

بررسی اثر SiO_2 در مقاومت به خوردگی پوشش گالوانیزه

نصراله اسلام زاده*^۱، محمد قربانی^۲

^۱ دانشجوی دکتری مواد، دانشکده مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

^۲ استاد، دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شریف

* نویسنده مسئول: neslamzadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۱۱

چکیده

در این تحقیق به منظور بررسی اثر SiO_2 بر مقاومت به خوردگی روی، پوشش های گالوانیزه کامپوزیتی Zn-SiO_2 به روش غوطه وری گرم در سطح فولاد کم کربن ایجاد و مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا شرایط ایجاد پوشش گالوانیزه مرغوب بر مبنای ایجاد یک پوشش با ضخامت مناسب تعیین و با استفاده از ذرات SiO_2 با ابعاد زیر ۵۰ میکرون پوشش های گالوانیزه کامپوزیتی تهیه شد. در مرحله فلاکسینگ ذرات SiO_2 در سطح فولاد قرار داده و سپس گالوانیزاسیون انجام شد. به منظور بررسی رفتار مقاومت به خوردگی پوشش های تهیه شده از آزمون های الکتروشیمیایی مختلف همچون اندازه گیری تغییرات پتانسیل نسبت به زمان، پلاریزاسیون آندی و آزمایش پاشش نمک استفاده شد. از میکروسکوپ الکترونی SEM و میکروسکوپ نوری جهت بررسی اثر SiO_2 بر مورفولوژی و ضخامت پوشش گالوانیزه استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون پاشش نمک، پوشش تهیه شده از محلول فلاکس حاوی ۰/۱ درصد SiO_2 در مقایسه با پوشش روی خالص به اندازه تقریباً ۵۸ درصد کاهش در سرعت خوردگی داشته است. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق کاهش ضخامت پوشش به اندازه ۳۴ درصد بهبود ساختار فازی پوشش گالوانیزه از مهم ترین نتایج حضور ذرات SiO_2 در پوشش می باشد که باعث افزایش مقاومت به خوردگی پوشش شده است.

کلمات کلیدی: پوشش گالوانیزه کامپوزیتی Zn-SiO_2 ، ذرات SiO_2 ، مقاومت به خوردگی روی، ضخامت پوشش.

Investigation of the Effect of SiO_2 on Corrosion Resistance of Galvanized Coating

Nasrollah Eslamzadeh^{1*}, Mohammad Ghorbani²

¹ PhD Student, Materials Science and Engineering Department, Islamic Azad University
branch of Najafabad

² Professor, Materials Science and Engineering Department, Sharif University of
Technology, Tehran, Iran

*Corresponding Author: neslamzadeh@yahoo.com

Submission: October 16, 2012 Acceptance: January 30, 2013

Abstract

In the present work the effect of SiO_2 on corrosion resistance of hot dip galvanized coating on low carbon steel was studied. At first, conditions of forming a good galvanized coating with suitable thickness obtained and with use of SiO_2 particles of under 50 microns particle size, the composite galvanized coating formed. The SiO_2 particles added in fluxing step to flux bath and then galvanizing process was performed. To study the behavior of coatings, different electrochemical techniques such as open circuit potential measurements, anodic polarization and salt spray test used. The effect of SiO_2 on surface morphology and thickness of galvanized coating was studied using scanning electron microscopy and optical microscopy. According to results of salt spray test, corrosion rate of coating obtained from flux solution containing 0.1 percent SiO_2 particles, in compared with the pure zinc coating, decrease about 58 percent. According to result of this research, decrease in coating thickness about 34 percent and modification of phase structure of galvanized coating are the important results of presence of SiO_2 in coating that increase the corrosion resistance of coating.

Keywords: Zn- SiO_2 composite galvanized coating, SiO_2 particles, zinc corrosion resistance, coating thickness.

۱- مقدمه

پوشش های گالوانیزه روی در سطح فولاد با داشتن فازهای بین فلزی مختلف از جمله فاز اتا که همراه با محلول جامد روی می باشد، فاز زتا با ترکیب شیمیایی FeZn_{13} که معمولاً در دماهای بالای ۴۹۰ درجه سانتی گراد وجود ندارد، فاز دلتا که در دمای اتاق پایدار بوده و به دو فرم نرده ای و چسبیده وجود دارد و فاز گاما که دارای گسترده حلالیت جامد است، را می توان جزء قدیمی ترین، ساده ترین و درعین حال ارزان ترین پوشش های فلزی مورد استفاده در صنایع مختلف و به ویژه در محیط های خورنده دانست که با توجه به نیازهای موجود مطالعات مختلفی جهت بهبود خصوصیات مورد نیاز آن انجام شده است. از جمله نتایج این مطالعات تولید پوشش های گالوانیزه کامپوزیتی می باشد که دارای خواص و کارائی مناسب تری می باشند؛ بدین صورت که تلفیق خواص فلزی زمینه همچون استحکام و چسبندگی مناسب، قابلیت تغییر فرم و غیره با خواص خاص ذرات تقویت کننده مختلف منجر به تولید پوشش هایی با خواص دلخواه می شود [۱و۲]. با توجه به تحقیقات انجام شده از ذرات تقویت کننده اکسیدی مختلفی جهت تولید پوشش های گالوانیزه کامپوزیتی استفاده شده است که در نتیجه در مقایسه با پوشش های گالوانیزه، پوششی با خصوصیات بهتر از لحاظ چسبندگی پوشش به زمینه، افزایش فشردگی و یکنواختی سطح پوشش و کاهش میکروترک ها در سطح پوشش حاصل که منجر به بهبود خصوصیات مقاومت به خوردگی و مقاومت به سایش و همچنین بهبود خصوصیات مکانیکی شده است [۳-۶].

