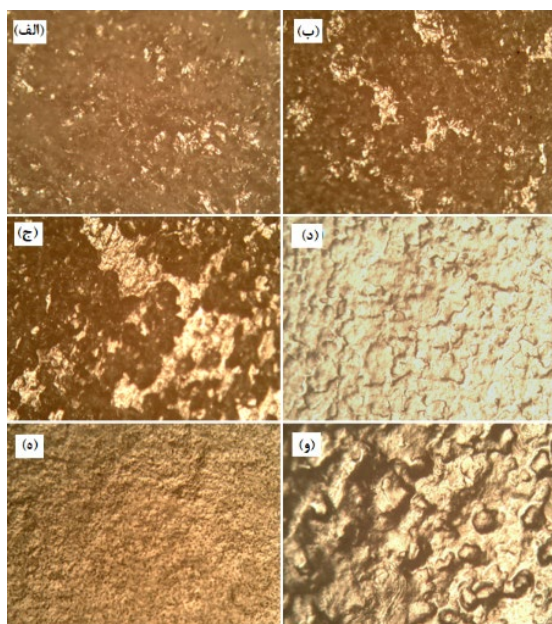


می‌دهد. چنان‌که دیده می‌شود، در نمونه‌های (الف) تا (ج)، اکسایش آندی از یک الگوی موضعی پیروی می‌کند. کسری از سطح که تحت انحلال آندی قرار گرفته به صورت نواحی روشن دیده می‌شوند و با افزایش دامنه پالس اعمالی این کسر سطحی افزایش می‌یابد. نمونه‌های (د) تا (و) از یک الگوی انحلال یکنواخت سطح پیروی می‌کند. براساس نتایج حاصل دامنه پالس ۵ ولت به عنوان دامنه پالس بهینه انتخاب شد.

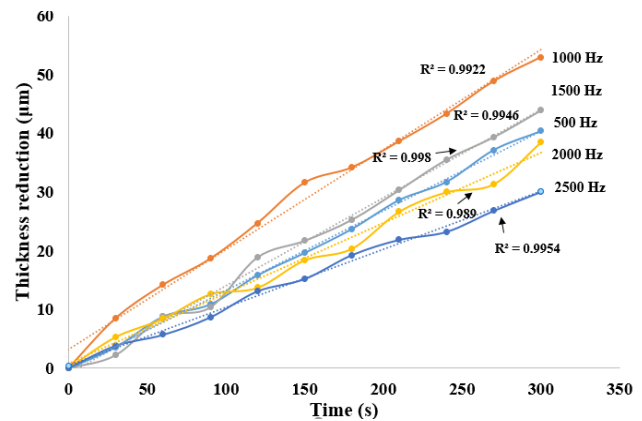
۳.۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی مورفولوژی سطحی نمونه‌ها از میکروسکوپی الکترونی روبشی استفاده شد. شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح را (الف) پیش و (ب) پس از انحلال آندی پالسی نشان می‌دهد. براساس تصاویر، انحلال آندی پالسی سبب هموار شدن سطح شده است. همچنین ترکیب عنصری سطح با استفاده از طیف نگاری اشعه ایکس انرژی تفکیک شده تعیین شد. شکل ۷ طیف اشعه ایکس انرژی تفکیک شده نمونه را (الف) پیش و (ب) پس از انحلال آندی پالسی نشان می‌دهد. مطابق شکل ۷، انحلال آندی پالسی باعث تغییر قابل مشاهده‌ای در اندازه پیک‌ها نشده است.

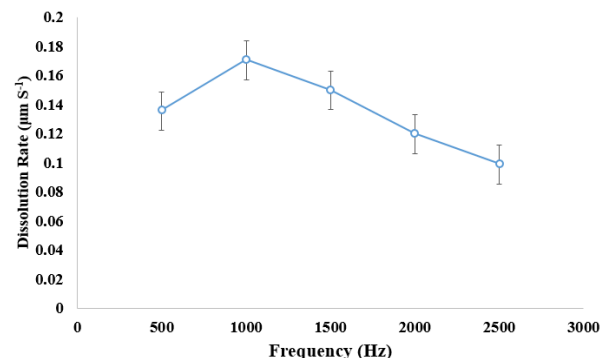
جدول ۱ ترکیب عنصری آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ را پیش و پس از آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۱، تغییرات درصد وزنی آلومینیم و آلیاژسازهای اصلی منیزیم، روی و مس کمتر از ۰.۷۵٪ و ترکیب شیمیایی آلیاژ نهایی حتی در سطح آنالیز شده در محدوده قابل پذیرش برای آلیاژ ۷۰۷۵ است [۱۱].



