

بررسی اثر میان لایه نیکل الکترولس بر رفتار خوردگی فولاد فنر Cr-Si پوشش داده شده با Zn خالص و Zn-12%Ni

حمید ناظمی^{۱*}، مریم احتشامزاده^۲

^۱ استادیار، بخش مهندسی مواد و متالورژی، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

^۲ استاد، بخش مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

* نویسنده مسئول: hamidnazemy@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۵

چکیده

در این مقاله، پوشش‌های Zn خالص و Zn-12%Ni به روش آبکاری الکتریکی با استفاده از حمام قلیایی بر روی مفتول‌هایی از جنس فولاد فنر Cr-Si با استحکام بالا اعمال شدند و اثر ایجاد یک میان‌لایه نیکلی از طریق روش الکترولس قبل از آبکاری الکتریکی، بر رفتار خوردگی پوشش‌ها از طریق تکنیک‌های پلاریزاسیون تافل و امپدانس الکتروشیمیایی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمون پلاریزاسیون نشان داد که رسوب آلیاژی Zn با نیکل، پتانسیل خوردگی را به سمت مقادیر نجیب‌تر جابجا کرده و جریان خوردگی را نیز کاهش می‌دهد. همچنین حضور میان‌لایه نیکل، پتانسیل خوردگی پوشش Zn خالص را از ۱۰۴۴ mV به ۱۱۸۸ mV- و جریان خوردگی آن را از ۴۳/۱ μA به ۱۱۹/۴ μA تغییر می‌دهد. نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی نشان داد که مقاومت پلاریزاسیون پوشش‌های Zn خالص و Zn-12%Ni در حضور میان‌لایه نیکل به ترتیب به میزان ۶۴٪ و ۷۷٪ کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: میان لایه نیکل، فولاد فنر Cr-Si، خوردگی، Zn خالص، Zn-12%Ni

The Effect of Electroless Nickel Interlayer on the Corrosion Behavior of Cr - Si Spring Steel Electroplated With Pure Zn and Zn-12%Ni

H. Nazemi^{1*}, M. Ehteshamzadeh²

¹ Assistance Professor, Department of Materials Science and Engineering, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

² Professor, Department of Materials Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

* Corresponding Author: hamidnazemy@yahoo.com

Submission: 2016, 05, 04 Acceptance: 2016, 11, 15

Abstract

In This Article, Pure Zn and Zn-12%Ni Coatings Were First Applied by Electroplating Using an Alkaline Bath on the High Tensile Strength Cr - Si Spring Steels and Then the Effect of Electroless Plating of a Nickel Interlayer on Corrosion Behavior of Those Coatings Was Assessed and Compared Due to Tafel Plot and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Polarization Test Results Shows That Alloying Zn With Nickel Shifts the Corrosion Potential Towards More Noble Values and Reduces the Corrosion Current. The Presence of the Nickel Interlayer Alters the Corrosion Potential of the Pure Zn Coating from -1044 mV to -1188 mV and the Corrosion Current from 43.1 μ A to 119.4 μ A. Besides, the EIS Results Indicate that the Coating's Polarization Resistance Decreases Significantly as a Result of the Nickel Interlayer. The Values Reduce 64% and 77% for Pure Zn and Zn-12%Ni, Respectively.

Keywords: Electroless Nickel Interlayer, Cr - Si spring Steel, Corrosion, Pure Zn, Zn-12%Ni

۱. مقدمه

فولاد فنر آلیاژی Cr-Si با استحکام بالا به طور گسترده‌ای در تولید انواع فنرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. فنرهای ساخته شده از این فولاد، توانایی تحمل تنش‌های عملیاتی بالا و بارگذاری‌های ضربه‌ای و ناگهانی را دارند. با توجه به استحکام کششی بالا و حساسیت این فولاد به تردی هیدروژنی، اغلب فرآیندهای آبکاری الکتریکی بر روی این فنرها انجام نمی‌شود. اما در موارد ضروری، آبکاری الکتریکی Zn خالص به منظور افزایش مقاومت به خوردگی، انجام می‌شود. این امر به علت حساسیت بالای این فولاد به تردی هیدروژنی، ممکن است به وقوع شکست‌های زودرس منجر شود [۱ و ۲]. به علاوه، فرآیندهای الکتروشیمیایی علاوه بر واکنش آزاد شدن گاز هیدروژن، به دلیل امکان ایجاد تنش‌های پسماند کششی در سطح فولاد و نیز چگالی بالای ریزترک‌های ناشی از آبکاری الکتریکی، منجر به کاهش عمر خستگی قطعات در شرایط بارگذاری دینامیکی می‌شوند [۳ و ۴]. در یک تحقیق با استفاده از مدل آماری Weibull اثبات شد که با اعمال یک میان‌لایه نیکل الکترولس، تعداد سیکل تا شکست فنرهای آبکاری شده با پوشش Zn-12%Ni در آزمون خستگی، حدود ۸٪ بهبود می‌یابد [۵].

