

بررسی تاثیر چرخه کاری بر رفتار خوردگی پوشش نانوکامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ به روش رسوبدهی الکتروشیمیایی پالسی

احمد منصوری^۱، منصور فرزام^{۲*}

^۱ گروه مهندسی مواد، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
^۲ دانشیار، گروه مهندسی بازرسی فنی، دانشگاه صنعت نفت آبادان.

* نویسنده مسئول: farzam@put.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۰۴

چکیده

در این مقاله، نتایج تاثیر چرخه کاری برخواص خوردگی پوشش نانو کامپوزیتی نیکل - مس - اکسید سریم (Ni-Cu-CeO₂) به روش رسوبدهی الکتروشیمیایی پالسی ارائه شد. پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ از طریق رسوب همزمان نانو ذرات اکسید سریم در زمینه نیکل - مس در طی مدت زمان فرایند آبکاری بدست آمد. ضخامت پوشش نانو کامپوزیتی بر روی زیر لایه فولادی کم کربن از جنس ورق ۳۷.st، ۲۶μm بدست آمد. مورفولوژی سطح و ترکیب پوششها توسط میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM) مجهز به دستگاه آنالیز EDX مورد مطالعه قرار گرفت. مشاهده شد که مورفولوژی سطح پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂، هموارتر و متراکمتر، همراه با ساختار ریز و نانو ذرات اکسید سریم به صورت یکنواخت در زمینه نیکل - مس پوشش توزیع شده اند. رفتار الکتروشیمیایی پوششها در محلول ۳/۵ درصد NaCl در دمای ۲۵°C توسط پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون پلاریزاسیون نشان داد که با افزایش چرخه کاری، جریان خوردگی افزایش یافته و پتانسیل خوردگی به مقادیر با پتانسیل منفی تر میل می کند. در نتیجه منجر به کاهش مقاومت به خوردگی پوشش می شود. هم چنین نتایج آنالیز EDX نشان داد که با افزایش چرخه کاری میزان نانو ذرات در پوشش کاهش پیدا می کند.

کلمات کلیدی: غوطه وری گرم، رسوبدهی الکتروشیمیایی پالسی، پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂، چرخه کاری، مقاومت به خوردگی، طیف نمایی امپدانس؛

Effect of Duty Cycle on Corrosion Behavior of Pulse Electrodeposition Ni-Cu-CeO₂ Nano-Composite Coating

M. R. Mansouri¹, M. farzam^{2*}

¹ Department of Materials Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

² Associate Professor, Petroleum University of Technology.

* Corresponding Author: farzam@put.ac.ir

Submission: 2016, 12, 16 Acceptance: 2017, 04, 24

Abstract

In this article the results of the Duty Cycle on corrosion properties of Pulse Electrodeposited Ni-Cu-CeO₂ nanocomposite coating are presented. The nanocomposite coating was obtained by the codeposition of CeO₂ nanoparticles with Ni-Cu during the electroplating process. The coating thickness obtained on the St.37 low carbon steel was 26 μm. The surface morphology and composition of the coating was studied using SEM Field Emission (FESEM) with energy dispersive analyzer system (EDX). It was found that the Ni-Cu-CeO₂ nanocomposite coating surface morphology is smooth. The electrochemical behavior of the coating was investigated by Potentiodynamic Polarization and Electrochemical Impedance Spectroscopy methods. It was found that with the increase in Duty Cycle, The corrosion current increased and the potential became more negative. The results of energy dispersive analyzer system (EDX) showed that as the Duty Cycle increased the amount of nanoparticles in the coating is decreased.

Keywords: Pulse Electrodeposition, Ni-Cu-CeO₂ Nanocomposite Coatings, Duty Cycle, Corrosion Resistance, Impedance Spectroscopy;

