

بررسی رفتار خوردگی پوشش نانو ساختار خود ترمیم شونده تیتانیا-بنزوتريازول اعمال شده بر روی سطح آلومینیوم ۷۰۷۵

مریم کدخدایی^۱، علی شانقی^{۱*}، هادی مرادی^۱

^۱ ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مواد

* نویسنده مسئول: alishanaghi@gmail.com, a.shanaghi@malayeru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

امروزه پوشش‌های خود ترمیم شونده فلزی به دلیل دارا بودن چسبندگی و قابلیت ترمیم شوندگی خوب یکی از متداولترین شیوه‌ها جهت ترمیم و حفاظت در برابر خوردگی سازه‌ها هستند. در واقع نقش اصلی پوشش هیبریدی خود ترمیم شونده در حفاظت از خوردگی، تامین موادی برای مقابله با انواع خوردگی است. در این مقاله، پوشش نانو ساختار تیتانیا-بنزوتريازول با استفاده از فرایند سل-ژل و روش غوطه‌وری بر روی سطح زیرلایه آلومینیوم ۷۰۷۵ اعمال شده، سپس ساختار و مورفولوژی و همچنین رفتار خوردگی پوشش به ترتیب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) و آزمون الکتروشیمیایی امپدانس مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده بیانگر ایجاد یک پوشش همگن، یکنواخت، عاری از ترک همراه با بهبود مقاومت به خوردگی عالی در محیط ۳/۵ درصد NaCl است.

کلمات کلیدی: پوشش هیبریدی تیتانیا-بنزوتريازول، سل-ژل، آلومینیوم ۷۰۷۵، خواص خوردگی؛

Corrosion study of self-healing Titana- Benzotriazole nano structured coating applied on the 7075 aluminum alloy by sol-gel method

M. kadhodaie ¹, A. Shanaghi ^{1*}, H. Moradi ¹

¹ Department of materials Engineering, Faculty of Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

* Corresponding Author: alishanaghi@gmail.com, a.shanaghi@malayeru.ac.ir

Submission: 2015, 10, 10 Acceptance: 2016, 01, 09

Abstract

Nowadays, good adhesion and healing abilities of self healing coatings cause to these coatings are one of the most conventional methods to repair and corrosion protection of materials. The hybrid self healing coating plays an important role in corrosion protection of materials against kinds of all corrosion. In this paper, Titania-Benzotriazole nanostructured coating applied by sol-gel process with using immersion methods on Aluminum alloys 7075. Then structure and morphology and also corrosion behavior of coatings are investigated by using field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and electrochemical impedance analyses, respectively. The results represent the creation of a homogeneous, uniform and crack free coating on Al 7075, cause to improved corrosion resistance in 3.5% NaCl solution.

Keywords: TiO₂- Benzotriazole Hybrid coating, Sol-gel, Aluminum7075, Corrosion properties;

۱- مقدمه

خوردگی تخریب ناخواسته یک ماده بر اثر واکنش آن با محیط اطرافش می‌باشد و تمام مواد از جمله فلزات، سرامیک‌ها و پلاستیک‌ها در معرض تخریب تدریجی متناسب با شدت حضور یونها در محیط کاری قرار دارند. در میان مواد موجود در طبیعت فلزات قابلیت هدایت الکتریکی زیادی دارند و فرآیند خوردگی در آنها از نوع الکتروشیمیایی می‌باشد در حالی که برای مواد غیرهادی از نوع شیمیایی است. به همین جهت تأثیر اقتصادی چشمگیر خوردگی سازه‌های فلزی، یک موضوع بسیار مهم در سراسر جهان قلمداد می‌شود تا جاییکه کشورهای توسعه یافته همواره هزینه‌های قابل توجهی از درآمدهای خود را به دلیل تخریب ناشی از خوردگی از دست می‌دهند [۱-۲]. ساده‌ترین راه مبارزه با خوردگی، اعمال یک لایه پوشش، مخصوصاً پوشش سرامیکی همانند پوششهای تیتانیا، آلومینا، زیرکونیا و ... است، که ارتباط فلزات را با محیط تا اندازه‌ای کاهش داده و منجر به محافظت فلز زمینه می‌گردد [۳-۸]. در این میان پوشش تیتانیا دارای کاربرد بسیار زیادی است، برخی از کاربردهای پوشش نانوساختار اکسید تیتانیوم عبارتند از: فیلترهای ماورابنفش برای صنایع اپتیک و مواد بسته‌بندی و پوشش ضد انعکاس در سل‌های خورشیدی، پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی و غیره [۹-۱۰]. البته با ایجاد پوشش نانو ساختار اکسید تیتانیوم تمام خواص مذکور به میزان قابل توجهی بهبود پیدا می‌کند.

روش‌های مختلفی برای تولید پوشش نانوساختار پایه تیتانیومی وجود دارد، همانند اسپاترینگ، لیزرپالسی و روش سل-ژل، که در میان آنها روش سل ژل یکی از روش‌های پوشش دهی بسیار مناسب است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۱۱-۱۳]. پوشش‌های تهیه شده با این روش محدودیت‌هایی نظیر تردی و مستعد بودن به ترک را دارا هستند، از این رو پوشش‌های هیبریدی آل-معدنی تهیه شده به روش سل ژل در دهه اخیر به زمینه تحقیقاتی بسیار مهمی تبدیل شده‌اند [۱۴-۱۶]. در این پوشش‌های نانو کامپوزیتی، یونهای بازدارنده خوردگی قرار داده می‌شود تا بتواند با نفوذ به سطح فلز پایه آنها را در برابر خوردگی محافظت نمایند. این پوشش‌ها نیز حفاظت خوردگی خوبی در مقایسه با پوشش‌های کروم نشان داده و میتواند جایگزین مناسبی برای آنها باشد. بطور کلی پوشش‌های حاوی مواد بازدارنده به دلیل برخورداری از ویژگی‌های مختلف از قبیل فرایند پذیری خوب و پایداری شیمیایی در شرایط اتمسفری مختلف، به طور گسترده در بسیاری از زمینه‌های مهندسی و صنایع مختلف از

قبیل نظامی، فضایی، ساختمانی و غیره کاربرد دارند. گونه‌های بازدارنده فقط در صورتی موثر واقع می‌شوند که قابلیت انحلال در محیط خوردنده را در یک محدوده مناسب داشته باشند. قابلیت انحلال بسیار کم منجر به عدم فعالیت عامل در منطقه عیب و در نتیجه منجر به قابلیت خود ترمیم شوندگی ضعیف می‌گردد. در میان بازدارنده‌های مختلف بنزوتریازول دارای کاربرد بسیار زیادی است، بنزوتریازول (BTA) یک ترکیب هتروسیکلیک حاوی سه اتم نیتروژن، با فرمول شیمیایی $C_6H_3N_3$ است. این ترکیب معطر، بی رنگ و قطبی است و می‌تواند در زمینه‌های مختلف استفاده شود [۱۷-۱۸].