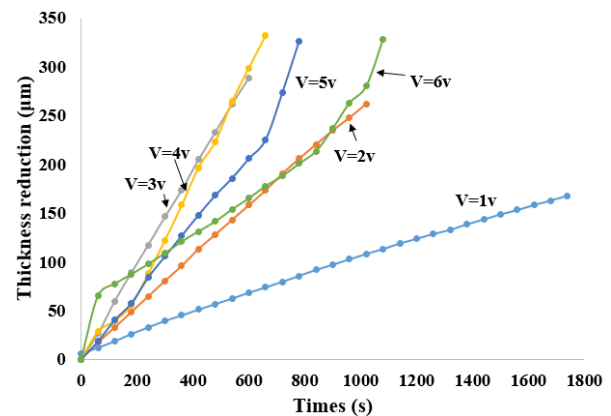
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های آلودگی‌زدایی شده در دامنه پالس‌های مختلف، شامل ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ولت به ترتیب، (الف)، (ب)، (ج)، (د)، (ه) و (و).



شکل ۲. نمودار کاهش ضخامت سطح قطعه آلومینیم ۷۰۷۵ به عنوان تابعی از فرکانس در بازه زمانی ۰ تا ۳۰۰ ثانیه.



شکل ۳. نمودار کاهش ضخامت از سطح قطعه کار آلومینیم با فرکانس‌های ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ هرتز.

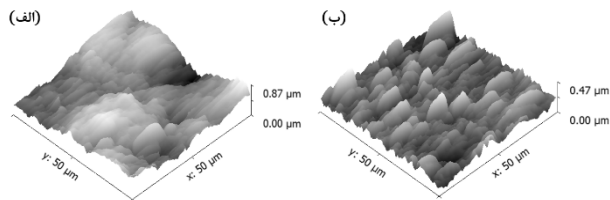


شکل ۴. نمودار کاهش ضخامت قطعه آلومینیم ۷۰۷۵ با دامنه پالس اعمالی مختلف شامل ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ ولت.

مطابق شکل ۴، شیب تغییر ضخامت در زمان‌های طولانی با افزایش دامنه پالس اعمالی از ۱ تا ۴ ولت افزایش می‌یابد. با افزایش بیشتر دامنه پالس اعمال شده (تا ۶ ولت)، این شیب بار دیگر روند کاهشی را در پیش می‌گیرد. برای تمام نمونه‌ها، مدت‌زمان تخریب نوار با شیب کاهش ضخامت نسبت معکوس دارد. برای بررسی علت این روند تصاویر میکروسکوپی نوری سطح نمونه‌ها ثبت شد. شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی نوری نمونه‌های تهیه شده در دامنه پالس‌های مختلف را نشان



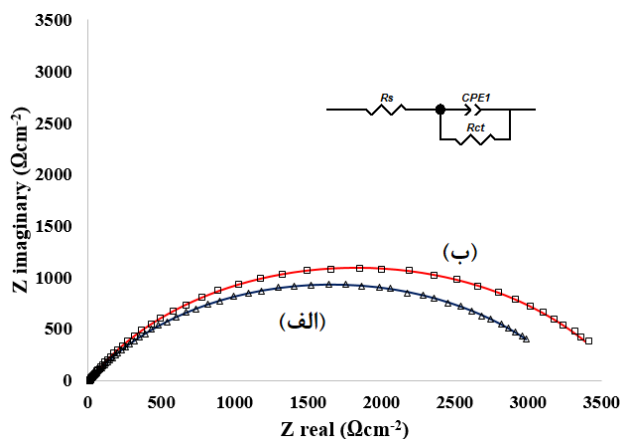
جدول ۲ مقادیر المان‌های مدار معادل پیشنهادی را پیش و پس از انحلال آندی پالسی نشان می‌دهد. براساس نتایج جدول ۳، انحلال آندی پالسی سبب افزایش زاویه فاز CPE شده که نشان‌دهنده کاهش ناهمواری سطح است. همچنین مقاومت انتقال بار پس از انحلال به میزان محسوسی افزایش یافته که نشان می‌دهد فرایند انحلال آندی پالسی مقاومت خوردگی نمونه را افزایش می‌دهد.



شکل ۸. تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی نمونه پیش (الف) و پس از انحلال آندی پالسی (ب).