آبکاری آلیاژی Zn-Ni به عنوان یک جایگزین مناسب برای پوشش Zn خالص به کار گرفته می‌شود. اغلب آلیاژسازی Zn با مقدار نیکل حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد می‌تواند بهبود قابل ملاحظه‌ای در کنترل نرخ خوردگی رسوبات آلیاژی نشان دهد [۶-۱۳]. پوشش‌های Zn-Ni از طریق یک مکانیزم نامتعارف (آنامولوس) تشکیل می‌شوند؛ به نحوی که مشارکت فلز نجیب‌تر یعنی نیکل، در تشکیل پوشش، بر خلاف انتظار، کمتر است و در نهایت رسوب آلیاژی با مقدار Zn زیاد و نیکل کمتر تشکیل می‌شود [۱۴، ۱۵ و ۱۶]. فولادهای با استحکام بالا اگر به وسیله پوشش‌های الکتروشیمیایی Zn-Ni با درصد نیکل بین ۱۰ تا ۱۴ درصد پوشش دهی شوند، هم تمایل اندکی برای تردی هیدروژنی نشان داده و هم پاسخ بهتری به عملیات هیدروژن زدایی از طریق پخت می‌دهند [۱۷ و ۱۸]. در تحقیق دیگری گزارش شده است که حضور میان‌لایه نیکل الکترولس، به عنوان یک سد فیزیکی در مقابل نفوذ هیدروژن عمل کرده و اندیس

تردی هیدروژنی فولاد Cr-Si را در پوشش‌های Zn خالص و آلیاژی Zn-12%Ni به ترتیب ۳۳٪ و ۵۴٪ کاهش می‌دهد [۱۹]. در این تحقیق، ابتدا سطح فولاد فنر Cr-Si از طریق فرآیند آبکاری الکترولس نیکل پوشش داده می‌شود. این لایه نیکل الکترولس به عنوان یک میان‌لایه، می‌تواند سد فیزیکی مناسبی در مقابل نفوذ هیدروژن در حین فرآیند آبکاری الکتریکی ایجاد نماید [۲۰ و ۲۱]. سپس پوشش‌های Zn خالص و Zn-12%Ni از طریق آبکاری الکتریکی بر روی میان‌لایه نیکلی اعمال می‌شوند. اثر حضور این میان‌لایه در تغییر رفتار خوردگی زیرلایه با استفاده از آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی، ارزیابی و مقایسه می‌شود.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- زیرلایه

فولاد فنر Cr-Si با نماد استاندارد 55SiCr6 با استحکام کششی ۱۹۲۰ MPa و سختی ۵۶RC به عنوان زیرلایه استفاده شد. ترکیب شیمیایی این فولاد در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد فنر Cr-Si با نماد استاندارد 55SiCr6

C	Mn	Cr	Si	P	S
۰/۵۵	۰/۶۸	۰/۶۴	۱/۴۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷

۲-۲- آبکاری الکتریکی Zn خالص

حمام سیانیدی استاندارد با ترکیب شیمیایی مندرج در جدول ۲ برای آبکاری الکتریکی Zn خالص استفاده شد. پس از چندین تلاش پوششی با ضخامت ۱۰ میکرون پس از ۲۰ دقیقه آبکاری به دست آمد.

۲-۳- آبکاری الکتریکی Zn-Ni

در این تحقیق از حمام قلبایی برای تهیه پوشش آلیاژی Zn-Ni با مشخصات و ترکیب شیمیایی مندرج در جدول ۳ استفاده شد. پس از چندین تلاش پوشش آلیاژی Zn-12%Ni به ضخامت تقریبی ۱۰ میکرون پس از ۳۰ دقیقه آبکاری الکتریکی به دست آمد.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی و مشخصات حمام آبکاری الکتریکی Zn خالص

مشخصات	ترکیب شیمیایی محلول الکترولیت (g/lit)					pH	دما (°C)	چگالی جریان (A/dm ²)
	NaCN	ZnCN	NaOH	Na ₂ CO ₃	براق کننده			
مقدار	۴۷	۶۱	۷۹	۱۵	۴	۱۲/۳	۲۵	۳

جدول ۳- ترکیب شیمیایی و مشخصات حمام آبکاری الکتریکی Zn-Ni

مشخصات	ترکیب شیمیایی محلول الکترولیت (g/lit)					pH	دما (°C)	چگالی جریان (A/dm ²)
	ZnCl ₂	NiCl ₂	NaOH	Na ₂ CO ₃	براق کننده			
مقدار	۱۰	۱	۱۳۰	۶۰	۴	۱۳	۲۵	۳