بنابراین در این پژوهش پوشش‌های هیبریدی تیتانیا-بنزوتریازول به روش سل ژل و با استفاده از درصد‌های مختلف ماده آل-آلکوکسیدی و ممانعت کننده آل-بنزوتریازول، بر روی سطح آلومینیوم ۷۰۷۵ بوسیله فرایند سل-ژل و روش غوطه‌وری اعمال شده، سپس ساختار و مورفولوژی پوشش‌های مذکور با استفاده از آنالیز FE-SEM مورد بررسی قرار گرفته، همچنین منحنی‌های پلاریزاسیون Tafel و امپدانس جهت ارزیابی رفتار خوردگی در محیط ۳/۵ درصد NaCl مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سنتز محلول پوشش دهی

در این مقاله آلکوکسید تترا-n بوتیل ارتو تیتانات (TBT)، اتانول، تری متوکسی سیلان، اتیل استو استات به همراه آب دی یونیزه در سنتز محلول پوشش دهی مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از درصد‌های بهینه مواد اولیه، نحوه اضافه کردن آنها به یکدیگر و کنترل واکنش‌های هیدرولیز و کندانسیون در سنتز محلول شیمیایی کاملاً پایدار و شفاف از اهمیت بسزایی برخوردار است [۱۹-۲۰]. فلوجارت تهیه محلول به طور مختصر در شکل شماره ۱ نشان داده شده، که در نهایت محلول تهیه شده در این تحقیق مقاله دارای رنگ زرد شفاف و عاری از هرگونه رسوب می‌باشد.

۲-۲- اعمال پوشش هیبریدی پایه تیتانیومی

زیر لایه‌های آلومینیوم ۷۰۷۵ با ابعاد $۵۰ \times ۳۰ \times ۲$ میلی متر بوسیله فرایندهای سنباده زنی و پولیش کاری و سپس تمیزکاری آلتراسونیک در استن، الکل و آب مقطر جهت اعمال پوشش آماده شدند. بعد از آماده‌سازی سطحی نمونه‌ها، پوشش نانوساختار هیبریدی پایه تیانیومی بوسیله روش غوطه‌وری و با



شکل ۱- فلوجارت تهیه محلول پوشش دهی تیتانیا- بنزوتريازول.

۳- نتایج و بحث

پوشش هیبریدی نانوساختار پایه تیتانیا اعمال شده بر روی سطح آلومینیوم ۷۰۷۵ کاملاً همگن و یکنواخت است، که در ادامه تاثیر میزان غلظتهای مختلف بنزوتريازول بر روی ساختاری و مورفولوژی و همچنین خوردگی پوشش مورد بررسی قرار گرفته است.

در شکل ۲ ساختار و مورفولوژی پوشش خود ترمیم کننده پایه تیتانیا حاوی درصد های مختلف بنزوتريازول همانند ۱/۴، ۲/۸ و ۴/۲ درصد را در بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ نشان داده شده، که بیانگر سطح پوشش همگن، یکنواخت و مشاهده میکرو ترک هایی است که با افزایش درصد بنزوتريازول به ۲/۸ درصد میزان میکرو ترک ها و همچنین توزیع آنها کمتر و یکنواخت تر گردیده است.

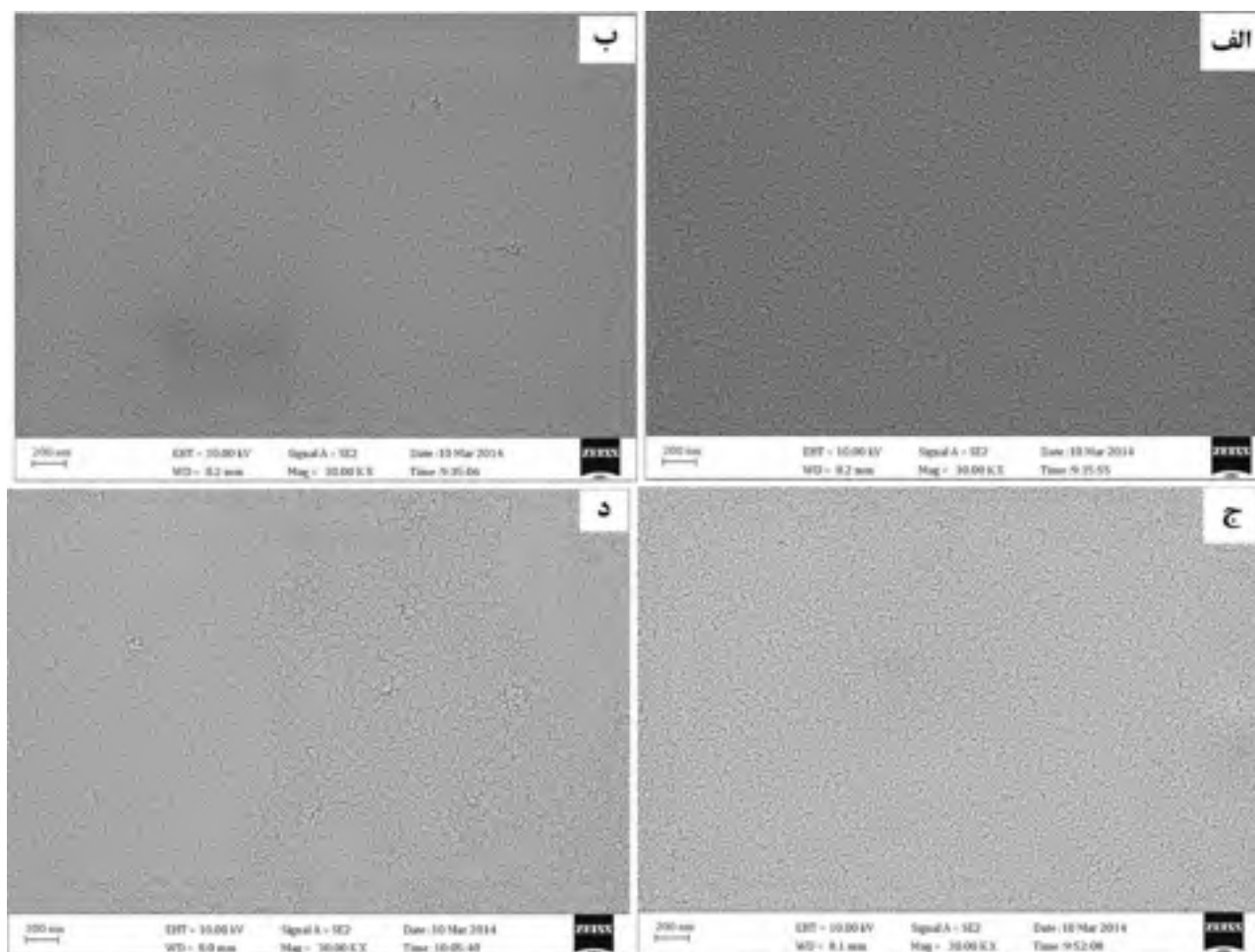
تشکیل میکرو ترک های بسیار ریز ناشی از دو پدیده است: الف- خروج ترکیبات آلی از پوشش در حین عملیات حرارتی، اگر چه در این تحقیق با استفاده از روشهای خشک کردن بعد از اعمال پوشش و سپس عملیات حرارتی با سرعت بسیار پایین و کنترل شده، خروج ترکیبات آلی با پایین ترین نرخ صورت گرفته است.