۱ - مقدمه

پوشش‌های کامپوزیتی رسوبدهی الکتريکی از فناوری‌های جدید اصلاح سطح هستند که به‌طور گسترده برای کاربردهای صنعتی فلزات، بهبود مقاومت به خوردگی و سایشی، سختی و پایداری حرارتی و خواص مکانیکی استفاده می‌شود [۱]. این پوشش‌ها معمولاً از دو یا چند جزء تشکیل شده‌اند که جزء اصلی آن‌ها زمینه و مابقی فاز ثانویه نام دارد [۲]. خواص پوشش‌های نانو کامپوزیتی عمدتاً وابسته به فاز زمینه، ماهیت، اندازه و میزان پراکنندگی ذرات هم‌زمان رسوب داده شده در پوشش است [۳ و ۴]. هم‌چنین وجود نانو ذرات کامپوزیت در پوشش‌ها در نقش ذرات مقاوم به سایش، سختی و خوردگی امروزه به‌طور چشم‌گیری مورد توجه قرار گرفته‌اند [۵-۸]. هم‌رسوبی ذرات خنثی در پوشش‌های فلزی خواص فیزیکی و مکانیکی این پوشش‌ها را بهبود می‌بخشد و یک رسوب فلز نانو کریستالی به علت اصلاح رشد تشکیل می‌دهد [۹]. پوشش‌های کامپوزیتی به روش‌های مختلفی مانند آبکاری الکتريکی، الکترولس، رسوب نشانی از فاز بخار، متالورژی پودر قابل اعمال است [۱۰ و ۱۱]. آبکاری الکتريکی یکی از تکنیک‌هایی است که با استفاده از آن براحتی می‌توان پوشش‌های کامپوزیتی را تولید نمود [۱۲]. مزایای روش آبکاری الکتريکی در تولید پوشش‌های نانو کامپوزیتی، کنترل آسان عملکرد آن در دمای نزدیک اتاق، نرخ پوشش‌دهی بالا، دستیابی به خواص مکانیکی و شیمیایی مطلوب در اثر تغییر پارامترهای آبکاری، هزینه پایین تجهیزات مورد استفاده آن و قابلیت پوشش‌دهی شکل‌های هندسی پیچیده می‌باشد [۱۳ و ۱۴]. جریان الکتريسیته مورد استفاده در آبکاری الکتريکی می‌تواند به دو صورت مستقیم و منقطع باشد بررسی‌های انجام شده نشان داده است که پوشش‌هایی که با روش منقطع ایجاد می‌شوند نسبت به پوشش‌های روش مستقیم دارای مزیت‌هایی از قبیل مقاومت به خوردگی و مقاومت به سایش بالا هستند. در پوشش‌های منقطع علاوه بر عوامل از قبیل دانسیته و غلظت حمام می‌تواند پارامترهای درصد زمان روشن، pH، جریان، دما، فرکانس و شکل جریان را نیز موثر دانست در نتیجه کیفیت و ساختار و ترکیب آلیاژی به گونه‌ای است که می‌توان خواصی همچون مقاومت به خوردگی و سایش را بهبود بخشید [۱۵]. هم‌چنین در صورتیکه جریان مورد استفاده به‌صورت منقطع باشد حضور و درصد ذرات و نیز پراکنندگی آن‌ها در پوشش به‌مراه ساختار و مورفولوژی آن به‌راحتی قابل کنترل خواهد بود [۱۶ و ۱۷]. این پوشش‌ها دارای مقاومت سایش بالا [۱۸] مقاومت به خوردگی مناسب [۱۹] و خاصیت روان کاری بسیار مطلوب خواهند بود [۲۰]. آبکاری پالسی از تکنیک‌های شناخته

شده ی خوب برای رسوبدهی فلزات، آلیاژها و کامپوزیت‌ها است [۲۱]. پوشش‌دهی با جریان پالسی فواید چشمگیری را در مقایسه با جریان مستقیم فراهم می‌کند [۲۲]. جریان پالسی قادر به رسوب غلظت بالایی از نانو ذرات می‌باشد به گونه‌ای که رنج وسیعی از ترکیب رسوب و خواص تولید می‌گردد [۲۳]. هم‌چنین در این تکنیک پارامترهای پالسی می‌تواند فصل مشترک بین کاتد و محلول را تغییر دهند [۲۲]. کاربرد مواد کامپوزیتی به‌عنوان پوشش، فرصت دیگری برای بهبود خواص قطعات صنعتی و افزایش عمر قطعات در حین کار فراهم کرده است [۲۴ و ۲۵]. کاربردهای اکسید سیریم یا سریا به‌عنوان حسگر گاز، ماده‌ی الکتروود برای پیل‌های سوختی اکسیدی جامد، پمپ‌های اکسیژن، نمایشگرهای آمپرومتریک اکسیژن، محمل‌های کاتالستی برای سیستم‌های آگزوز خودرو و به ویژه مواد ساینده برای دوغاب صیقل کاری شیمیایی - مکانیکی به سرعت افزایش یافته است. در صنعت شیشه، سریا مؤثرترین عامل صیقل دادن شیشه جهت جلای اپتیکی دقیق در نظر گرفته می‌شود. سریا بسیار خالص هم‌چنین در فسفرها به کار می‌رود [۲۶]. آقای رنجان سین و همکاران، پوشش نانو کامپوزیت Ni-Cu-CeO₂ با روش آبکاری پالسی با چرخه کاری‌های مختلف (۶، ۹ و ۱۷ درصد) از یک الکتروولیت حاوی ذرات نانو ساین اکسید سیریم انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در ۹ درصد چرخه کاری بیشترین مقدار درصد وزنی نانو ذره خواهیم داشت ولی فراتر ۹ درصد، درصد وزنی نانو ذره اکسید سیریم کاهش پیدا کرده است [۲۷]. پاسخ‌های الکتروشیمیایی حاوی اطلاعات ارزشمندی پیرامون ساختار مشخصه‌های الکتروشیمیایی، عمدتاً بر کاوش و تحقیق مداوم سیستم‌های الکتروشیمیایی با روش‌های گوناگون بر حسب اشکال خاصی از پاسخ‌های جریان مستقیم و جریان متناوب مبتنی است. هر مشخصه پاسخ‌های الکتروشیمیایی، یک عامل بالقوه جهت مطالعه فصل مشترک است. تغییر در ظرفیت لایه دو گانه الکتريکی، به آشکار شدن تغییرات ناچیز بر روی فصل مشترک کمک می‌کند [۲۸ و ۲۹]. در این تحقیق، رفتار خوردگی الکتروشیمیایی پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ تولید شده به روش آبکاری الکتريکی پرداخته شده است. رفتار خوردگی توسط روش‌های پلاریزاسیون پتانسیو پویش و طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی در محلول ۳/۵ درصد NaCl مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲ - روش تحقیق