۲-۴- اعمال میان لایه نیکل الکتروکاتالیز

در این تحقیق میان لایه نیکل از طریق روش الکتروکاتالیز قبل از آبرکاری الکتروکاتالیز بر روی سطح زیرلایه اعمال شد. آبرکاری الکتروکاتالیز نیکل در یک حمام قلیایی با مشخصات و ترکیب شیمیایی مندرج در جدول ۴ برای رسیدن به رسوبی با مقدار فسفر کمتر از ۳ درصد انجام شد. رسوبی با ضخامت ۵ میکرون در مدت زمان حدود ۳۰ دقیقه از طریق روش الکتروکاتالیز تشکیل شد. نمونه‌ها قبل از آبرکاری الکتروکاتالیز به منظور بهبود ترشوندگی، توسط اسید نیتریک ۱۰٪ شستشو شدند.

۲-۵- آزمون‌های خوردگی الکتروشیمیایی

آزمون‌های خوردگی الکتروشیمیایی توسط دستگاه EG & G مدل 263A انجام شد. پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در پیل شامل ۱۰۰ ml محلول نمک طعام با غلظت ۳/۵ درصد در محدوده ولتاژ $250 \pm mV$ از پتانسیل مدار باز و با نرخ روبش $1 mV/sec$ انجام شد. قبل از شروع آزمون، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در محلول قرار گرفته تا واکنش سطح نمونه‌ها با محلول به حالت پایدار برسد. آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) نیز بر روی نمونه‌های مختلف انجام شد. در این آزمون دامنه ولتاژ $10 mV$ و فرکانس در بازه $10^5 Hz$ تا $10^3 Hz$ در نظر گرفته شد. در همه شرایط سطح در تماس نمونه‌ها با محیط خورنده، $1/3 cm^2$ بود. همچنین از نرم‌افزارهای Power Suite و Zview جهت رسم مدارهای معادل و تحلیل نتایج، و از نرم‌افزار Tecplot جهت ترسیم نمودارها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

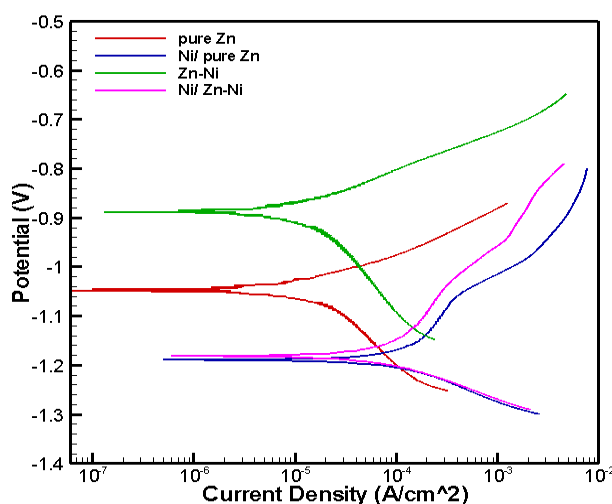
۳-۱- آزمون پلاریزاسیون الکتروشیمیایی

شکل ۱ اثر اعمال میان لایه را بر رفتار پلاریزاسیون پتانسیودینامیک پوشش‌های Zn خالص و Zn-Ni نشان می‌دهد. میان لایه تغییرات نامطلوبی در پتانسیل و جریان خوردگی پوشش‌ها ایجاد کرده است. به طوری که نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد، در اثر حضور میان لایه پتانسیل خوردگی پوشش Zn خالص از $1044 mV$ به $118 mV$ - و جریان خوردگی آن از $43/1 \mu A$ به $119/4 \mu A$ تغییر می‌کند. در مورد پوشش آلیاژی Zn-Ni، میان لایه نیکل، باعث شده تا پتانسیل خوردگی از $86 mV$ - به $118 mV$ - و جریان خوردگی از $15/5 \mu A$ به $8/9 \mu A$ برسد.

اثر میان لایه نیکل را می‌توان به تغییر شرایط فصل مشترکی نسبت داد. تفاوت نوع تنش پسماند در فصل مشترک میان لایه نیکل الکتروکاتالیز با پوشش Zn-Ni، به گسترش شبکه عیوب و ریز ترک در داخل پوشش آلیاژی منجر می‌شود. به طوری که این شبکه عیوب حتی تا سطح پوشش نیز امتداد یافته و مورفولوژی سطح را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مشاهدات ساساکی [۲۲] در نتیجه بررسی اختلاف تنش‌های پسماند در فصل مشترک، مؤید این مطلب است. مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ با شکل‌های ۴ و ۵ نشان‌دهنده ناهم‌واری و غیریکنواختی بیشتر در حضور میان لایه است. به همین دلیل جریان خوردگی که متناسب با دانسیته عیوب سطحی است، در حضور میان لایه، افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. این با گزارش سوجیمارو [۲۳] در خصوص تشدید شبکه عیوب در فصل مشترک سیستم‌های پوشش چند لایه تطابق دارد.