ب- تفاوت ضریب انبساط حرارتی زیر لایه آلومینیوم ۷۰۷۵ و پوشش تیتانیا [۲۱].

سرعت ورود و خروج ۲۵ میلی متر بر دقیقه بر روی سطح زیر لایه اعمال شده، سپس با بکار بردن روشهای مناسب خشک کردن، اعمال پوشش چندین بار صورت گرفته تا پوشش با ضخامت مناسب اعمال شود، در نهایت نمونه ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد با سرعت ۱ درجه بر دقیقه تحت عملیات حرارتی قرار گرفته اند.

۳-۲- روش های ارزیابی پوشش ها

ساختار و مورفولوژی پوشش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) مورد بررسی قرار گرفته، همچنین رفتار خوردگی و ترمیم شونده گی پوشش بوسیله آزمون الکتروشیمیایی امپدانس در سل شامل سه الکترود کاری، مرجع و کمکی و حاوی ۲۵۰ میلی لیتر محلول ۳/۵ درصد NaCl با استفاده از پتاسیواستات-گالوانواستات IVIUMSTAT و نرم افزار آنالیزگر ZView در مدت زمان های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت غوطه وری برای نمونه های بدون پوشش و پوشش نانوساختار اکسید تیتانیوم حاوی درصدهای مختلف بنزوتريازول ۱/۴، ۲/۸ و ۴/۲ درصد در محدوده فرکانس ۱۰ mHz تا ۱۰۰ kHz مورد بررسی قرار گرفته است.



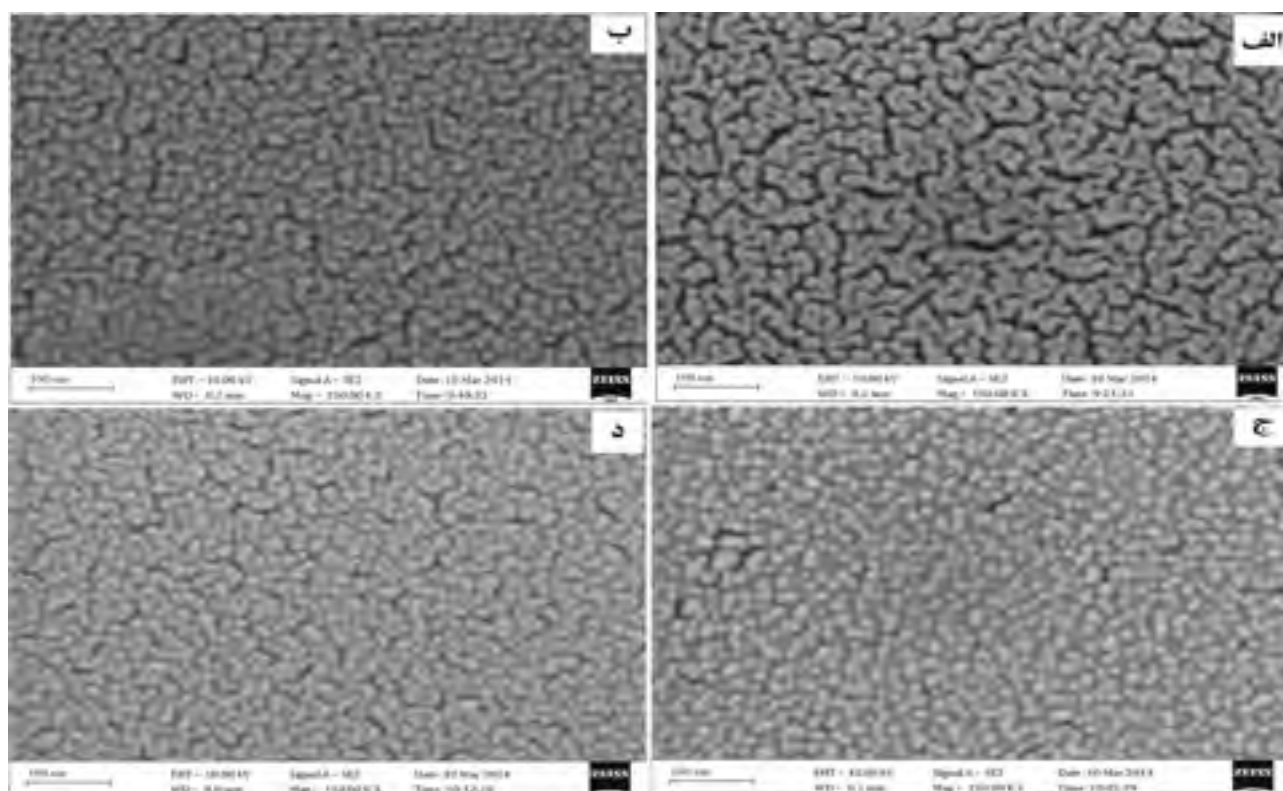
شکل ۲- تصاویر FESEM در بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ برابر (الف) پوشش خودترمیم کننده تیتانیا-فاقد بنزوتريازول، (ب) پوشش خودترمیم کننده تیتانیا-۱/۴ بنزوتريازول، (ج) پوشش خودترمیم کننده تیتانیا-۲/۸ بنزوتريازول و (د) پوشش خودترمیم کننده تیتانیا-۴/۲ بنزوتريازول.