پوشش نانو کامپوزیت Ni-Cu-CeO₂ با میانگین ضخامت حدود ۳۰ μm توسط روش آبکاری الکتريکی جریان پالسی از

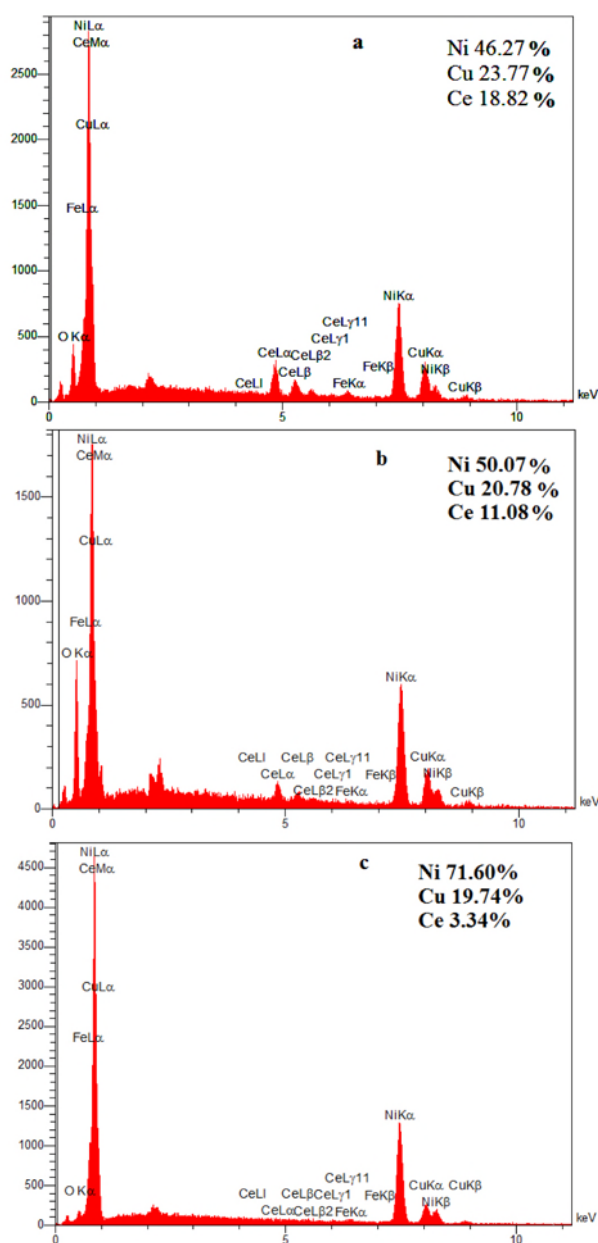
شدند. برای اندازه گیری های خوردگی الکتروشیمیایی، از سه الکتروود مشتمل بر نمونه های پوشش داده به عنوان الکتروود کار، الکتروود پلاتین و الکتروود Ag/AgCl به ترتیب به عنوان الکتروود شمارنده و الکتروود مرجع مورد استفاده قرار گرفت. منحنی های پلاریزاسیون پوشش ها توسط دستگاه Auto Lab PG ST 302 N بدست آمد. نرخ روبش $1\text{mv}\cdot\text{s}^{-1}$ در محدوده $\pm 500\text{mv}$ بود. قبل از شروع اندازه گیری E_{oc} ، هر یک از نمونه ها به مدت ۶۰ دقیقه مانیتور گردید تا واکنش سطح نمونه ها با محلول به حالت پایدار برسد. نتایج به دست آمده با نرم افزار Nova 1/8 مورد آنالیز قرار گرفت. آزمون امپدانس به منظور به دست آوردن منحنی Nyquist و Bode توسط دستگاه Auto Lab PG ST 302 N در محدوده فرکانس ۱۰Khz تا ۱۰Mhz در پتانسیل مدار باز در موج سینوسی $\pm 15\text{mv}$ انجام گرفت. قبل از آزمون هر نمونه به مدت ۶۰ دقیقه مانیتور گردید تا تغییرات پتانسیل به حداقل برسد. نتایج به دست آمده با نرم افزار Nova 1/8 مورد آنالیز قرار گرفت.