جدول ۴- ترکیب شیمیایی و مشخصات حمام آبرکاری الکتروکاتالیز نیکل

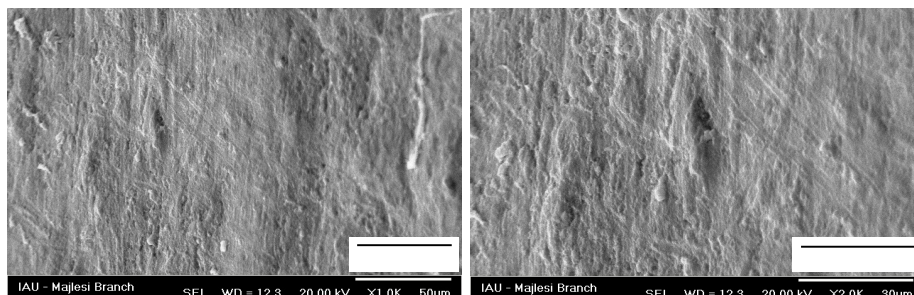
مشخصات	ترکیب شیمیایی محلول الکتروکاتالیز (g/lit)						pH	دما (°C)
	Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ .5H ₂ O	NH ₄ OH	NH ₄ Cl	NaH ₂ PO ₂	NiCl ₂ .7H ₂ O			
مقدار	۸۰	۹	۵۰	۲۰	۳۰		۹/۵	۸۰



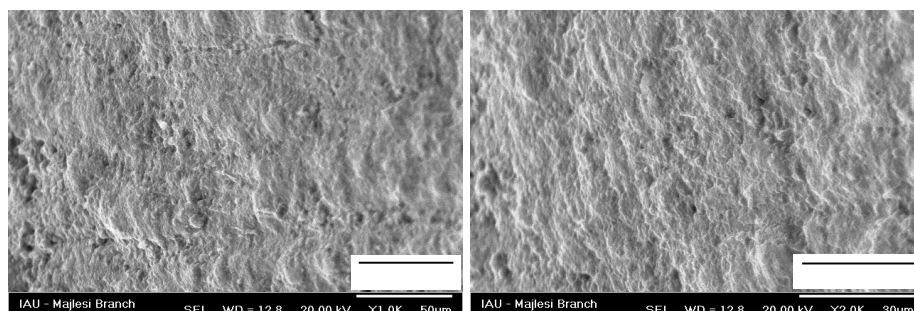
شکل ۱- اثر حضور میان لایه نیکل بر منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک پوشش‌های Zn خالص و Zn-Ni.

جدول ۵ - مقادیر پتانسیل و جریان خوردگی نمونه‌های مختلف که با برون‌یابی تافل به دست آمده است

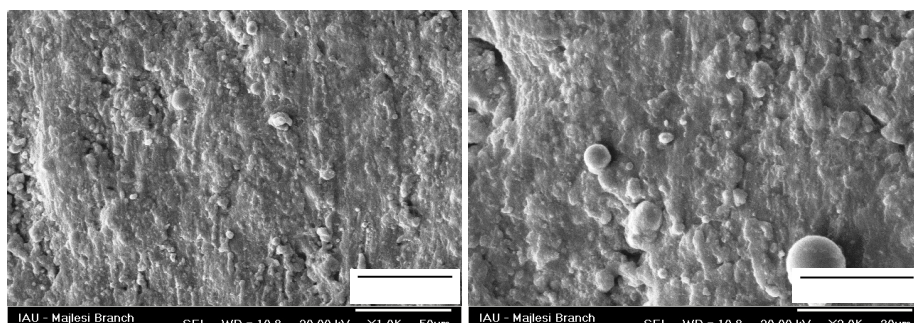
ردیف	شرایط پوشش دهی	پتانسیل مدار باز (mV) OCP	پتانسیل خوردگی (mV) E_{corr}	جریان خوردگی (μA) I_{corr}
۱	pure Zn	-۱۱۱۹	-۱۰۴۴	۴۳/۱
۲	Ni/ pure Zn	-۱۰۴۸	-۱۱۸۸	۱۱۹/۴
۳	Zn-Ni	-۸۹۷	-۸۸۶	۱۵/۵
۴	Ni/ Zn-Ni	-۱۰۳۹	-۱۱۸۰	۸۸/۹