سیلیس اکسیدی سفیدرنگ با دانسیته ۲-۲/۳ گرم بر سانتی متر مکعب از جمله ذرات تقویت کننده اکسیدی است که به خاطر برخی خصوصیات ویژه نظیر مقاومت به سایش بالا، استحکام مناسب و غیره جهت ایجاد پوشش های کامپوزیتی مختلف که کاربرد این نوع پوشش ها در زمینه های مختلف و متنوع می باشد، مورد استفاده قرار می گیرد؛ به گونه ای که حضور ۳ درصد از ذرات SiO_2 در زمینه برنز آلومینیوم منجر به ایجاد پوشش کامپوزیتی با مقاومت به خوردگی سایشی

بسیار بالا جهت کاربرد در صفحه کلاچ شده است [۴]. طی تحقیقات انجام شده از ذرات ZrO ، TiO_2 ، ZnO ، Fe_3O_4 ، CuO و NiO به عنوان ذرات تقویت کننده در زمینه سیلیکاتی استفاده شده است. پوشش های کامپوزیتی SiO_2/CuO و SiO_2/NiO نیز از دیگر کامپوزیت های تولید شده در این زمینه می باشند که طبق نتایج حاصل، NiO در مقایسه با CuO اثر بهتری در افزایش مقاومت به خوردگی کامپوزیت حاصل داشته است [۶].

طی تحقیقی که توسط یان و همکارانش انجام شد [۷] از حضور همزمان TiO_2 و SiO_2 جهت افزایش مقاومت به خوردگی پوشش های Al_2O_3 استفاده شد. طبق نتایج با حضور ۳ درصد SiO_2 و ۳ درصد TiO_2 در زمینه Al_2O_3 کامپوزیتی حاصل می شود که در آن میکروترک ها و تخلخل ها کاهش یافته و مقاومت به خوردگی پوشش افزایش می یابد. نانوذرات SiO_2 و CeO_2 در سطح پوششهای P-W-Ni باعث تشکیل پوشش کامپوزیتی با سطح یکنواخت و فشرده ای می شوند که علاوه بر افزایش میکروسختی و مقاومت به سایش پوشش، مقاومت به خوردگی داغ پوشش را نیز افزایش می دهند [۸].

از جمله مشکلات موجود در تولید پوشش های گالوانیزه کامپوزیتی با استفاده از ذرات SiO_2 ، عدم غوطه وری این ذرات در مذاب روی می باشد. لذا در این تحقیق جهت بررسی اثر SiO_2 در مقاومت به خوردگی پوشش گالوانیزه، با استفاده از محلول فلاکس حاوی ذرات SiO_2 ، پوشش کامپوزیتی Zn-SiO_2 در سطح فولاد کم کربن به روش غوطه وری گرم تهیه شد و رفتار مقاومت به خوردگی آنها مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- انتخاب فولاد زمینه و آماده سازی

از ورقه های فولاد کم کربن با ابعاد $۱ \times ۳۰ \times ۵۰$ میلی متر به عنوان زمینه جهت پوشش کامپوزیتی Zn-SiO_2 استفاده شد و آماده سازی سطحی با استفاده از سنباده های کاغذی از شماره ۱۰۰ تا ۸۰۰ جهت حذف اکسیدهای سطحی انجام

آنها نیز به صورت عمودی و با سرعت یکنواخت انجام و در نهایت پوشش ایجاد شده در هوای محیط سرد شد.

۲-۳- بررسی خواص پوشش

به منظور بررسی اثر SiO_2 در ضخامت پوشش ضخامت‌سنجی پوشش مطابق با استاندارد ASTM B525 و همچنین با استفاده از مطالعات میکروسکوپ نوری در سطح مقطع انجام شد. سختی پوشش مطابق با استاندارد ASTM B 384-899 مورد بررسی قرار گرفت. از آزمایش خمش جهت بررسی چسبندگی پوشش گالوانیزه کامپوزیتی و مقایسه آن با پوشش روی خالص استفاده شد؛ بدین صورت که دو لبه نمونه پوشش دار خم شد تا به موازی هم برسد و سپس لبه‌ها به حالت اولیه برگردانده شد. سپس با استفاده از میکروسکوپ نوری سطح خم شده از لحاظ میزان ترک‌های ایجاد شده در پوشش مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی اثر ذرات SiO_2 بر ریز ساختار و توزیع آنها در پوشش از میکروسکوپ نوری و الکترونی استفاده شد.