۳- نتایج

۳-۱- مورفولوژی سطح پوشش

اثر چرخه کاری ۸۰، ۶۰ و ۹۰ درصد بر مورفولوژی سطحی پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ در چگالی جریان ۱۰۰ میلی آمپر بر سانتی متر مربع و فرکانس ۱۰ هرتز در شکل ۱ مشاهده می شود. که با افزایش چرخه کاری ساختار متراکم تر و ریزتر شده است. این امر به دلیل کاهش زمان خاموشی در پی افزایش چرخه کاری می باشد. در سیکل های کاری پایین زمان خاموش بیشتر می باشد و همین امر سبب می شود ذرات اکسید سریم از شانس بیشتری برای وارد شدن به لایه دوگانه پیدا می کنند، به همین دلیل ذرات بیشتری در سیکل کاری پایین رسوب می کند. شکل ۱ از طرفی دیگر بدلیل اینکه احیاء الکتروشیمیایی اکسید سریم در زمان خاموشی و بعد از احیاء هیدروژن صورت می گیرد با کاهش زمان خاموشی، درصد اکسید سریم رسوبی کاهش می یابد و تمایل به ریز شدن مورفولوژی در پی کاهش درصد اکسید سریم در پوشش می باشد [۳۰، ۳۱ و ۳۲]. هم چنین با افزایش چرخه کاری از ۶۰٪ تا ۹۰٪، زمان روشنی (T_{ON}) افزایش می یابد و همچنین زمان خاموشی کاهش می یابد. این مسئله مترادف با این است که زمانی که در طی آن سطح کاتد از یون ها فقیر می شود (T_{ON})، افزایش و زمانی که در طی آن زمان، جبران کاهش غلظت یون ها در اثر رسوبدهی (T_{OFF}) می شود، کاهش می یابد. لذا بدیهی است که این مسئله موجب می شود تا درصد نانو ذرات رسوبی در این محدوده از چرخه کاری کاهش یابد. البته همان طور که ذکر شد، به طور کلی در دانسیته جریان حداکثر ثابت، با افزایش چرخه کاری

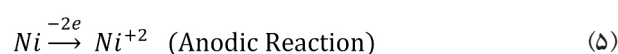
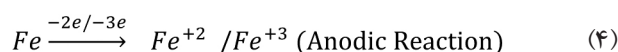
حمام 150gr/L سولفات نیکل ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)، 150gr/L سولفات مس ($\text{CuSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)، 5gr/L سدیم دودسیل سولفات (SDS) و 20gr/L سترات سدیم (Trisodium Citrate) و 10gr/L اکسید سریم (CeO_2) در مقادیر چرخه کاری های ۶۰٪، ۸۰٪ و ۹۰٪، در دمای 45°C ، سرعت هم زن 450rpm ، دانسیته جریان 100mA/cm^2 و $\text{pH}=9$ بر روی زیر لایه از ورق های فولاد کربنی St.37 و ضخامت ۲ میلی متر استفاده شده و از این ورق ها، کاتد به ابعاد $2\text{cm} \times 5\text{cm}$ برش زده شد. در این تحقیق محلول آبکاری از مواد ساخت شرکت مرک استفاده شده است. نانو ذرات اکسید سریم (CeO_2) با اندازه تقریبی ۱۰ تا ۳۰ نانومتر با درجه خلوص ۹۹/۹۷٪ و ساختار کریستالی سریا به منظور رسوب هم زمان در زمینه Ni-Cu جهت پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ و همچنین آب مقطر نیز جهت ساخت محلول آبکاری مورد استفاده قرار گرفت. پس از تهیه محلول آبکاری، محلول نیاز به هم خوردن و حرارت در دمای حدود 50 ± 2 درجه سانتیگراد دارد تا کاملاً یکنواخت شود. از آنجایی که در پوشش های کامپوزیتی هم زدن محلول، قبل و حین آبکاری الزامی است، پس از اضافه کردن اکسید سریم به حمام، به مدت ۲۴ ساعت هم زده شد و سپس چون حین آبکاری الکتریکی به دما وهم زدن توأم نیاز می باشد، از دستگاه هم زن مغناطیسی مدل هایدولف به همراه منشور حساس به دمای متصل به آن جهت کنترل دما استفاده گردید. جهت جلوگیری از آگلومره شدن نانو ذرات از فعال کننده سطحی آنیونی (SDS) استفاده گردید. جهت تنظیم pH از محلول آمونیاک استفاده گردید و pH محلول الکترولیت در حدود ۹ تنظیم گردید. سپس نمونه ها (کاتد) در مرحله آماده سازی ابتدا با استفاده از کاغذ سنباده های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰، ۲۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰ سنباده کاری شدند و سطح نمونه ها به منظور رسیدن به سطحی آینه ای با پارچه نمدی پرداخت شد. پس از پولیش کاری به مدت ۲ دقیقه و با کمک استون و اتانول جری زدایی انجام گردید. به منظور فعال سازی سطح نمونه ها از اسید کلریدریک ۵۰ درصد حجمی به مدت ۱ دقیقه استفاده گردید و نهایتاً با آب مقطر شسته شد. سپس از نیکل خالص ۹۹/۹٪ ابعاد $60\text{mm} \times 60\text{mm}$ به عنوان آند در فرآیند آبکاری الکتریکی پوشش نانو کامپوزیت نیکل - مس - اکسید سریم مورد استفاده قرار گرفت. کاتد و آند با فاصله 3cm^2 از یکدیگر در بشر با حجم ۱۰۰ ml حاوی محلول آبکاری قرار داده شدند. قبل از مطالعات خوردگی الکتروشیمیایی، مورفولوژی سطح و ترکیب پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ توسط میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی مدل Mira 3-XMU مجهز به میکرو آنالیز EDS نسل دوم بررسی گردید. آزمون های پلاریزاسیون پتانسیو پویش در پیل حاوی ۵۰ میلی لیتر در محلول ۳/۵ درصد NaCl در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد انجام