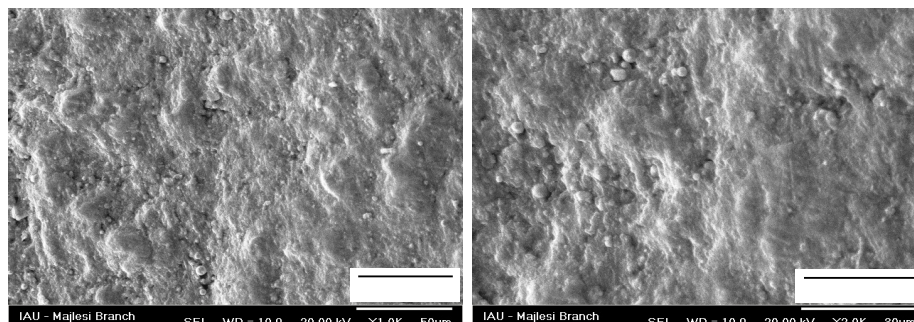
شکل ۲ - تصویر SEM از سطح نمونه دارای پوشش Zn خالص.



شکل ۳ - تصویر SEM از سطح نمونه دارای پوشش Zn-Ni.



شکل ۴ - تصویر SEM از سطح نمونه دارای پوشش Ni/ pure Zn.



شکل ۵ - تصویر SEM از سطح نمونه دارای پوشش Ni/ Zn-Ni.

مقایسه بین منحنی پلاریزاسیون پوشش های Zn خالص و Zn-Ni شامل میان لایه در شکل ۱، نشان می دهد که در حضور میان لایه، پوشش ها رفتار پلاریزاسیون تقریباً مشابهی نشان می دهند. با این حال، جریان خوردگی با مقدار $88/9 \mu A$ برای پوشش Zn-Ni/ Ni هنوز کمتر از $119/4 \mu A$ برای Zn خالص است. این امر مؤید اثر مثبت آلیاژی Zn با نیکل بر روی سینتیک واکنش خوردگی و کاهش I_{corr} پوشش می باشد. در بیان علت اثر مثبت تشکیل پوشش آلیاژی Zn-Ni می توان به این نکته اشاره کرد که مکانیزم خوردگی در رسوب آلیاژی از نوع روی زدایی است. به این ترتیب با جدایش انتخابی Zn از سطح، یک لایه غنی از نیکل باقی می ماند. نیکل سد فیزیکی بسیار مقاومی است که می تواند از طریق مکانیزم مانع شوندگی باعث کاهش شدید جریان خوردگی در پوشش آلیاژی شود.

۳-۲- آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی

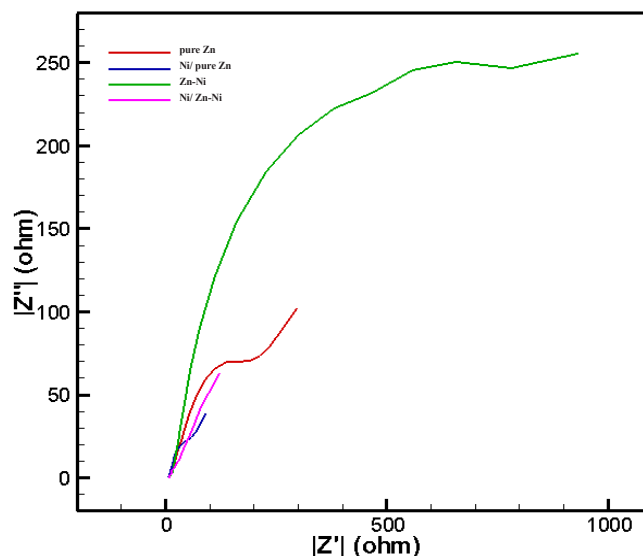
اثر اعمال میان لایه بر رفتار امپدانس الکتروشیمیایی پوشش های Zn خالص و آلیاژی Zn-Ni به ترتیب در شکل ۶ نشان داده شده است. هر دو منحنی مربوط به پوشش Zn خالص دارای دو نیم دایره هستند که بیان گر وجود دو ثابت زمانی می باشد. اما در مورد پوشش Zn-Ni اعمال میان لایه نیکل، رفتار دو ثابت زمانی را تبدیل به رفتاری با یک ثابت زمانی کرده است.