درصد های مختلف بنزوتريازول همانند ۱/۴، ۲/۸ و ۴/۲ درصد را نشان می دهد، که با توجه به عناصر موجود در ترکیب بنزوتريازول، بخشی از عناصر C، N و O بیانگر حضور بنزوتريازول در پوشش هستند، که با افزایش درصد بنزوتريازول، درصد کربن و نیتروژن افزایش یافته است.

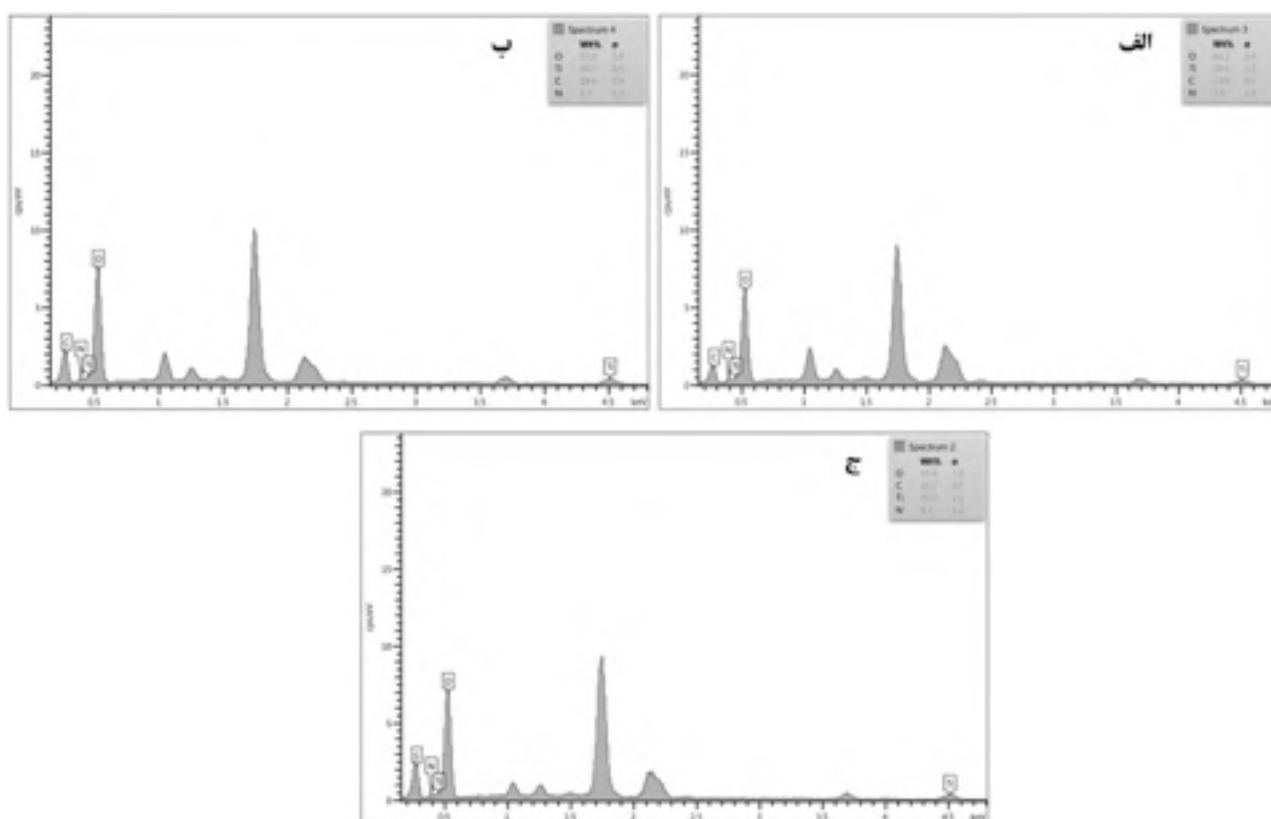
در شکل ۵ نمودارهای ناپیوستگی و بُد-فاز نمونه ی آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم نشان داده، که پوشش نانو ساختار تیتانیا حاوی ۴/۲ درصد بنزوتريازول دارای بیشترین مقاومت به خوردگی بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم است، همانطور که مشاهده می گردد بطور کلی پوششهای حاوی ممانعت کننده بنزوتريازول دارای مقاومت به خوردگی بیشتری در مقایسه با نمونه های بدون پوشش و همچنین نمونه پوشش تیتانیا هستند، در واقع تشکیل چند نیم دایره متوالی در نمونه های حاوی درصد های مختلف بنزوتريازول، ناشی از انجام فعالیتهای سطحی و تشکیل

در شکل ۳ ساختار و مورفولوژی پوشش خود ترمیم شونده پایه تیتانیا حاوی درصد های مختلف بنزوتريازول همانند ۱/۴، ۲/۸ و ۴/۲ درصد را در بزرگنمایی ۱۵۰۰۰۰ نشان داده شده، که بیانگر سطح پوشش همگن، یکنواخت و مشاهده میکرو ترک های میکر و ترک ها و همچنین توزیع آنها کمتر و یکنواخت تر گردیده است. تشکیل میکرو ترکها بسیار ریز ناشی از دو پدیده است: همگنی و یکنواختی بهتر پوشش تیتانیا حاوی ۲/۸ بنزوتريازول در مقایسه با دیگر درصدها است، که می تواند ناشی از واکنش بهتر ترکیب آلی بنزوتريازول با ترکیبات آلی در حین فرایند تهیه محلول و اعمال پوشش باشد. اما قابل ذکر است با افزایش درصد بنزوتريازول از ۲/۸ به ۴/۲ درصد، سرعت خروج مواد آلی دوباره افزایش یافته و همین امر منجر به پیدایش میکرو ترک های بیشتر گردیده است.

شکل ۴ نمودار مربوط به آنالیز EDS پوشش های تیتانیا حاوی



شکل ۳- تصاویر FESEM در بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ برابر (الف) پوشش خودترمیم شونده تیتانیا-فاقد بنزوتریازول، (ب) پوشش خودترمیم شونده تیتانیا - $1/8$ بنزوتریازول، (ج) پوشش خودترمیم شونده تیتانیا- $2/8$ بنزوتریازول و (د) پوشش خودترمیم شونده تیتانیا- $4/2$ بنزوتریازول.