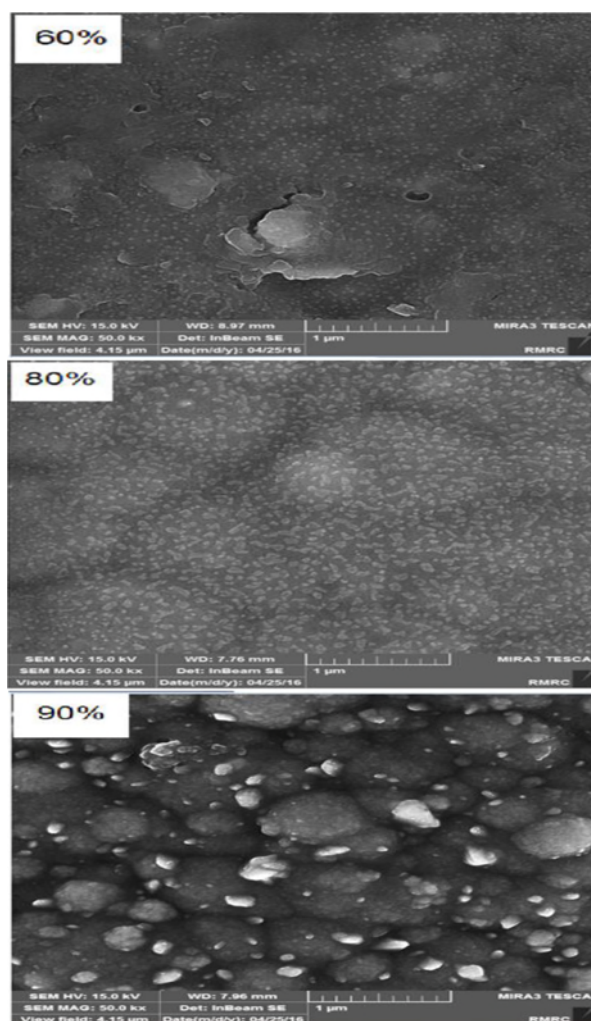
شکل ۲- نتایج EDS در چرخه کاری مختلف
 /٪۹۰ (c) /٪۸۰ (b) /٪۶۰ (a)

همچنین افزایش چرخه کاری باعث کاهش حضور ذرات اکسید مس در پوشش می‌شود به طوری که در نتایج حاصل از EDS بدست آمده در چرخه کاری‌های مختلف در شکل ۲ نشان می‌دهد افزایش چرخه کاری باعث کاهش درصد وزنی ذرات در پوشش می‌شود. علت آن این است که با افزایش چرخه کاری زمان روشنی الکتریکی میزان مس کاهش و نیکل افزایش می‌یابد علت آن را می‌توان در غلظت بالای نیکل در حمام و پلاریزاسیون رسوب الکتروشیمیایی مس و نیکل دانست در چگالی جریان پایین

دانسیته جریان متوسط افزایش می‌یابد، ولی مشاهده می‌شود که در این محدوده اثر این پارامتر بر پارامتر افزایش (T_{ON}) و کاهش (T_{OFF}) غالب نیست و درصد ذرات رسوبی کاهش می‌یابد.



در سل آبکاری اغلب واکنش‌ها از نوع ۱ الی ۵ می‌باشند.

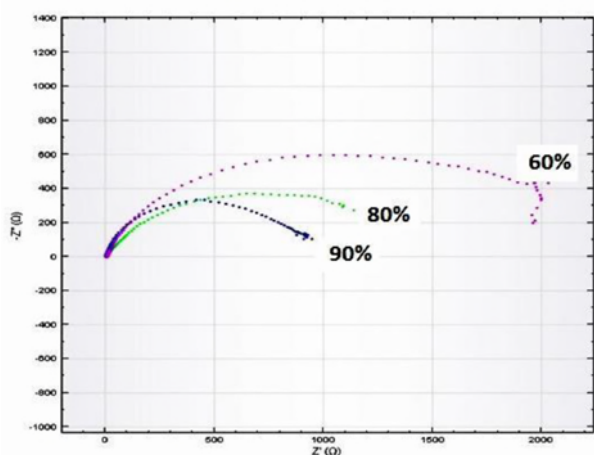


شکل ۱- تاثیر چرخه کاری بر روی مورفولوژی پوشش
 /٪۹۰ (c) /٪۸۰ (b) /٪۶۰ (a)

تاثیر چرخه کاری بر منحنی پلاریزاسیون پوشش Ni-Cu-CeO₂ در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش چرخه کاری، جریان خوردگی افزایش می‌یابد علت آن این است که با افزایش چرخه کاری زمان خاموشی کاهش می‌یابد و شرایط به حالت DC نزدیک می‌شود. به دلیل زمان خاموشی کوتاه، آزاد سازی یون هیدروژن کمتر اتفاق می‌افتد و به نوبه خود تنش‌های باقی مانده بیشتر است و محل‌های مناسب برای ایجاد خوردگی در پوشش می‌باشد با افزایش چرخه کاری تا ۹۰ درصد زمان خاموشی بسیار کوتاه می‌شود و تنش باقیمانده در پوشش افزایش می‌یابد بنابراین جریان خوردگی افزایش می‌یابد [۳۰، ۳۶ و ۳۷].