شکل ۶ نشان می دهد که در حضور یا عدم حضور میان لایه نیکل، پوشش Zn خالص دارای رفتاری با دو ثابت زمانی است. در شرایطی که میان لایه وجود ندارد، مقاومت R_1 مربوط به لایه پوشش Zn و مقاومت R_2 به مقاومت پلاریزاسیون زیر لایه مربوط است. اما در اثر اعمال میان لایه نیکل، R_2 به مقاومت پلاریزاسیون میان لایه نسبت داده می شود. مطابق با اطلاعات جدول ۶ در خصوص مدار معادل پوشش ها (شکل ۷)، مقدار R_2 برای پوشش Zn خالص شامل میان لایه، بیشتر است؛ اما R_1 که مربوط به مقاومت لایه پوشش Zn و محصول خوردگی ناپایدار آن است، در پوشش دارای میان لایه به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. این می تواند به اختلاف مورفولوژی سطح پوشش ها نسبت داده شود. مقایسه تصاویر SEM شکل های ۲ و ۴ نشان می دهد که سطح پوشش Zn خالص در حضور میان لایه، دارای ناهمواری های بیشتری است. این نشان می دهد که رفتار خوردگی پوشش شامل میان لایه به سرعت وارد ثابت زمانی دوم می شود و فصل مشترک Zn با میان لایه، به سرعت در معرض محلول الکترولیت قرار می گیرد. از سوی دیگر، توان n مربوط به ظرفیت لایه دو گانه Q_2 در پوشش Zn خالص بدون میان لایه بیشتر است. این خود مؤید همگن تر بودن سطح پوشش و ناپیوستگی کمتر آن است که با مشاهدات SEM تطابق دارد.

منحنی نایکوئیست پوشش Zn-Ni نیز در صورت اعمال میان لایه نیکل، دچار تغییراتی مشابه با Zn خالص می شود. از جمله اینکه مقاومت پلاریزاسیون مربوط به لایه پوشش نهایی در اثر حضور میان لایه به شدت کاهش یافته است. مقایسه تصاویر مورفولوژی سطح پوشش ها در شکل های ۳ و ۵ وجود ناهمواری های بیشتری را در پوشش دارای میان لایه نشان می دهد. بنابراین مقاومت پلاریزاسیون نفوذی پوشش Zn-Ni در حضور میان لایه نیکل الکترولس کاهش یافته است. این با نتایج مربوط به آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک پوشش های دارای میان لایه نیکل، تطابق دارد.

شکل ۶ هم چنین نشان می دهد منحنی نایکوئیست پوشش Zn-Ni در نتیجه اعمال میان لایه نیکل، از حالت دو حلقه ای به تک حلقه ای تغییر می کند. دو علت برای رفتار دارای یک ثابت زمانی پوشش Zn-Ni/ Ni می توان بیان کرد. اول اینکه با ادامه روند روی زدایی از لایه آلیاژی سطح، غلظت نیکل در این لایه بالا می رود. اما به دلیل حضور شبکه ریز ترک در ساختار پوشش Zn-Ni و افزایش تخلخل های سطحی به علت جدایش انتخابی Zn، مسیرهای بسیار مناسبی برای مهاجرت محلول الکترولیت به سمت فصل مشترک Zn-Ni با میان لایه نیکلی، فراهم است [۳ و ۴]. علت دوم، عدم تطابق تنش های فشاری باقی مانده در میان لایه، با تنش های پسماند کششی در لایه Zn-Ni است [۲۴]. از این رو، فصل مشترک میان لایه با رسوب آلیاژی یک مرز ناپیوسته و نفوذ پذیر است. این منجر به تشدید خوردگی پوشش به منظور حفاظت زیر لایه و در نهایت مقدار R_2 بسیار پایین در مقایسه با R_1 می شود. به طوری که با صرف نظر از مقدار R_2 ، طبق منحنی نایکوئیست، تقریباً می توان رفتار دارای یک ثابت زمانی را به پوشش Zn-Ni شامل میان لایه نسبت داد. این با نتایج تحقیق عبدالرحمان [۲۵] که ثابت کرد آلیاژی Zn با نیکل منجر به کاهش نفوذ یون های Zn در لایه پوشش و بهبود رفتار خوردگی می شود، تطابق دارد. وی نشان داد که قطر نیم دایره منحنی نایکوئیست در آلیاژ Zn-Ni کمتر از Zn خالص است.