جهت بررسی تغییرات پتانسیل پوشش نسبت به زمان، تغییرات پتانسیل پوشش در یک دوره ۳۰ روزه در محلول کلرید سدیم با غلظت ۳/۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مطالعات پلاریزاسیون آندی در سطح پوشش گالوانیزه کامپوزیتی و پوشش روی خالص با استفاده از دستگاه پلاریزاسیون پتانسیودینامیک مدل E G&G با دانسیته جریان اعمالی $150 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ و سرعت جاروب پتانسیل $10 \text{mV}/\text{min}$ در محلول کلرید سدیم با غلظت ۳/۵ درصد انجام و با استفاده از نمودارهای پلاریزاسیون رفتار الکتروشیمیایی پوشش‌ها بررسی شد. به منظور بررسی مقاومت به خوردگی اتمسفری پوشش از آزمایش پاشش نمک مطابق با استاندارد ASTM B117 به مدت ۱۰ روز استفاده شد. از محلول کلرید آمونیم در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد جهت زدودن محصولات خوردگی از سطح نمونه‌ها استفاده شد و با محاسبه میزان کاهش وزن هر پوشش در طی دوره ۱۰ روزه سرعت خوردگی بر حسب کاهش

شد. چربی‌گیری با استفاده از محلول استن به مدت ۱۰ ثانیه و اسید شویی به مدت ۲ دقیقه در محلول اسید کلریدریک ۵ درصد حاوی بازدارنده انجام شد.

۲-۲- تهیه پوشش گالوانیزه کامپوزیتی

با توجه به تحقیقات انجام شده در رابطه با افزودن ذرات اکسیدی به پوشش‌های گالوانیزه از طریق غوطه‌وری گرم، در اکثر این تحقیقات ذرات اکسیدی به مذاب روی اضافه شده و از این طریق همراه با روی در سطح فولاد قرار گرفته است. به دلیل عدم غوطه‌وری ذرات SiO_2 در مذاب روی، از طریق محلول فلاکس این ذرات در سطح فولاد قرار داده شد و سپس با غوطه‌وری نمونه‌ها در مذاب، این ذرات همراه با روی مذاب در سطح فولاد تشکیل پوشش کامپوزیتی Zn-SiO_2 داد. همچنین جهت جلوگیری از کلوخه‌ای شدن ذرات از سورفکتانت ستیل تری متیل آمونیم برماید همراه با ذرات SiO_2 در محلول فلاکس استفاده شد [۹].

با توجه به استفاده از روش خشک جهت گالوانیزاسیون، از محلول فلاکس حاوی کلرور روی (غلظت ۵۰۰ گرم بر لیتر) و کلرور آمونیم (غلظت ۳۰۰ گرم بر لیتر) با درجه بومه ۴۰ استفاده شد. در این مرحله ذرات SiO_2 به محلول فلاکس اضافه و به مدت ۵ دقیقه به هم زده شد تا ذرات به طور کامل در محلول پخش شوند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در محلول با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شد. هنگام خروج نمونه‌ها با هم زدن دوباره محلول به منظور پخش شدن ذرات در محلول نمونه به آرامی و با شیب ۴۵ درجه نسبت به خط افق از محلول خارج شد تا ذرات SiO_2 موجود در محلول به راحتی در سطح نمونه باقی بمانند.

در مرحله آخر، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و بلافاصله عملیات غوطه‌وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. ورود نمونه‌ها به مذاب به صورت عمودی و با حداکثر سرعت و مدت زمان غوطه‌وری در مذاب ۲۰ ثانیه و خروج

۲-۳- بررسی توزیع SiO_2 در پوشش

تصاویر میکروسکوپ الکترونی و آنالیز انجام شده از سطح پوشش گالوانیزه کامپوزیتی در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل حضور ذرات SiO_2 در سطح پوشش قابل مشاهده است. همچنین در شکل ۵ آنالیز خطی در سطح مقطع پوشش گالوانیزه کامپوزیتی SiO_2 نشان داده شده است.

۳-۳- اثر SiO_2 در ضخامت پوشش

ضخامت پوشش تهیه شده تحت شرایط ۲۰ ثانیه غوطه وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج ملاحظه می‌شود که حضور SiO_2 در پوشش باعث کاهش ضخامت به اندازه تقریباً ۳۴ درصد شده است. مقایسه ضخامت های اندازه گیری شده توسط میکروسکوپ نوری نیز نشان دهنده کاهش ضخامت پوشش در اثر حضور ذرات SiO_2 در پوشش بود. بنابر نتایج دیگر تحقیقات انجام شده و با توجه به نتایج حاصل، می‌توان نتیجه گرفت که ذرات SiO_2 در سطح فولاد به هنگام غوطه‌وری نمونه در مذاب به عنوان یک سد بین روی مذاب و فولاد زمینه عمل کرده و نفوذ روی در حین فرایند گالوانیزاسیون را کاهش می‌دهد. لذا با کند کردن واکنش‌های بین روی و آهن باعث کاهش ضخامت پوشش می‌شود. این نظریه مورد توجه دیگر محققان در رابطه با ذرات TiO_2 ، Al_2O_3 ، ZnO و V_2O_5 در پوشش‌های گالوانیزه داغ می‌باشد [۱۱-۱۲].