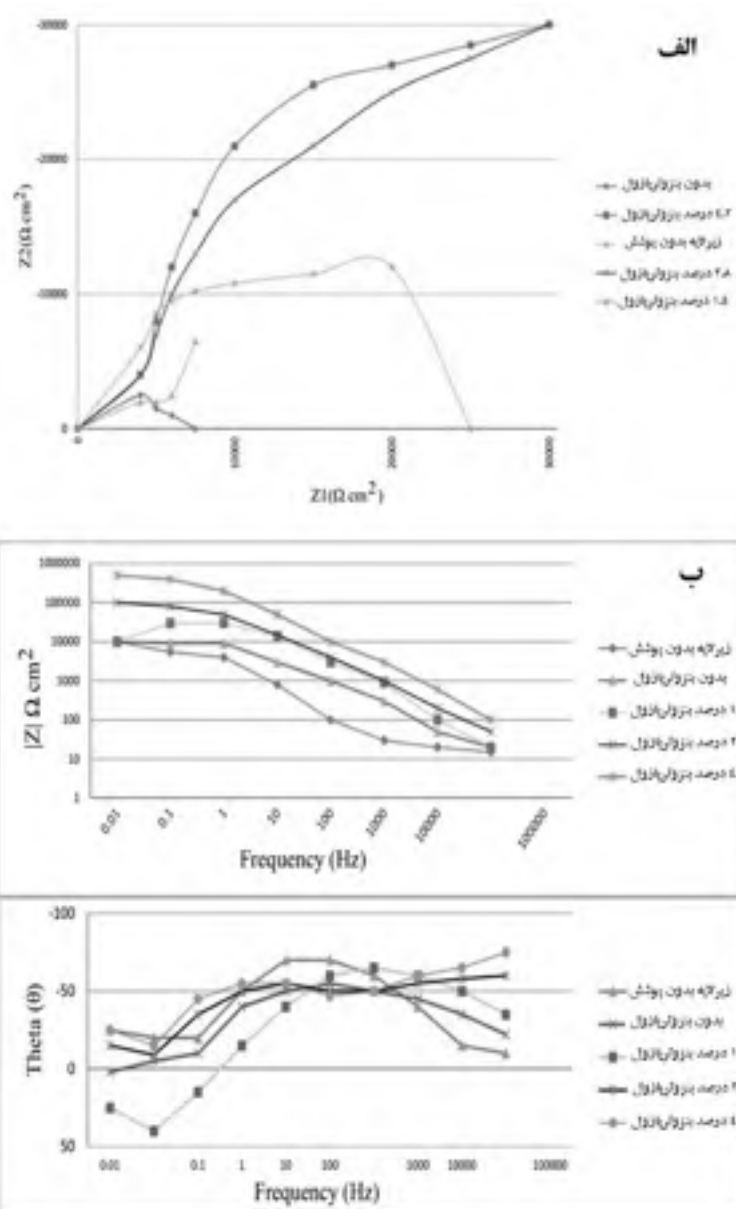


شکل ۴- نمودار EDS، (الف) پوشش خودترمیم شونده تیتانیا - $1/8$ بنزوتریازول، (ب) پوشش خودترمیم شونده تیتانیا- $2/8$ بنزوتریازول و (ج) پوشش خودترمیم شونده تیتانیا- $4/2$ بنزوتریازول.

داده شده و تقریباً درصد کاهش مقاومت به خوردگی برای تمام آنها مشابه است، نکته قابل توجه ثابت ماندن منحنی نایکوئیست پوشش نانو ساختار تیتانیا حاوی ۲/۸ و ۴/۲ درصد بنزوتريازول بعد از ۷۲ ساعت نسبت به ۴۸ ساعت غوطه‌وری است، همچنین منحنی پوشش حاوی ۲/۸ درصد بنزوتريازول در برخی از قسمت‌ها دارای افزایش مقاومت به خوردگی است، دلیل این امر می‌تواند ناشی از خروج به موقع و کنترل شده ممانعت کننده در هنگام ایجاد نواقص و تخلخل در سطح پوشش بوده که با انجام واکنش و ایجاد محصولات خوردگی از نرخ نقل و انتقال اکترنهای واکنشهای الکتروشیمیایی کاسته و در نهایت با ایجاد سدی مناسب منجر به افزایش مقاومت به خوردگی

لایه‌هایی در محلهای در تماس با محلول کلرید سدیم است که منجر به کاهش سرعت واکنشهای الکتروشیمیایی و در نهایت افزایش مقاومت به خوردگی گردیده‌اند. منحنی‌های بُد-فاز در شکل ۵-ب نیز تایید کننده نتایج منحنی نایکوئیست هستند، بخصوص منحنی مربوط به ۴/۲ درصد بنزوتريازول بیانگر تشکیل لایه‌های مختلف بر روی سطح هستند.

در شکل‌های ۶ و ۷ نمودارهای نایکوئیست و بُد-فاز نمونه ی آلایژ آلومینیوم ۷۰۷۵ بعد از ۴۸ و ۷۲ ساعت غوطه‌وری در محلول ۳/۵ درصد کلرید سدیم نشان داده، که افت بسایر زیادی در منحنی پوشش‌های نانو ساختار حاوی درصد‌های مختلف بنزوتريازول نشان