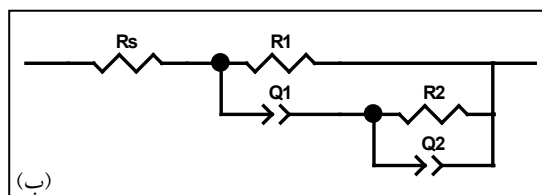
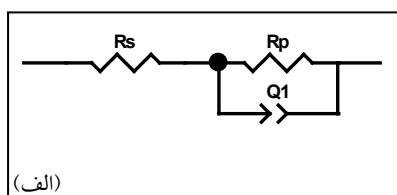
مقدار بسیار پایین پارامتر n ($0/35$) برای پوشش Zn-Ni/ Ni نیز قابل تأمل است. پایین بودن مقدار توان n به معنی غیریکنواختی و ناپیوستگی سطح پوشش است، که با مشاهدات SEM هم خوانی دارد. اما یک نتیجه گیری مهم از این موضوع آن است که هر چه n از یک دورتر شده و به صفر نزدیک تر شود، مقدار مقاومت R_2 در مقایسه با مقاومت R_1 کاهش بیشتری می یابد. به نحوی که در مقادیر بسیار پایین n می توان از R_2 در مقابل R_1 صرف نظر نمود و فقط مقاومت پلاریزاسیون پوشش سطحی را به عنوان مقاومت پلاریزاسیون کل پوشش در نظر گرفت.



شکل ۶ - اثر حضور میان لایه نیکل بر منحنی نایکوئیست پوشش های Zn خالص و Zn-Ni.

جدول ۶ - اطلاعات مربوط به مدار معادل برای نمونه های مختلف، استخراج شده از منحنی های نایکوئیست.

ردیف	شرایط پوشش دهی	Rs (ohm)	Rp یا R1 (ohm)	Q1		R2 (ohm)	Q2	
				CPE1	n		n	CPE2
۱	pure Zn	۶	۳۹۵	۰/۰۴۵۹	۰/۴۷	۷۶	۰/۸۷	۰/۰۲۲۴
۲	Ni/ pure Zn	۵	۱۴۰	۰/۰۴۴۳	۰/۴۷	۹۴	۰/۶۵	۰/۰۲۸
۳	Zn-Ni	۹	۱۰۵۰	۰/۰۲۱۷	۰/۷۵	۵۴۶	۰/۶۳	۰/۰۰۲۳
۴	Ni/ Zn-Ni	۶/۲	۲۴۰	۰/۰۲۰۶۱	۰/۳۵	---	---	---



شکل ۷ - شماتیکی از مدل های مدار معادل استفاده شده برای شبیه سازی اطلاعات نایکوئیست.
 الف: مدار معادل برای نمونه های با یک ثابت زمانی ب: مدار معادل برای نمونه های با دو ثابت زمانی.

نتیجه گیری

- در اثر حضور میان لایه نیکل الکتروکاتولیک، پتانسیل خوردگی پوشش Zn خالص از -1044mV به -1188mV و جریان خوردگی آن از $43/1\mu\text{A}$ به $119/4\mu\text{A}$ تغییر کرد.
- اعمال میان لایه نیکل الکتروکاتولیک، منجر به تغییر پتانسیل خوردگی پوشش آلایای Zn-12%Ni را از -886mV به -1180mV و تغییر جریان خوردگی از $15/5\text{mV}$ به $88/9\text{mV}$ شد.
- مقاومت پلاریزاسیون نفوذی پوشش ها با اعمال میان لایه نیکل الکتروکاتولیک، کاهش یافت. مقدار این کاهش در مورد پوشش Zn خالص 64% و در مورد پوشش آلایای Zn-12%Ni حدود 77% مشاهده شد.
- منحنی نایکوئیست پوشش Zn-12%Ni در نتیجه اعمال میان لایه نیکل الکتروکاتولیک، از حالت دو حلقه ای (رفتار دارای دو ثابت زمانی) به حالت تک حلقه ای (رفتار دارای یک ثابت زمانی) تبدیل شد.