جدول ۱: ضخامت پوشش تهیه شده تحت شرایط ۲۰ ثانیه غوطه وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد

ضخامت (μ)	نمونه
۴۹/۰۳	شاهد
۳۳/۳	Zn-0.1 SiO_2

۴-۳- اثر SiO_2 بر سختی پوشش

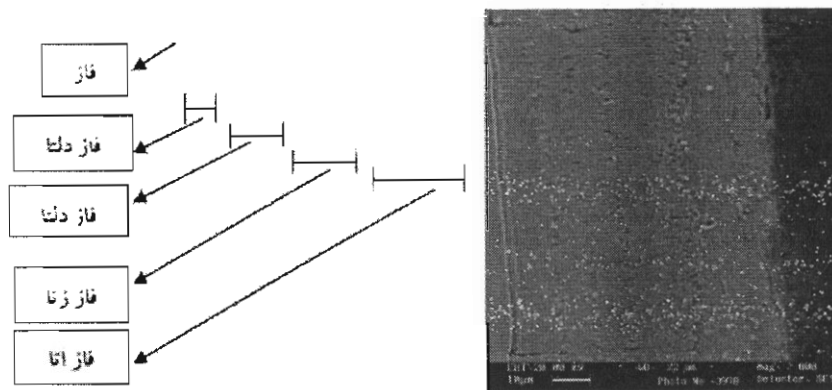
نتایج حاصل از سختی سنجی در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج، سختی پوشش کامپوزیتی در مقایسه با

وزن محاسبه شد. به منظور بررسی سختی پوشش مطابق با استاندارد ASTM B 384-899 سختی پوشش های حاوی درصد های مختلف از SiO_2 و نمونه شاهد بر حسب ویکرز در ۵ نقطه از سطح گرفته شده و مورد بررسی قرار گرفت. بار اعمالی در این روش 50gf و مدت زمان نگهداری ۱۲ ثانیه انتخاب شد.

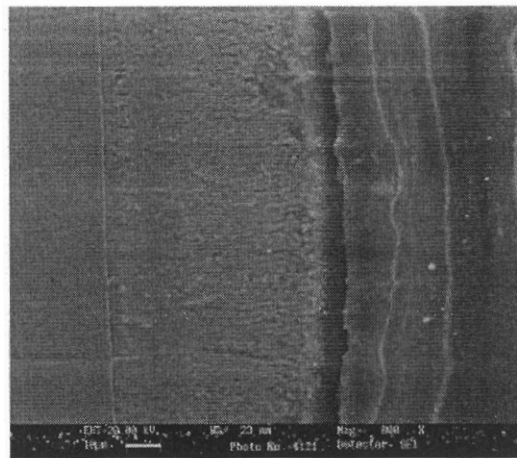
۳- نتایج و بحث

۱-۳- اثر SiO_2 بر فازهای تشکیل دهنده پوشش

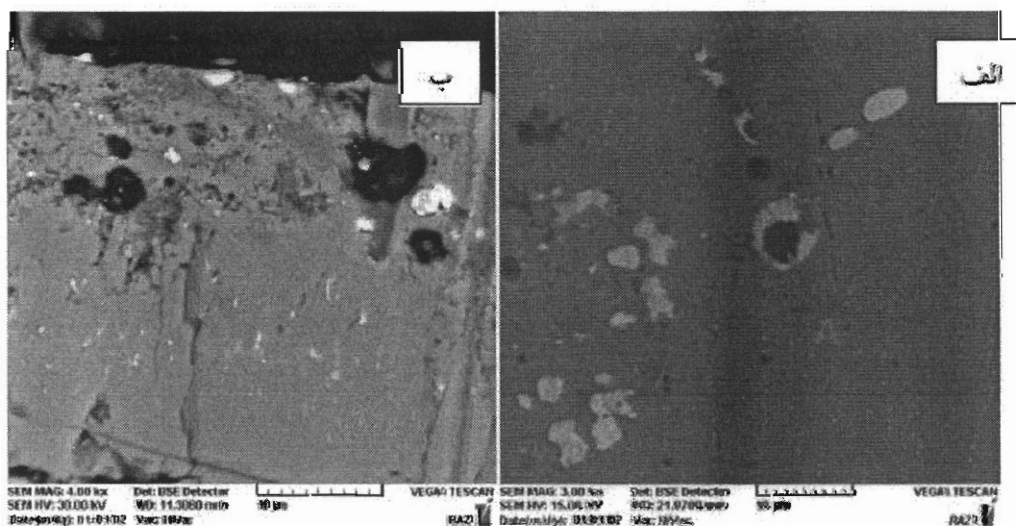
در شکل ۱ تصویر SEM از سطح مقطع پوشش گالوانیزه شاهد و در شکل ۲ سطح مقطع پوشش گالوانیزه کامپوزیتی Zn - SiO_2 نشان داده شده است. با افزودن ذرات SiO_2 به پوشش روی، رشد فاز گاما کاهش یافته و لایه های دلتا و اتا باریک تر شده اند. همچنین لایه زتا افزایش ضخامت داشته و فشردگی لایه های زتا افزایش یافته است. به طور کلی رشد فاز گاما در زمان های کوتاه غوطه وری و با سرعت آهسته به طرف فولاد انجام می‌شود. در تحقیق حاضر حضور ذرات SiO_2 در سطح فولاد قبل از ورود نمونه به مذاب روی را می‌توان به عنوان مانعی جهت نفوذ روی به سمت فولاد و رشد لایه گاما دانست که با توجه به شرایط ذکر شده برای رشد این فاز، این ذرات مانع از رشد آن شده و رشد کمتری داشته است. فاز دلتا در پوشش کامپوزیتی نسبت به پوشش شاهد تقریباً ۳۰ درصد و فاز اتا در حدود ۵۷ درصد کاهش رشد داشته است. همچنین فاز زتا به اندازه تقریباً ۲۰ درصد افزایش رشد داشته است. این افزایش ضخامت با توجه به شکل ۲ همراه با افزایش فشردگی و یکنواختی پوشش بوده است که این افزایش فشردگی در مورد فاز دلتا نیز قابل مشاهده است. لذا با توجه به شکل می‌توان افزایش فشردگی فازهای پوشش را از جمله اثرات حضور SiO_2 در پوشش روی دانست که طبق نتایج دیگر تحقیقات انجام شده این اثر برای مقاومت به خوردگی پوشش بسیار مفید خواهد بود [۱۱و۱۰]. در شکل ۳ تصاویر SEM از سطح و مقطع پوشش گالوانیزه کامپوزیتی نشان داده شده است. در این تصاویر SiO_2 با علامت پیکان نشان داده شده است.