۳-۳ - طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی پوشش‌ها

به منظور بررسی دقیق‌تر رفتار خوردگی پوشش نانوکامپوزیت Ni-Cu-CeO₂، آزمون الکتروشیمیایی امپدانس مورد استفاده قرار گرفت. منحنی‌های نایکوئیست در ولتاژ مدار باز بعد از ۶۰ دقیقه غوطه‌وری نمونه در محلول ۳/۵ درصد NaCl در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. نتایج بدست آمده از طیف امپدانس در چرخه کاری مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ - منحنی نایکوئیست در چرخه کاری مختلف.

همان‌طور که از نمودار مشاهده می‌شود پوشش در چرخه کاری ۶٪ بیشترین مقاومت و در چرخه کاری ۹۰٪ کمترین مقاومت را دارد. این نمودارها به صورت نیم دایره بوده که در چرخه کاری ۶۰٪، دارای بزرگترین قطر می‌باشد و در جدول ۲ مقادیر مربوط به مدار معادل آورده شده است.

رسوب از نوع نرمال می‌باشد که با نفوذ عنصر نجیب‌تر همراه است و آلیاژ حاصل دارای درصد بیشتری از عنصر نجیب‌تر می‌باشد. اما با افزایش چرخه کاری (تزدیک بودن به جریان مستقیم) و افزایش زمان روشنایی سیستم از حالت نرمال به آناملوس تغییر می‌کند و رسوب نیکل به دلیل پلاریزاسیون بالاتر و غلظت بیشتر آن در حمام، سریع‌تر انجام می‌شود [۳۰ و ۳۳].

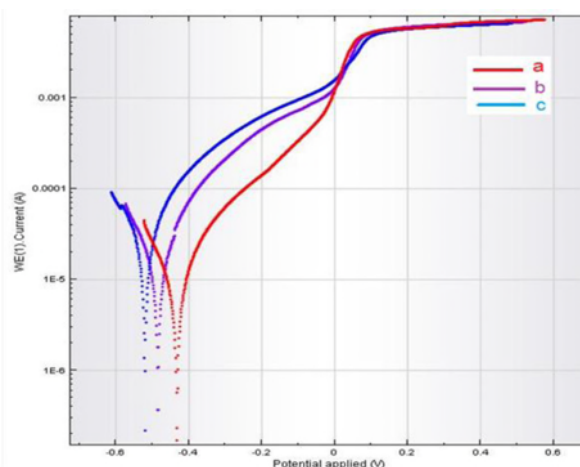
۳-۲ - آزمون پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک پوشش

منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیو دینامیک پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ با مقادیر مختلفی از دانسیته جریان در محلول خورنده ۳/۵ درصد NaCl در شکل ۳ نشان داده شده است. پتانسیل خوردگی (E_{corr}) با استفاده از روش برون‌یابی تافل در نقطه برخورد منحنی‌های آندی و کاتدی تافل و نرخ خوردگی با استفاده از معادله استرن‌گری محاسبه می‌شود [۳۴ و ۳۵]. که I_{corr} دانسیته جریان خوردگی، R_p مقاومت پلاریزاسیون و β_a و β_c شیب منحنی تافل کاتدی و آندی است.

$$I_{corr} = \beta_a \beta_c / 2.303 \times R_p (\beta_a + \beta_c) \quad (1)$$

جدول ۱ - نتایج حاصل از منحنی‌های پلاریزاسیون در چرخه کاری مختلف

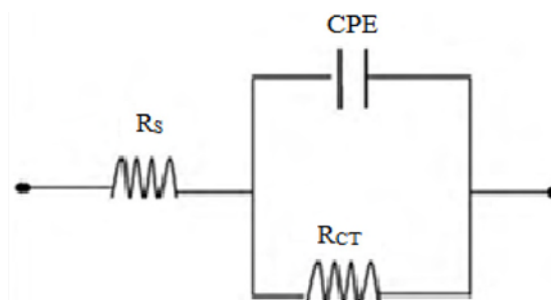
| θ | I_{corr} ($\mu A/cm^2$) | E_{corr} (mV) | R_p ($\Omega.cm^2$) |
|----------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|
| ۶۰ | ۲۰/۳۸ | -۴۲۶ | ۲۶۷۱ |
| ۸۰ | ۲۳/۴۱ | -۴۴۸ | ۱۵۱۱ |
| ۹۰ | ۲۵/۶۲ | -۴۷۰ | ۱۰۲۳ |



شکل ۳ - تاثیر چرخه کاری بر روی منحنی پلاریزاسیون پوشش در چرخه کاری‌های مختلف (a) ۶۰٪، (b) ۸۰٪، (c) ۹۰٪