مراجع

- [1] S. Dan, Fundamentals of Spring Design, Pub. Spring Manufacturers Institute (SMI), 2000, Pp. SM-1 to SM-12.
- [2] SRAMA Group, Spring Material Selector, Second Edition, SRAMA Pub., 1991.
- [3] M.P. Nascimento, R.C. Souza, W.L. Pigatin, H.J.C. Voorwald, Effects of tungsten Carbide Thermal Spray Coating by HP/HVOF and Hard Chromium Electroplating on AISI 4340 High Strength Steel, Surface & Coatings Technology, Vol. 138, 2001, Pp. 113-124.
- [4] M.A.S. Torres, H.J.C Voorwald, An Evaluation of Shot Peening, Residual Stress and Stress Relaxation on the Fatigue Life of AISI 4340 Steel, International Journal of Fatigue, Vol. 24, 2002, Pp. 877-886.
- [5] H. Nazemi, M. Ehteshamzadeh, An Investigation on Fatigue and on Fatigue Corrosion Behavior of Cr-Si Spring Steel Sfter Zn-Ni Slectroplating Using Weibull Statistical Model, Iranian Journal of Materials Science and Engineering, Vol. 12, No. 3, 2015, Pp. 27-37.
- [6] W. Tian, F.Q. Xie, X.Q. Wu, Z.Z. Yang, Study on Corrosion Resistance of Electroplating Zinc - Nickel Alloy Coatings, Surface and Interface Analysis, Vol. 41, 2009, Pp. 251-254.
- [7] M. Gavrilă, J.P. Millet, H. Mazille, D. Marchandise, J.M. Cuntz, Corrosion Behaviour of Zinc-Nickel Coatings Electrodeposited on Steel, Surface and Coatings Technology, Vol. 123, 2000, Pp. 164-172.
- [8] C. Muller, M. Sarret, E. Garcia, Heat - Treatment on Black - Passivated Zn-Ni Alloys, J. Electrochem. Soc, Vol. 150, 2003, Pp. 212-218.
- [9] C. Muller, M. Sarret, E. Garcia, Heat treatment Effect on the Corrosion Behaviour of Black Passivated Zn-Ni alloys, Corrosion Science, Vol. 47, 2005, Pp. 307-321.
- [10] O. Girčienė, L. Gudavičiūtė, R. Juškėnas, R. Ramanauskas, Corrosion Resistance of Phosphate Zn-Ni Alloy Electrodeposits, Surface and Coatings Technology, Vol. 203, 2009, Pp. 3072-3077.
- [11] R. Fratesi, G. Roventi, Corrosion resistance of Zn-Ni Alloy Coatings in Industrial Production, Surface and Coatings Technology, Vol. 82, 1996, Pp. 158-164.
- [12] D.W. Siitari, M. Sagiyama, T. Hara, Corrosion of Ni-Zn Electrodeposited alloy, Transactions ISIJ, Vol. 23, 1983, Pp. 959-966.
- [13] F.J. Fabri Miranda, Corrosion Behavior of Zinc-Nickel alloy Electrodeposited Coatings, Corrosion, Vol. 55, 1999, Pp. 732-742.
- [14] R. Winand, Electrodeposition of Zinc and Zinc Alloys, Modern Electroplating: John Wiley & Sons, 2010, Pp. 285-307.
- [15] A. Brenner, Electrodeposition of Alloys, Academic Press, 1963.
- [16] H. Fukushima, H. Akiyama, Electrodeposition Behavior of Zn-Iron Group Metal Alloys from Sulfate and Chloride Bath, ISIJ, Vol. 33, 1993, Pp. 1009-1015.
- [17] S. Brahimi, S. Yue, Effect of Surface Processing Variables and Coating Characteristics on Hydrogen Embrittlement of Steel Fasteners Part 2: Electroplating and Non Electrolytic Processes, SUR/FIN 2009, Technical Conference, NASF (National Association for Surface Finishing), 2009.
- [18] H. Kim, B.N. Popov, K.S. Chen, Comparison of Corrosion - Resistance and Hydrogen Permeation Properties of Zn-Ni, Zn-Ni-Cd and Cd Coatings on Low-Carbon steel, Corrosion Science, Vol. 45, 2003, Pp. 1505-1521.

- [19] H. Nazemi, M. Ehteshamzadeh, An Investigation on Hydrogen Embrittlement of the Cr-Si Spring Steel Using Slow Strain Rate Test and Weibull Model, *Int J Advanced Design and Manufacturing Technology*, Vol. 8, No. 4, 2015, Pp. 33-42.
- [20] U. Wiklund, P. Hedenqvist, S. Hogmark, Multilayer Cracking Resistance in Bending, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 97, 1997, Pp. 773-778.
- [21] A. A. Edigaryan, E. N. Lubnin, B. F. Lyakhov, E. B. Molodkina, Y. M. Polukarov, Hydrogen Content in Chromium and Multilayer Nickel – Chromium Coatings Deposited by Periodic Current1, *Protection of Metals*, Vol. 39, 2003, Pp. 405-410.
- [22] T. Sasaki, Y. Hirose, Residual stress Distribution in Electroplated Zn - Ni alloy Layer Determined by X-ray Diffraction, *Thin Solid Films*, Vol. 253, 1994, Pp. 356-361.
- [23] Y. Sugimura, S. Suresh, *Ceramic Coatings*, American Society for Mechanical Engineers, ASME Pub., 1993, Pp. 9-14.
- [24] A. Horsewell, Processing and Properties of Electrodeposited Layered Surface Coatings, *Materials Science and Technology*, Vol. 14, 1998, Pp. 549-553.
- [25] A. El - Sayed, H. S. Mohran, H. M. Abd El - Lateef, Corrosion Study of Zinc, Nickel, and Zinc - Nickel Alloys in Alkaline Solutions by Tafel Plot and Impedance Techniques, *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 43, 2012, Pp. 619-632.