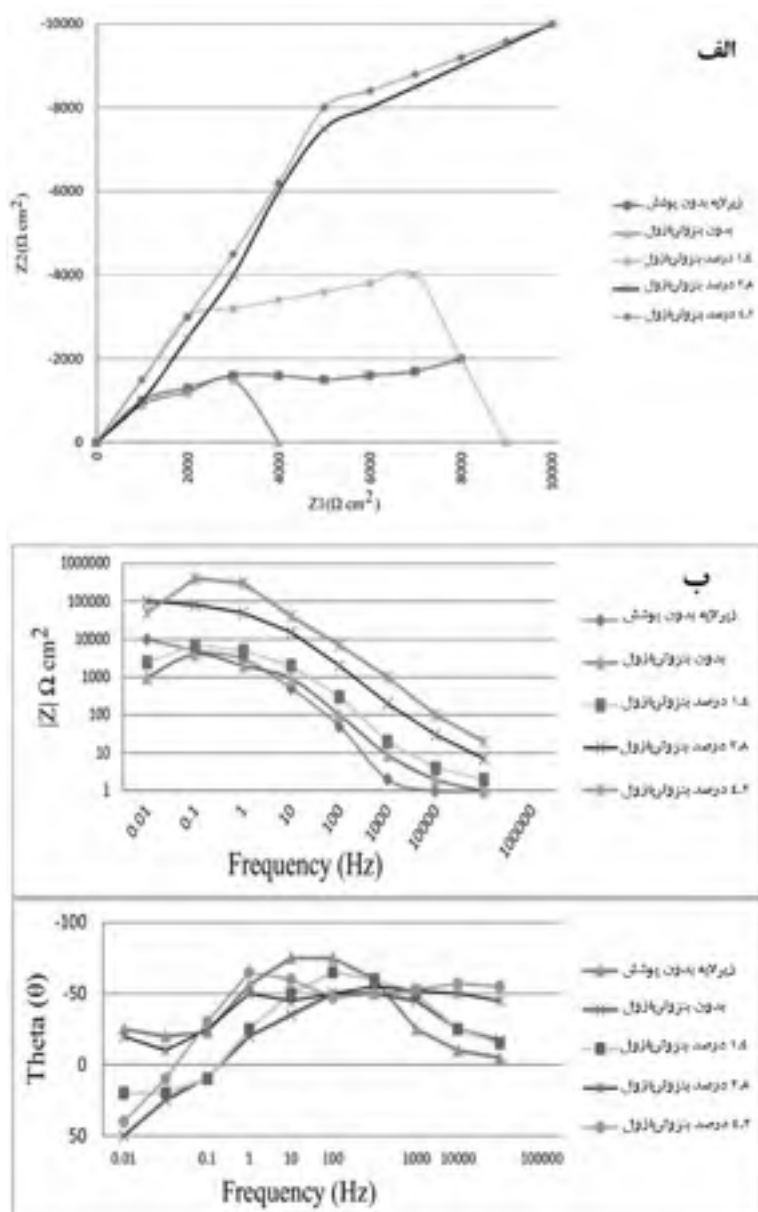
شکل ۵- نمودارهای امپدانس الکتروشیمیایی نمونه‌های آلومینیوم ۷۰۷۵ بدون پوشش و پوشش تیتانیا حاوی درصد‌های مختلف بنزوتريازول (الف) نمودار نایکوئیست و (ب) نمودارهای بُد-فاز بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در محلول ۵/۳ درصد کلرید سدیم.

پوشش گردیده است.

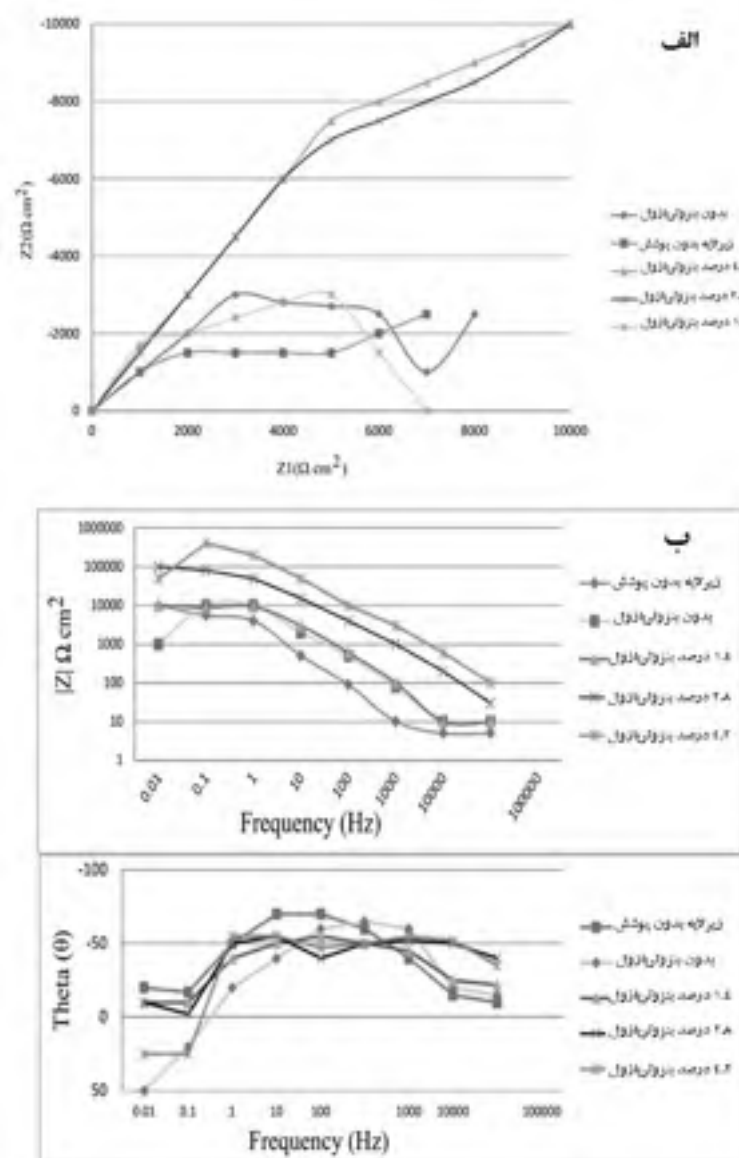
همچنین مشاهده روند تغییرات منحنی‌های نایکوئیست و بُد-فاز پوشش‌های حاوی درصد‌های مختلف بنزوتریازول بیانگر تشکیل لایه پسیو اکسیدی بخصوص در ۲/۸ و ۴/۲ درصد بنزوتریازول است، که بصورت تشکیل نیم دایره‌های متوالی در نمودارهای نایکوئیست و یا خطوط افقی در منحنی‌های بُد-فاز در اثر انجام واکنش‌های سطحی مشاهده شده است.

جهت بررسی دقیق‌تر اجزای مقاومتی و خازنی پوشش‌های ایجاد شده، طیف امپدانس با استفاده از مدار نشان داده شده در شکل ۸

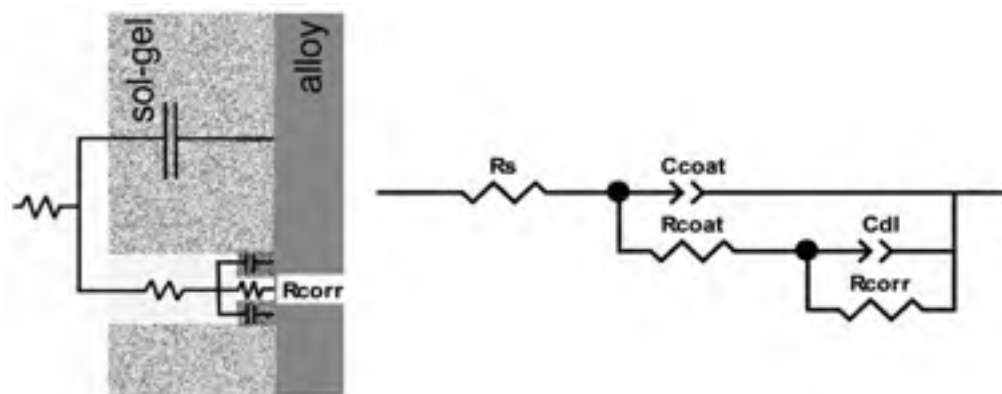
توسط نرم افزار ZView مدل سازی شده و مقادیر اندازه گیری شده در جدول ۱ خلاصه شده اند. R_s بیانگر مقاومت محلول، R_{coat} و C_{coat} به ترتیب مقاومت و ظرفیت پوشش نانو ساختار پایه تیتانیایی اعمال شده بر روی سطح آلومینیوم ۷۰۷۵ می‌باشد، همچنین مقاومت و ظرفیت دی الکتریک در لایه اکسیدی حاصل از خروج ممانعت کننده-ها و واکنش آنها با عوامل محیطی به ترتیب R_{corr} و C_{dl} می باشند که وابسته به ترک ها و تخلخل‌های فیلم و همچنین میزان آب جذب شده دارند. در واقع R_{corr} همان R_{ct} و R_{coat} همان مقاومت پلاریزاسیون یا R_p می باشد.