۴- نتیجه گیری و جمع بندی

پوشش نانو کامپوزیتی Ni-Cu-CeO₂ توسط روش آبرکاری الکتریکی پالسی رسوب داده شده است. مورفولوژی سطح پوشش نانو کامپوزیتی، طبق تصاویر (FESEM) و آنالیز EDX، با افزایش چرخه کاری، مورفولوژی سطح پوشش متراکم تر، هموارتر و ریزدانه تر می شود. منحنی های پلاریزاسیون بدست آمده از محلول ۳/۵ درصد NaCl نشان داد، که با افزایش چرخه کاری، پتانسیل خوردگی به مقادیر منفی میل کرده و مقدار جریان خوردگی به افزایش می یابد به طوری که در ۹۰٪، میزان جریان خوردگی به (۲۵/۶۲ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$) می رسد، در نتیجه مقاومت خوردگی پوشش با افزایش میزان چرخه کاری کاهش پیدا می کند و در ۶۰٪ چرخه کاری، بیشترین میزان مقاومت به خوردگی (R_p) را خواهیم داشت. از نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت که با افزایش چرخه کاری، میزان مس و نیکل موجود در پوشش با افزایش چرخه کاری به ترتیب افزایش و کاهش پیدا می کند. همچنین با افزایش چرخه کاری، میزان نانو ذره در پوشش کاهش پیدا کرده است.



شکل ۵- مدار منطبق شده بر نتایج به دست آمده از منحنی های امپدانس.

جدول ۲- پارامترهای امپدانس پوشش اندازه گیری شده در چرخه کاری های مختلف

| Θ | $R_s(\Omega.\text{cm}^2)$ | $R_{CT}(K\Omega.\text{cm}^2)$ | $Q_{dl}(\mu\text{S}.\text{cm}^{-2})$ | N |
|----------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|
| ۹۰ | ۱۹/۶۵ | ۲/۷۱ | ۱۱۰ | ۰/۶۰ |
| ۸۰ | ۲۶/۳۳ | ۳/۳ | ۱۰۶ | ۰/۶۶ |
| ۶۰ | ۳۱/۲۱ | ۸/۸ | ۹۴ | ۰/۸۸ |

مراجع

- [1] Th.Lampk, A.Leopold, "Correlation between structure and corrosion behavior of nickel dispersion coatings containing ceramic particles of different size", surface and coatings technology, (2006).
- [2] B. Talbot, Electrodeposition of Nano Composite Films, Plating and Surface Finishing, (2004), Pp 60-65.
- [3] W.Wang,F.Hou,H.Wang and H. Guo, fabrication and Composite nanocoating Charateriazation of Ni-Zro₂ Nanocoatings by Pulse Electrodeposition, Scripta Materialia Journal,Vol. 53, 2005 ,Pp.311.
- [4] N. Kanani, Electrplating-basic Principles, Process and Practice , Elsevier, Berlin, 2005, 1 nd ED.
- [5] M. R. Vaezi , S. K. Sadrnezhad, L. Nikzad; Electrodeposition of Ni SiC nanocomposite coatings and evaluation of wear and corrosion resistance and electroplating characteristics; Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 315 (2008) 176 -182
- [6] M. E. Bahrololoom , R. Sani ; The influence of pulse plating parameters on the hardness and wear resistance of nickel alumina composite coatings; Surface & Coatings Technology 192 (2005) 154-163
- [7] Lei Shi a,b, Chufeng Sun a,b, Ping Gao a, Feng Zhou a, Weimin; Mechanical properties and wear and corrosion resistance of electrodeposited Ni Co/ SiC nanocomposite coating; Applied Surface Science 252 (2006) 3591-3599
- [8] Y. Wang , S. Lim , J. L. Luo , Tribological and corrosion behaviors of Al₂O₃/polymer nanocomposite coatings; Wear 260 (2006) 976-983
- [9] Hamed Ataee-Esfahani, M. R. Vaezi, Leila Nikzad, Bahare Yazdani, S. K. Sadrnezhad, "Influence of SiC nanoparticles and saccharin on the structure and properties of electrodeposited Ni-Fe/SiC nanocomposite coatings", Journal of Alloys and Compounds 484 (2009) 540-544.