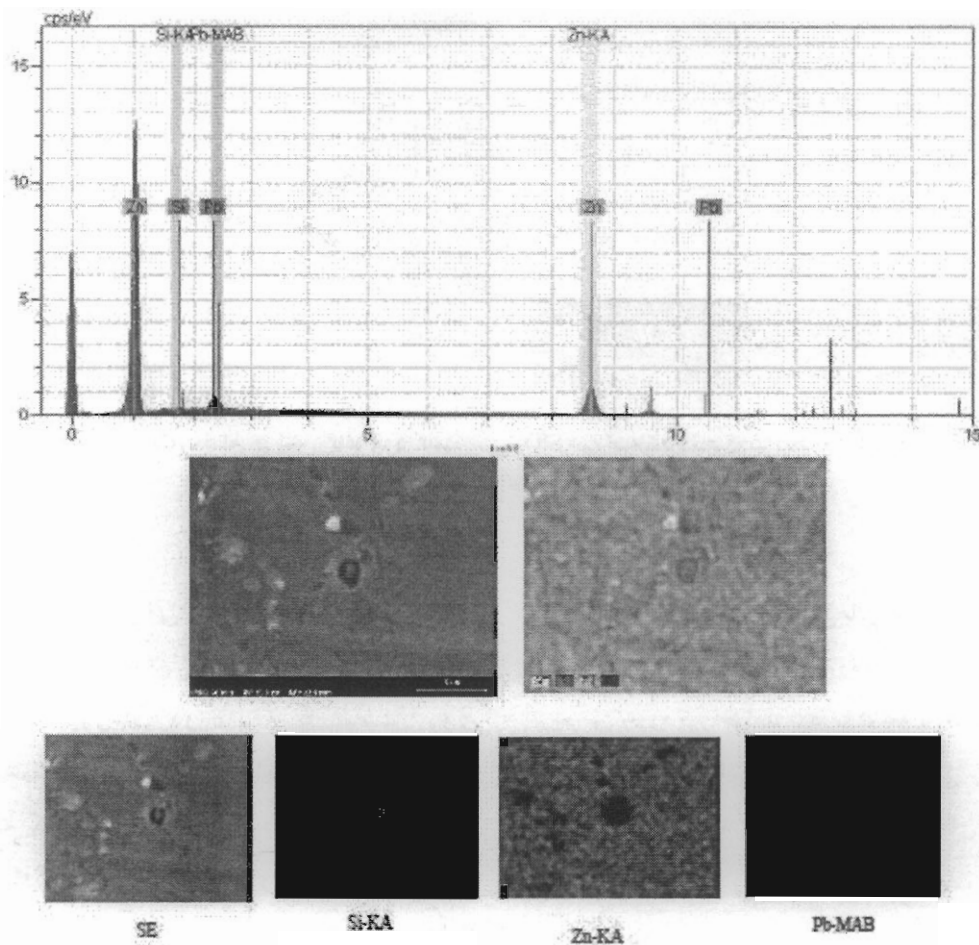
شکل ۱: تصویر SEM از سطح مقطع پوشش گالوانیزه شاهد تهیه شده تحت شرایط ۲۰ ثانیه غوطه وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد.



شکل ۲: تصویر SEM از سطح مقطع پوشش گالوانیزه کامپوزیتی Zn-SiO_2 تهیه شده تحت شرایط ۲۰ ثانیه غوطه وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد.



شکل ۳: تصاویر SEM از سطح و مقطع پوشش گالوانیزه کامپوزیتی Zn-SiO_2 تهیه شده تحت شرایط ۲۰ ثانیه غوطه وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد، (الف) سطح مقطع پوشش (ب) سطح پوشش.



شکل ۴: آنالیز و تصاویر MAP از سطح پوشش گالوانیزه کامپوزیتی Zn-SiO₂ تهیه شده تحت شرایط ۲۰ ثانیه غوطه وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد.

کامپوزیتی حضور فاز سخت SiO_2 در پوشش و در سطح آن و ایجاد یک لایه کامپوزیتی را می توان از دیگر عوامل مهم در افزایش سختی پوشش کامپوزیتی دانست.