شکل ۶- نمودارهای امپدانس الکتروشیمیایی نمونه‌های آلومینیوم ۷۰۷۵ بدون پوشش و پوشش تیتانیا حاوی درصد‌های مختلف بنزوتریازول (الف) نمودار نایکوئیست و (ب) نمودارهای بُد-فاز بعد از ۴۸ ساعت غوطه‌وری در محلول ۵/۳ درصد کلرید سدیم.



شکل ۷- نمودارهای امپدانس الکتروشیمیایی نمونه‌های آلومینیوم ۷۰۷۵ بدون پوشش و پوشش تیتانیا حاوی درصد‌های مختلف بنزوتریازول (الف) نمودار نایکوئیست و (ب) نمودارهای بُد-فاز بعد از ۷۲ ساعت غوطه‌وری در محلول ۵/۳ درصد کلرید سدیم.



شکل ۸- مدار الکتریکی مدلسازی شده طیف امپدانس برای نمونه‌های پوشش داده شده.

جدول ۱- مقادیر اندازه گیری شده مقاومت و ظرفیت خازن های مدار شبیه سازی شده طیف امپدانس برای همه پوشش ها.

نمونه	ساعت غوطه وری (h)	$R_s(\Omega.Cm^{-2})$	$R_p(\Omega.Cm^{-2})$	$R_{ct}(\Omega.Cm^{-2})$	$C_{dl}(\mu F.Cm^{-2})$	n_{dl}
آلومینیوم ۷۰۷۵	۲۴	۴/۹۳	۷۲۳۴	۶۹۴۵	۵/۸	۰/۳۸
	۴۸	۲/۹۵	۶۸۵۷	۶۱۷۱	۷/۷	۰/۳۶
	۷۲	۲/۵۸	۵۵۰۴	۵۳۶۰	۷/۹	۰/۲۹
پوشش تیتانیا	۲۴	۱۱/۷۵	۸۷۳۲	۸۰۰۳	۴/۹	۰/۴۵
	۴۸	۱۱/۳	۸۱۴۶	۷۴۶۴	۵/۲	۰/۴۲
	۷۲	۹/۹۲	۶۴۲۵	۶۰۸۳	۵/۶	۰/۳۹
پوشش تیتانیا- ۱/۴ بنزوتريازول	۲۴	۱۴/۶۵	۲۴۶۲۸	۲۳۸۹۰	۳/۱	۰/۵۹
	۴۸	۱۲/۷۸	۹۷۶۱	۸۸۰۰	۳/۸	۰/۵۶
	۷۲	۱۱/۸۴	۸۹۵۷	۸۱۹۰	۴/۱	۰/۵۱
پوشش تیتانیا- ۲/۸ بنزوتريازول	۲۴	۱۵/۱۱	۷۶۲۷۸	۷۵۳۷۹	۲/۵	۰/۷۶
	۴۸	۱۴/۸۸	۵۱۳۰۰	۵۰۰۷۰	۲/۹	۰/۷۲
	۷۲	۱۴/۳۲	۴۹۱۵۴	۴۸۳۴۱	۳	۰/۶۸
پوشش تیتانیا- ۴/۲ بنزوتريازول	۲۴	۲۳/۸۳	۳۶۳۵۷۰	۳۶۰۷۰۲	۱/۱	۰/۹۵
	۴۸	۲۰/۳۸	۱۹۲۴۱۰	۱۹۱۳۶۸	۱/۶	۰/۹۲
	۷۲	۱۹/۶۹	۱۱۰۰۸۹	۹۹۵۴۰	۲/۱	۰/۸۷

حاوی ۲/۸ درصد بنزوتريازول نسبت به پوشش نانو ساختار تیتانیا حاوی ۴/۲ درصد بنزوتريازول است. بنابراین بطور کلی پوشش نانو ساختار تیتانیا حاوی ۲/۸ درصد بنزوتريازول با داشتن سطحی کاملاً همگن، یکنواخت و فشرده در مقایسه با دیگر پوشش ها دارای مقاومت به خوردگی بهتری است. با این حال دو نوع مکانیزم ترمیم شوندگی برای پوشش نانو ساختار پایه تیتانیا در نظر گرفته شده، که عبارتند از:

الف- واکنش تیتانیوم با اکسیژن (استفاده از ماهیت ذاتی تیتانیوم) فعال شده بعد از گذشت ۴۸ ساعت در محلول ۳/۵ درصد NaCl.
ب- رها سازی عامل ترمیم کننده پلیمری بنزوتريازول، فعال شده بعد از گذشت ۲۴ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵ درصد NaCl.

بطور کلی بعد از ۲۴ ساعت غوطه وری در محلول ۳/۵ درصد NaCl واکنشهای خوردگی در محل نواقص موجود در پوشش با ابعادی در حدود میکرو همانند ترکهای سطحی و حفره ها شروع شده و سرعت انجام واکنشهای خوردگی ناشی از حضور یونهای کلر موجود در محلول نیز افزایش یافته، اما با گذشت زمان تا ۴۸ ساعت سرعت انجام واکنشهای خود ترمیم کنندگی در محل نواقص نسبت به واکنشهای خوردگی افزایش یافته و نواقص ترمیم گشته، این رقابت تا مدت زمان ۷۲ ساعت غوطه وری بین عامل ترمیم کننده و یونهای خورنده برقرار است، در واقع محلهایی که عامل ترمیم کننده از آنجا خارج شده با افزایش زمان غوطه وری بعنوان نقص عمل خواهند نمود، به همین دلیل پوشش نانو ساختار تیتانیا

نتیجه گیری

پوشش های خود ترمیم شونده متداول ترین و مقرون به صرفه ترین روش برای ترمیم و حفاظت در برابر خوردگی محسوب می شود. در این مقاله، نتایج بیانگر ایجاد یک پوشش همگن، یکنواخت، عاری از ترک همراه با بهبود مقاومت به خوردگی عالی است. پوشش نانو ساختار تیتانیا حاوی درصد های مختلف بنزوتريازول همانند ۱/۴، ۲/۸ و ۴/۲ درصد به خاطر واکنش بسیار عالی و پایدار ما بین ترکیبات آلکوکسیدی و متوکسی سیلان و عامل ترمیم کننده آلی، بخصوص در ۲/۸ درصد بنزوتريازول، باعث ایجاد یک مانع

بسیار قوی جهت جلوگیری از نفوذ محلول شیمیایی به سطح فلز می شوند، که می تواند ناشی از دانسته و ساختار اتصال عرضی لایه سیلیکات هیبریدی، تیتانیا و بنزوتريازول باشد. دو نوع مکانیزم ترمیم شوندگی برای پوشش نانو ساختار پایه تیتانیا در محلول ۳،۵ درصد NaCl در نظر گرفته شده، که عبارتند از: الف- واکنش تیتانیوم با اکسیژن بعد از گذشت ۴۸ ساعت غوطه وری و ب- رها سازی عامل ترمیم کننده پلیمری بنزوتريازول بعد از گذشت ۲۴ ساعت غوطه وری.

مراجع

- [1] T. Nesterova, K. Johansen, L. Pedersen, et al, Microcapsule-based self-healing anticorrosive coatings: Capsule size, coating formulation and exposure testing, Progress in Organic Coatings, Vol.75 , 2012, Pp. 309– 318.
- [2] K. Kikuchi, M. Isobe, C. Kato, M.Uchida , Corrosion of the vehicles used in North America: Anti-corrosion performance of galvanized steel sheet in several parts of a vehicle, JSAE Review, Vol. 75 , 2001, Pp. 205-210.
- [3] M. Abdollah Zadeh, S. van der Zwaag, S.J. Garcia, Routes to extrinsic and intrinsic self-healing corrosion protective sol-gel coatings: a review Self-Healing Materials, Smart & Stimuli Responsive Materials, Vol. 1, 2013, Pp. 1–18.
- [4] A.Amirudin, D.Thierry, Corrosion mechanisms of phosphated zinc layers on steel as substrates for automotive coatings, Progress in Organic Coatings, vol. 28, 1996, Pp. 59-75.
- [5] Mars G.Fontana ,Corrosion Engineering, 3rd Ed, McGraw- Hill Book Company, 1986.
- [6] A.Tuan, M.Yoon, V. Medvedev,et al, Effects of preparative parameters on the structure and performance of Ca-La metal oxide catalysts for oil transesterification ,Thin Solid Films,Vol. 377/378, 2000, Pp. 766-771.
- [7] B.C.Kang, S.B.Lee ,J.H.Boo, Growth of TiO₂ thin films on Si(100) substrates using single molecular precursors by metal organic chemical vapor deposition, Surface and Coating Technology, Vol. 131, 2000, Pp. 88-92.
- [8] X.Liu, J.Yin, Z.G.Liu, X.B.Yin, Structural characterization of TiO₂ thin films prepared by pulsed laser deposition on GaAs(1 0 0) substrate, Applied Surface Science, Vol. 174, 2001, Pp. 35-39.
- [9] A. Shanaghi, A. Sabour Rouhaghdam, T. Shahrabi, M. Aliofkhazraei, Corrosion protection of mild steel by applying TiO₂ nanoparticle coating via sol-gel method, Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, Vol. 45, 2009, Pp. 305-311.
- [10] N. Lari, Sh. Ahangarani, A. Shanaghi, Effect of different TiO₂-SiO₂ multilayer coatings applied by Sol-Gel method on antireflective property, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 24, 2015, Pp. 2645-2652.
- [11] C.Brinker, G. Schere, Sol-Gel Science, Academic Press, New York, 1990.
- [12] E. Duyuet, Introduction to Hybrid Organic-Inorganic Materials, Materials Letter, vol. 42 ,2000, Pp. 305-310.
- [13] C. Park, Imaging carbon nanotubes in High performance polymer composites via magnetic Force Microscopy ,Langley Research Center, Vol. 48, 2002, Pp. 656-658.

- [14] S. M. Madani, M. Ehteshamzadeh, H. H. Rafsanjani, S. S. Mansoori, The effect of calcination on the corrosion performance of TiO₂sol-gel coatings doped with benzotriazole on steel CK45, Materials and Corrosion ,Vol. 61, 2010, Pp. 318-323.
- [15] A. Stankiewicz, I. Szczygieł, B. Szczygieł, Self-healing coatings in anti-corrosion applications, Journal of Material Science, Vol. 48 , 2013, Pp. 8041-8051.
- [16] X. He, C. Chiu, M. Esmacher, H. Liang, Nanostructured photocatalytic coatings for corrosion protection and surface repair, Surface and Coatings Technology, Vol. 237, 2013, Pp. 320-327.
- [17] A.N. Khramov, N.N. Voevodin, Hybrid organo-ceramic corrosion protection coatings with encapsulated organic corrosion inhibitors, Thin Solid Films, Vol. 447, 2004, Pp. 549-557.
- [18] Y. S. Kim, S. H. Kim, J. G. Kim, Effect of 1, 2, 3-benzotriazole on the corrosion properties of 316L stainless steel in synthetic tap water, Metals and Materials International, Vol. 21, 2015, Pp. 1013-1022.
- [19] A. Shanaghi, Sh. Ahangarani, A. R. Sabour Rouhaghdam, P. K. Chu, Improved tribological properties of TiC with porous nanostructured TiO₂ intermediate layer, Materials Chemistry and Physics, Vol. 131, 2011, Pp. 420-424.
- [20] N. Iari, Sh. Ahangarani, A. Shanaghi, Effect of Different TiO₂-SiO₂ Multilayer Coatings Applied by Sol-Gel Method on Antireflective Property, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 24, 2015, Pp. 2645-2652.
- [21] E.D. Mekeridis, I.A. Kartsonakis, G.C.Kordas, Multilayer organic-inorganic coating incorporating TiO₂ nanocontainers loaded with inhibitors for corrosion protection of AA2024-T3, Progress in Organic Coatings, Vol. 73, 2012, Pp. 142- 148.