جدول ۲. نتایج آماری حاصل از میکروسکوپی نیروی اتمی پیش و پس از انحلال آندی پالسی

نمونه	مقدار میانگین (نانومتر)	میانه (نانومتر)	چولگی ^۲	کشیدگی ^۱
پیش از انحلال آندی پالسی	۴۹۸٫۶	۱۳۶٫۴	-۰٫۲۴۴۶	-۰٫۷۶۰۰
پس از انحلال آندی پالسی	۲۲۷٫۳	۶۲٫۷۷	۰٫۶۳۶۳	۰٫۷۴۱۰

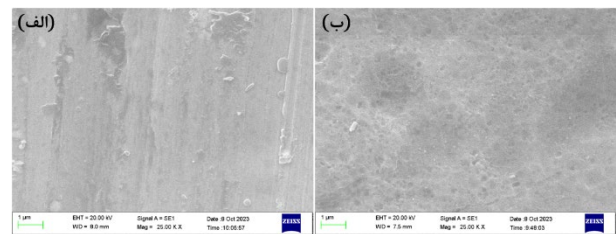


شکل ۹. طیف امپدانس الکتروشیمیایی نمونه‌ها را در محلول ۳٪ کلرید سدیم پیش (الف) و پس از فرایند (ب) به همراه مدار معادل پیشنهادی.

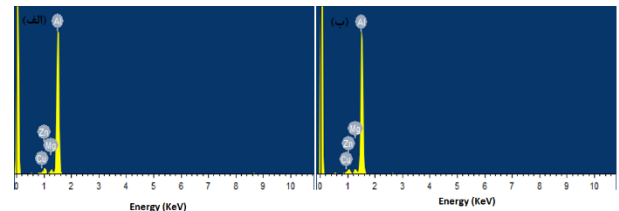
جدول ۳. مقادیر المان‌های مدار معادل پیشنهادی را پیش و پس از انحلال آندی پالسی

نمونه	$R_s (\Omega)$	$CPE-T (\Omega^{-1} s^n)$	$CPE-P (s^{1/n})$	$R_{ct} (\Omega)$
پیش از انحلال	۱۲٫۴	$1.0 \times 10^{-5} \times 3.399$	۰٫۶۵۴۷	۳۲۹۳٫۲۵
پس از انحلال	۱۲٫۴	$1.0 \times 10^{-5} \times 3.189$	۰٫۶۸۹۵	۳۶۳۴

1. Kurtosis
2. Skewness



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ها پیش و پس از انحلال آندی پالسی.



شکل ۷. طیف اشعه ایکس انرژی تفکیک شده نمونه‌ها پیش و پس از انحلال آندی پالسی.

جدول ۱. ترکیب عنصری آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ پیش و پس از آلودگی‌زدایی

پس از انحلال آندی پالسی		پیش از انحلال آندی پالسی	
درصد اتمی	درصد وزنی	درصد اتمی	درصد وزنی
۳٫۱۳	۲٫۷۲	۲٫۵۲	۲٫۱۷
۹۴٫۳	۹۰٫۷	۹۴٫۱۹	۹۰٫۲۳
۰٫۵۶	۱٫۲۷	۰٫۶۸	۱٫۵۳
۲٫۲۷	۵٫۳۱	۲٫۶۱	۶٫۰۶

۴.۳ میکروسکوپ نیروی اتمی

شکل ۸ تصاویر دوبعدی میکروسکوپ نیروی اتمی نمونه را پیش (الف) و پس از انحلال آندی پالسی (ب) نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل که در جدول ۲ جمع‌آوری شده‌اند، انحلال آندی پالسی سبب کاهش مقدار زبری میانگین از ۴۹۸٫۶ نانومتر به ۲۲۷٫۳ نانومتر شده است. همچنین، میانه آماری از ۱۳۶٫۴ نانومتر به ۶۲٫۷۷ نانومتر کاهش یافته است.

تغییر علامت چولگی منحنی از -۰٫۲۴۴۶ به ۰٫۶۳۶۳ نشان می‌دهد که فرایند انحلال آندی پالسی نه تنها سبب انحلال موضعی و عمیق‌تر شدن ترک‌های سطحی آلیاژ نشده، بلکه آنها را تا حدی ترمیم نموده است.

۵.۳ طیف‌نگاری امپدانس الکتروشیمیایی

به منظور بررسی قابلیت استفاده مجدد از قطعات، مقاومت خوردگی قطعات پیش و پس از اکسایش آندی به کمک روش طیف‌نگاری امپدانس الکتروشیمیایی اندازه‌گیری شد. شکل ۹ طیف امپدانس الکتروشیمیایی نمونه‌ها را در محلول ۳٪ کلرید سدیم پیش (الف) و پس از فرایند (ب) به همراه مدار معادل پیشنهادی نشان می‌دهد.