- [10] Liping Wang, Yan Gao, Huiwen Liu, Qunji Xue, Tao Xu; Effects of bivalent Co ion on the co-deposition of nickel and nano-diamond particles ; Surface & Coatings Technology 191 (2005) 16.
- [11] I. Nap oszek-Bilnik, A. Budniok, E. agiewka; Electrolytic production and heat treatment of Ni-based composite layers containing intermetallic phases; Journal of Alloys and Compounds 382 (2004) 54-60
- [12] Lawrence J. Durney, Electroplating Engineering Handbook, 4th Ed , 1984
- [13] L. Shi, C. Sun, P. Gao, F. Zhou, W. Liu, Mechanical Properties and Wear and Corrosion Resistance of Electrodeposited Ni-Co/SiC Nanocomposite Coating, Applied Surface Science Journal, Vol. 252, 2006, pp. 3591-3599.
- [14] S. Karuppachamy, J. Mun Jeong, Superhydrophilic Amorphous Titanium Dioxide Thin film Deposited by Cathodic Electrodeposition, Materials Chemistry and Physics Journal, Vol. 93, 2005, Pp. 251-254
- [15] C. T. J. Low, R. G. A. Wills, F. C. Walsh, Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit, Surface & Coatings Technology 201 (2006) 371-383
- [16] Electroplating Handbook , ASTM 31 May 2005.
- [17] L. M. Changa, M. Z. Ana, S. Y. Shi, Microstructure and Characterization of Ni-Co-Al₂O₃ composite Coating by Pulse Reversal Electrodeposition , Material Chemistry and Physical 100(2006) 395-399.
- [18] J. Li, Y. Sun, X. Sun, J. Qia, Mechanical and Corrosion-Resistance Performance of Electrodeposited Titania-Nickel Nanocomposite Coating , Surface and Coatings Technology 192 (2005) 331-335.
- [19] Kung-h Hsu Hou, Wen-hwa HWU, Shih-Tsung Ke , Ming-Der ger, Ni-P-SiC Composite Produced by Pulse and Direct Current Plating, Materials Chemistry and Physics 100(2006) 54-59.
- [20] Niu Zhao-XIA, CaO FA-HE, Wang WEI, Zhang Zhao, Zhang JIAN-QING, CAO CHU-Nanf, Electrodeposition of Ni-SiC Nanocomposite Film, Trans. Nanoferrous MET. SOC. China 17(2007) 9-15
- [21] H. Ferkel, B. M. Müller, W. Riehemann, Mater. Sci. Eng. A 234 (1997) 474-476.
- [22] Hadi Adelkhani, Mohammad Reza Arshadi, "Properties of Fe-Ni-Cr alloy coatings by using direct and pulse current electrodeposition", Journal of Alloys and Compounds 476 (2009) 234-237.
- [23] C. T. J. Low, R. G. A. Wills, F. C. Walsh, "Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit", Surface & Coatings Technology 201 (2006) 371-383.
- [24] A. Rimmarder, Characterization of High Temperature Metal Matrix Composite Coating, Advances in Surface Engineering, Engineering Application, Edited by J.S. Burnell-Gray and P. K. Datta. Cambridge, The Royal Society of Chemistry Journal, Vol. 3, 1997
- [25] P. ZHU, W. Xiong-dong, M. Gang, D. Jing-Xin, Q. Shao hesheng and SH. Yang yuan, Nickel base Alloy Cast Tungsten Carbide Particles Composite coating by Laser Cladding and The Wear Behavior, Advances in Surface Engineering, Process Technology, Edited by J.S. Burnell-Gray and P.K. Datta, Cambridge, The Royal Society of Chemistry Journal, 1997, Vol. 2.
- [26] S.T. Aruna, C.N. Bindu, V. Ezhil Selvi, Synthesis and Properties of Electrodeposited Ni/ceria Nanocomposite Coatings, Surface & Coatings Technology, 200, (2006), pp 6871-6880.
- [27] Ranjan Sen, Siddhartha Das, Karabi Das, Influence of duty cycle on the microstructure and microhardness of pulse electrodeposited Ni-CeO₂ nanocomposite coating Materials Research Bulletin, 47 (2012) 478-485.
- [28] E. Yeager, A.J. Salkind, Techniques of Electrochemistry , John Wiley Sons, 1973.
- [29] G.A. Ragoisha, A.S. Bondarenko, Electrochim. Acta journal, vol. 50, 2005, pp. 1553-1563.

- [۳۰] قطبی، علی؛ بررسی مقاومت خوردگی و سایشی پوشش نانو کامپوزیتی نیکل - کبالت - اکسید تیتانیم به روش آبکاری پالسی؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال ۹۱.
- [۳۲] سارا کعبی فلاحیه اصل، کیوان رئیسی، احمد ساعتچی، "مقایسه پوشش های نانو کریستالی نیکل - تنگستن رسوب داده شده به روش پالس و جریان مستقیم"، دومین همایش مشترک انجمن مهندسين متالوژی ایران و جامعه ریختگری ایران، کرج، ص ۱۰-۱، سال ۱۳۸۷
- [31] Y. Boonyongmaneerat, K. Saengkiettiyut, S. Saenapitak, "Pulse Co-lectrodeposition and Characterization of NiW-WC Composite are Coating," Journal of Alloys and Compounds, Vol. 506,(2010), Pp 151-154.
- [33] G. Heidari, H. Tavakoli, S.M. Mousavi Khoie, " Nano SiC-Nickel Composite Coatings from a Sulfamat Bath Using Direct Current and Pulsed Direct Current", MEPEG, 19, Pp1183-1188, (2010).
- [34] M. Stem, A.L.Geary, Electrochemical Polarization, J.Electrochem.Soc. 104, (1957) ,pp 56-63.
- [35] A.Ciubotariu, I. Benea, M. Varsanyi, V. Dragan,Electrochemical Impedance Spectroscopy and Corrosion Behavior of AL2O3-NI Nanocomposite coating ,Electrochemical Acta Journal , 53 Ed, 2008, Pp.4557-4563.
- [36] C.C. Hu, A. Bai, "Effects of Annealing Temperatures on the Physicochemical Properties of Nickel-Phosphorus Deposits", Mater. Chem. Phys. 79,(2003), 49-57.
- [37] K. Prashantha, S.G. Park,, Nanosized TiO2-filled Sulfonated Polyethersulfone Proton Conducting Membranes for Direct Methanol fuel cells, J. Appl. Polym. Sci. 98, ,(2005),1875-1878.