جدول ۲: نتایج حاصل از سختی سنجی

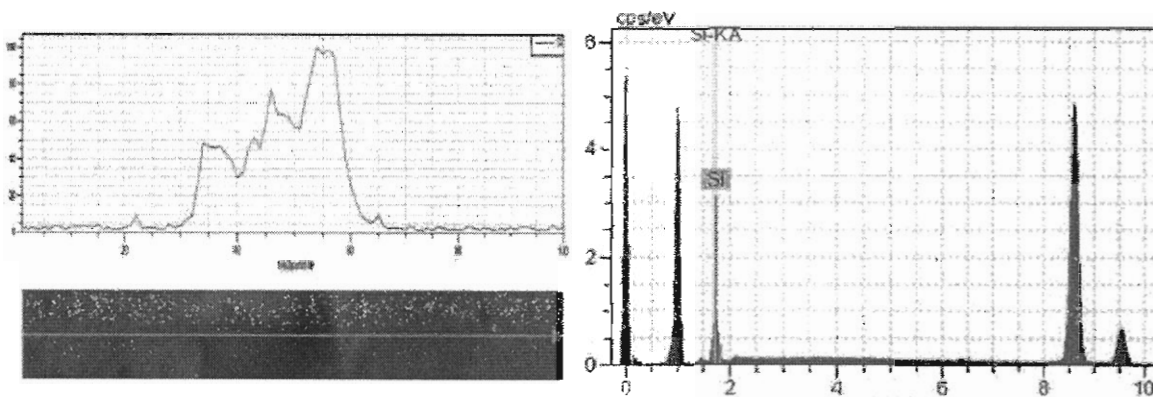
نمونه	سختی میانگین (HVN)
شاهد	۶۸/۲۲
Zn-0.1 SiO ₂	۸۷/۲۴

۵-۳- اثر SiO_2 بر چسبندگی پوشش کامپوزیتی

با توجه به نتایج آزمون چسبندگی و مقایسه میزان ترک خوردن پوشش در سطح نمونه کاهش دانسیته ترک در پوشش کامپوزیتی

پوشش روی خالص نزدیک به ۲۸ درصد افزایش یافته است. این نتیجه مشابه با نتایج حضور دیگر ذرات اکسیدی در پوشش گالوانیزه می باشد [۱۱،۱۰،۲]. در اثر حضور ذرات SiO_2 در پوشش میزان فازهای دلتا و گاما کاهش و فاز زتا افزایش یافته است. همچنین فشردگی فاز زتا نیز بیشتر شده است.

از آنجا که فاز آتا یک فاز نرم است با کاهش آن در پوشش های کامپوزیتی می توان فرض نمود که یک فاز نرم از سطح کمتر شده است و لذا فاز آتا سهم بیشتری در استحکام پوشش داشته است. از طرفی فشردگی فاز زتا نیز افزایش یافته است که می تواند دلیلی بر افزایش استحکام باشد. لذا این دو تغییر ایجاد شده در فازهای پوشش می تواند علتی بر افزایش سختی شود. از طرف دیگر در پوشش های



شکل ۵: آنالیز خطی در سطح مقطع پوشش گالوانیزه کامپوزیتی Zn-SiO₂ تهیه شده تحت شرایط ۲۰ ثانیه غوطه وری در مذاب با دمای ۴۵۰ درجه سانتی گراد.

با توجه اینکه فاز اتا در پوشش‌های کامپوزیتی نازک تر شده است، لذا زودتر از بین می‌رود و بعد از آن فاز زتا در معرض خوردگی خواهد بود. با توجه به فشردگی بالاتر فاز زتا و افزایش ضخامت آن انتظار می‌رود که این فاز به صورت یک مانع در برابر عبور یون‌های خورنده عمل نموده و بنابراین علاوه بر محافظت فولاد بصورت گالوانیکی به صورت فیزیکی نیز مقاومت به خوردگی را افزایش دهد و این می‌تواند یکی از دلایل افزایش مقاومت به خوردگی پوشش‌های گالوانیزه کامپوزیتی در مقایسه با پوشش گالوانیزه باشد.

نتیجه می‌شود که می‌توان آن را به افزایش چسبندگی بین پوشش وزمیننه در پوشش‌های گالوانیزه کامپوزیتی در مقایسه با پوشش روی خالص نسبت داد. در واقع افزایش میزان فاز زتا و در نتیجه کاهش لایه آلیاژی در پوشش، حضور ذرات SiO_2 در پوشش به صورت سدی در برابر رشد ترک و کاهش ضخامت پوشش و در نتیجه کاهش تنش‌های سه بعدی را می‌توان مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان چسبندگی پوشش دانست [۱۱ و ۱۰].

جدول ۳: اطلاعات مربوط به نمونه‌های مورد بررسی در آزمون پاشش نمک

نمونه	وزن اولیه (گرم)	وزن نهایی (گرم)	کاهش وزن (گرم)	MPY
شاهد	۴۲/۸۱	۴۱/۷۵	۱/۰۶	۲۴/۹
Zn-0.1 SiO ₂	۴۲/۱۵	۴۱/۷۳	۰/۴۲	۱۰/۳۴