۴. جمع‌بندی

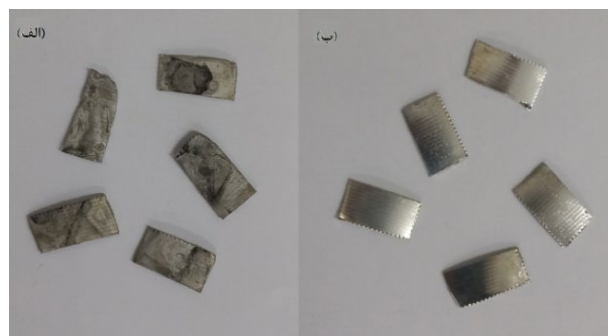
در مطالعه انجام شده، روش انحلال پالسی آندی برای آلودگی‌زدایی آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیر پارامترهایی مانند فرکانس پالس (فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ هرتز)، دامنه پالس (۱ تا ۶ ولت) و زمان انحلال آندی پالسی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مشخص نمود که با استفاده از این روش، آلودگی‌های موجود در آلیاژ آلومینیم قابل حذف بوده و خواص مکانیکی و فیزیکی آلیاژ نیز بهبود می‌یابند. همچنین در این روش کنترل پارامترها و در نتیجه کنترل میزان آلودگی‌زدایی به آسانی امکان‌پذیر است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه‌های تهیه شده در دامنه پالس‌های مختلف نشان داد که اکسایش آندی از یک الگوی موضعی پیروی می‌کند و کسری از سطح که تحت انحلال آندی قرار می‌گیرد با افزایش دامنه پالس اعمالی افزایش می‌یابد. تصاویر دوبعدی میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) نمونه پیش و پس از انحلال آندی پالسی نشان داد که انحلال آندی پالسی سبب کاهش مقدار زبری میانگین و میانه آماری شده است. همچنین تغییر علامت چولگی منحنی نشان داد که فرایند انحلال آندی پالسی باعث انحلال و عمیق‌تر شدن ترک‌های سطحی آلیاژ نشده و تا حدی نیز آنها را ترمیم کرده است. نتایج حاصل از طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) نمونه قبل و بعد از اکسایش آندی مشخص نمود که مقاومت انتقال بار پس از انحلال به میزان محسوسی افزایش یافته که نشان می‌دهد فرایند انحلال آندی پالسی مقاومت خوردگی نمونه را افزایش می‌دهد. برای تعیین بهره آلودگی‌زدایی، نمونه قبل از آلودگی‌زدایی و پس از آلودگی‌زدایی با اسید نیتریک شست‌وشو داده شد و محلول شست‌وشو به روش سوسوزن مایع تعیین غلظت گردید. نتایج حاصل از طیف شمارش سنتیلاسیون مایع دو نمونه نشان داد که بهره آلودگی‌زدایی در مدت زمان ۳۰ ثانیه ۹۸/۱۷٪ است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که روش اکسایش آندی روشی مؤثر و سریع برای آلودگی‌زدایی قطعات رسانای آلوده به مواد پرتوزا است که هم از لحاظ زمانی، اقتصادی و محیط زیستی قابل توجه است. این تکنیک در جهان بسیار مورد استقبال قرار گرفته است و تا حد زیادی جایگزین روش‌های معمول رفع آلودگی شده است. این گزارش حاصل اولین کار تحقیقاتی صورت گرفته در این زمینه در کشور است و نتایج حاصل از آن چشم‌انداز روشنی در استفاده از این تکنیک برای رفع آلودگی قطعات مختلف رسانا خصوصاً قطعاتی مانند لوله‌ها، پمپ‌ها و... که شست‌وشوی و رفع آلودگی داخل آنها با روش‌های معمول بسیار دشوار است را پیش‌بینی می‌کند.

۶.۳ آلودگی‌زدایی نمونه‌های حقیقی

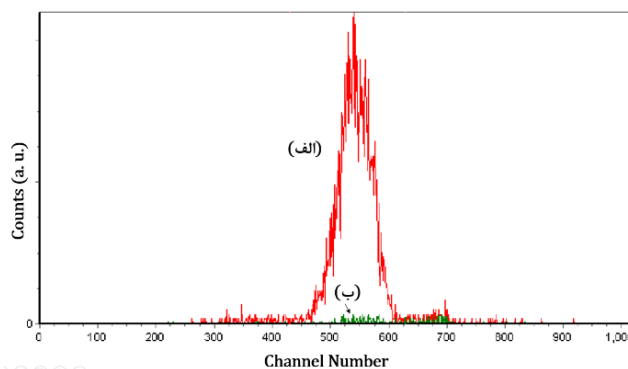
شکل ۱۰ سطح نمونه‌های واقعی را پیش و پس از آلودگی‌زدایی به روش پالسی آندی نشان می‌دهد. مطابق شکل، نمونه‌های آلودگی‌زدایی شده کاملاً تمیز، یکدست و براق هستند.