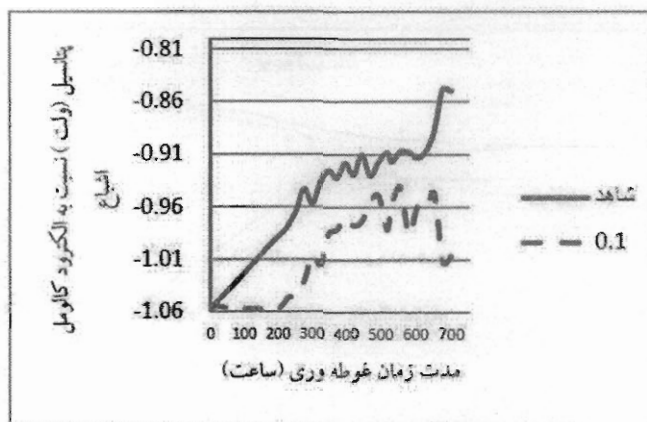
۳-۶-آزمون‌های الکتروشیمیایی

۳-۶-۱-آزمون پاشش نمک

اولین نشانه‌های زنگ سفید بعد از گذشت ۴۸ ساعت در سطح پوشش شاهد و بعد از ۷۲ ساعت بر روی پوشش کامپوزیتی قابل مشاهده بود. در جدول ۳ نتایج حاصل نشان داده شده است. با توجه به نتایج سرعت خوردگی پوشش گالوانیزه کامپوزیتی در مقایسه با پوشش شاهد ۵۸ درصد کاهش داشته است. در ابتدای قرارگیری پوشش گالوانیزه در محیط خورنده فاز اتا در سطح به صورت فدا شونده عمل نموده و محافظت را انجام می‌دهد، لذا بعد از گذشت زمان این فاز از بین رفته و فازهای زیرین نقش محافظت از خوردگی پوشش را بر عهده دارند.

۳-۶-۲-آزمایش تغییرات پتانسیل نسبت به زمان

نتایج حاصل از تغییرات پتانسیل نمونه‌ها نسبت به زمان به صورت نمودار در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به نمودار ملاحظه می‌شود که بالاترین تغییرات پتانسیل به سمت



شکل ۶: تغییرات پتانسیل پوشش کامپوزیتی در مقایسه با پوشش شاهد نسبت به زمان.

همچنین با توجه به شیب منحنی آندی دیده می شود که نمونه شاهد دارای شیب تافل بسیار بالاتری نسبت به پوشش های کامپوزیتی می باشد که نشان دهنده تمایل به انحلال بیشتر این پوشش است. در پوشش کامپوزیتی شیب منحنی آندی کمتر می باشد که می توان گفت وجود ذرات SiO_2 در پوشش باعث تقویت پوشش و استحکام پیوند پوشش شده و لذا انحلال پوشش کمتر و مقاومت به خوردگی آن افزایش یافته است.

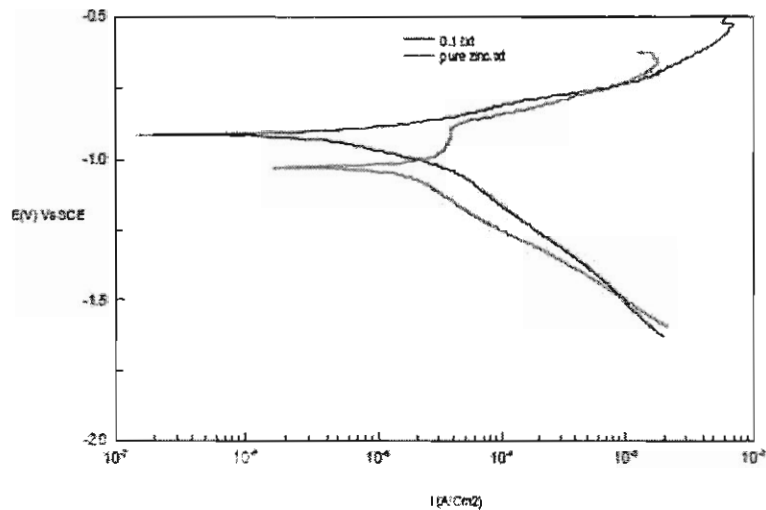
۴- نتیجه گیری

- ✓ با توجه به عدم غوطه وری ذرات SiO_2 در مذاب روی، با استفاده از محلول فلاکس حاوی ذرات SiO_2 ، پوشش کامپوزیتی Zn-SiO_2 در سطح فولاد کم کربن به روش غوطه وری گرم تهیه شد و رفتار مقاومت به خوردگی آنها مورد بررسی قرار گرفت.
- ✓ پوشش تهیه شده از محلول فلاکس حاوی ۰/۱ درصد SiO_2 به عنوان بهترین حالت تعیین شد و این پوشش گالوانیزه کامپوزیتی در مقایسه با پوشش شاهد خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و الکتروشیمیایی بهتری را داشت.
- ✓ ضخامت پوشش گالوانیزه کامپوزیتی در مقایسه با نمونه شاهد به اندازه ۳۴ درصد کاهش داشته است.
- ✓ سختی پوشش گالوانیزه کامپوزیتی در مقایسه با نمونه شاهد ۲۸ درصد افزایش یافته است.

مقادیر آندی مربوط به نمونه شاهد می باشد و پوشش Zn-0.1 SiO_2 در مقایسه با دیگر پوشش ها میزان تغییرات پتانسیل کمتری را دارد که در نتیجه بالاترین مقاومت به خوردگی پوشش را می توان به آن نسبت داد. با توجه به نتایج حاصل از دیگر تحقیقات مشابه در این زمینه [۱۱و۱۰] وجود ساختار فشرده در پوشش کامپوزیتی در مقایسه با نمونه شاهد مهم ترین علت افزایش مقاومت به خوردگی این پوشش ها می باشد.

۳-۶-۳- پلاریزاسیون

نتایج حاصل از آزمایش پلاریزاسیون با استفاده از نرم افزار Corrvivew بررسی و مقادیر شیب تافل آندی و کاندی، جریان خوردگی و پتانسیل خوردگی آن محاسبه شد. در شکل ۷ نمودارهای پلاریزاسیون هر کدام از نمونه ها و نتایج حاصل در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل حضور ذرات SiO_2 در پوشش باعث کاهش جریان خوردگی در مقایسه با نمونه شاهد شده است. با توجه به اینکه حضور ذرات SiO_2 در پوشش باعث افزایش فاز انعطاف پذیر زتا و کاهش فاز شکننده دلتا شده است و از طرفی فشرده گی فاز زتا نیز افزایش یافته است، بنابراین ترک های موجود در پوشش کمتر شده است و لذا کاتال های نفوذ یون خوردنده کاهش و انحلال پوشش کمتر شده است، در نتیجه مقاومت به خوردگی آن افزایش یافته است.



شکل ۷: مقایسه نمودارهای پلاریزاسیون پوشش های کامپوزیتی با نمونه شاهد در الکترولیت NaCl با غلظت ۳/۵ درصد.

جدول ۴: نتایج حاصل از آزمایش پلاریزاسیون پوشش کامپوزیتی و شاهد

MPY	E_{corr} (mV) Vs SCE	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	شیب تافل کاتدی (mV/Decade)	شیب تافل آنودی (mV/Decade)	نمونه
۳۴/۷	-۱۰۳۱	۹۶	۱۱۱۷	۱۲۴۵	شاهد
۱/۹	-۹۱۲	۵	۱۵۳	۷۸	Zn-0.1 SiO_2

مقادیر مثبت آنودی را داشته است و پوشش گالوانیزه کامپوزیتی Zn- SiO_2 در مقایسه با نمونه شاهد تغییرات اندکی را در پتانسیل داشته است.

✓ آزمایش های پلاریزاسیون بر روی نمونه ها نشان داد که حضور SiO_2 در پوشش باعث افزایش مقاومت به خوردگی شده است و جریان خوردگی آن در مقایسه با جریان خوردگی نمونه شاهد بسیار کاهش یافته است.

✓ با توجه به نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی از سطح مقطع و سطح پوشش های گالوانیزه کامپوزیتی و پوشش شاهد، حضور SiO_2 در پوشش باعث کاهش فازهای گاما، دلتا و اتا و افزایش فاز زتا شده است. همچنین فشردگی فازهای زتا و دلتا نیز افزایش یافته است و این تغییرات باعث بهبود رفتار خوردگی پوشش شده است.

✓ با اندازه گیری تغییرات پتانسیل نسبت به زمان مشخص شد که نمونه شاهد بالاترین میزان تغییرات پتانسیل به سمت

مراجع

۱. م. قربانی، پوشش دادن فلزات، ۱۳۸۵، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
2. S. M. A. Shibli, F.Chacko, Development of nano CeO_2 -incorporated high performance hot-dip zinc coating, Surface & Coatings Technology, vol 202, 2008, Pp.4971-4975.
3. H. H. Huang, Y.S. Liu, Y.M. Chen, M.C. Huang, M.C. Wang, Effect of oxygen pressure on the microstructure and properties of the Al_2O_3 - SiO_2 thin films deposited by E-beam evaporation. , Surface & Coatings Technology, vol 200, 2006, Pp. 3309.
4. Kh. A. Ragab, R. Abdel-Karim, S. Farag, S. M. El-Raghy, H. A. Ahmed, Influence of SiC, SiO_2 and graphite on corrosive wear of bronze composites Subjected to acid rain, Tribology International, 2008, Pp.1.

5. S. M. A. Shibli, V.S. Dilimon, S.P. Antony, R. Manu, Incorporation of TiO_2 in hot dip zinc coating for efficient resistance to biogrowth, *Surface & Coatings Technology*, vol 200, 2006, Pp.4791.
6. Q.Yu, X. Ma, M. Wang, Ch. Yu, T. Bai, , Influence of embedded particles on microstructure, corrosion resistance and thermal conductivity of CuO/SiO_2 and NiO/SiO_2 nanocomposite coatings, *Applied Surface Science*, vol 254,2008, Pp. 5089–5094.
7. Dianran Yan, Jining He, Xiangzhi Li, Yangaia Liu, Jianxin Zhang, Huili Ding, An investigation of the corrosion behavior of Al_2O_3 based ceramic composite coatings in dilute HCl solution, *Surface and Coatings Technology* , vol 141, 2001, Pp.1-6.
8. XU Rui-dong, WANG Jun-li, GUO Zhong-cheng, WANG Hua, High-temperature oxidation behavior of $\text{CeO}_2\text{-SiO}_2/\text{Ni-W-P}$ composites, *Trans nonferrous met soc, china*, 2009. Pp. 1190-1195.
9. J. Ning, J. Zhang, Y. Pan, J. Guo, Surfactants assisted processing of carbon nanotube-reinforced SiO_2 matrix composites, *Ceramics International*, vol 30, 2004, Pp.63-67.
- 10.S.M.A. Shibli , R. Manu, S. Beegum, Studies on the influence of metal oxides on the galvanic characteristics of hot-dip zinc coating ,*Surface & Coatings Technology*, vol 202, 2008, Pp. 1733–1737.
11. S. M. A. Shibli, A. C. Jayalekshmi, R. Remya, Electrochemical and structural characterization of the mixed oxides-reinforced hot-dip zinc coating ,*Surface & Coatings Technology*, vol 201, 2007, Pp.7560–7565.
12. S. M .A. Shibli, V.S. Dilimon, S.P. Antony, R. Manu, Incorporation of TiO_2 in hot dip zinc coating for efficient resistance to biogrowth, *Surface & Coatings Technology*, vol 200, 2006, Pp.4791.