۷.۳ تعیین بهره آلودگی‌زدایی

برای تعیین بهره آلودگی‌زدایی، سطح نمونه‌های واقعی پیش و پس از آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی با اسید نیتریک ۰/۱ M شست‌وشو داده شد و میزان اورانیم موجود در محلول شست‌وشو به روش سوسوزن مایع اندازه‌گیری شد. برای هر آزمایش، سطح کلی ۲۰ سانتی‌متر مربع از نمونه با ۵۰ سی سی اسید نیتریک ۰/۱ مولار شست‌وشو داده شد. سپس ۸ ml متر از محلول حاصل با ۱۲ ml سوسوزن مخلوط شده و به مدت زمان ۶۰ دقیقه آنالیز شد. شکل ۱۱ طیف شمارش سنتیلاسیون مایع را پیش (الف) و پس (ب) از آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل بهره آلودگی‌زدایی در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه ۹۸/۱۷٪ است.



شکل ۱۰. نمونه واقعی آلیاژ ۷۰۷۵ پیش (الف) و پس از آلودگی‌زدایی (ب)، به روش انحلال آندی پالسی.



شکل ۱۱. طیف شمارش سنتیلاسیون مایع پیش (الف) و پس (ب) از آلودگی‌زدایی الکتروشیمیایی.

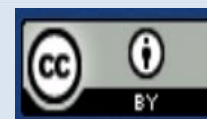


مراجع

1. Remark J.F, Miller A.D. Review of Plant Decontamination Methods. In *Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities*. M.M. Osterhout, Ed., ed Boston, MA: Springer US. 1980;33-45.
2. Suh Y.A, Hornibrook C, Yim M.-S. Decisions on nuclear decommissioning strategies: Historical review. *Progress in Nuclear Energy*. 2018;106: 34-43.
3. Noynaert L. Decontamination processes and technologies in nuclear decommissioning projects. In *Nuclear Decommissioning*. M. Laraia, Ed., ed: Woodhead Publishing. 2012;319-345.
4. Yang H.-M, Park C.W, Lee K.-W. Polymeric coatings for surface decontamination and ecofriendly volume reduction of radioactive waste after use. *Progress in Nuclear Energy*. 2018;67-74.
5. Bspala E.V, Antonenko M.V, Chubreev D.O, Leonov A.V, Novoselov I.Y, Pavlenko A.P, Kotov V.N. Electrochemical treatment of irradiated nuclear graphite. *Journal of Nuclear Materials*. 2019;526:151759.
6. Pozo A.A.P, Bustos E.B, Monroy-Guzmán F. Decontamination of radioactive metal surfaces by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. 2019;361:357-366.
7. Katona R, Rivonkar A, Locskai R, Bátor G, Abdelouas A, Somlai J, Kovács T. Tafel-analysis of the AP-CITROX decontamination technology of Inconel alloy 690. *Applied Radiation and Isotopes*. 2022;181:110073.
8. Chaghazardi Z, Wüthrich R. Review—Electropolishing of Additive Manufactured Metal Parts. *Journal of The Electrochemical Society*. 2022;169:043510.
9. Pendyala P, Bobji M.S, Madras G. Evolution of Surface Roughness During Electropolishing. *Tribology Letters*. 2014;55:93-101.
10. Zironi E.P, Saniger J.M, Rickards J, Elizalde J, Andrade E. A study of the fluorine corrosion of the Al- 7075 alloy using nuclear techniques. *Journal of Nuclear Materials*. 1994;210:123-129.
11. Tiringer U, Kovač J, Milošev I, Effects of mechanical and chemical pre-treatments on the morphology and composition of surfaces of aluminium alloys 7075-T6 and 2024-T3. *Corrosion Science*. 2017;119:46-59.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

معظمی، حمیدرضا، قرقانی، میثاق، یوسفی، طاهر، پورجاوید، محمدرضا. (۱۴۰۴)، آلودگی‌زدایی سریع و کنترل‌پذیر آلیاژ آلومینیم ۷۰۷۵ آلوده شده به مواد رادیواکتیو به روش اکسایش پالسی آندی. *مجله علوم، مهندسی و فناوری هسته‌ای*، ۱۱۱(۱)، ۴۷-۵۳. DOI: <https://doi.org/10.24200/nst.2024.1639>

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1639.html

