

اثر آماده‌سازی سطح بر استحکام چسبندگی و مقاومت در برابر خوردگی آلومینیم با پوشش پودری

Effect of Surface Pretreatment on Adhesion Strength and Corrosion Resistance of Powder Coated Aluminium

سیدمجتبی میرعابدینی^۱، سیامک مرادیان^۲، جرج تامپسون^۳، دیوید اسکاتلبوری^۳

۱- تهران، پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵؛ ۲- تهران، خ حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر

۳- انگلستان، منچستر، دانشگاه بومبست، مرکز حفاظت و خوردگی

دریافت: ۷۸/۷/۷، پذیرش: ۷۸/۹/۳۰

چکیده

اثر دو نوع سیستم آماده‌سازی سطح بر استحکام چسبندگی و مقاومت در برابر خوردگی آلومینیم با پوشش پودری بررسی شده است. در این پژوهش، از سیستم پودری هیبرید اپوکسی- پلی‌استر به عنوان پوشش و از آلیاژ ۱۰۵۰ آلومینیم به عنوان فلز پایه استفاده شده است. آماده‌سازی سطح برپایه پوشش تبدیلی کرومات-فسفات و سیستم پلیمری پلی‌آکرلیک اسید انجام شده است. استحکام چسبندگی و مقاومت در برابر خوردگی با استفاده از آزمونهای شتاب یافته (خوردگی)، چسبندگی و روشهای دستگاهی FTIR، SEM، EDX، DSC و DMTA بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از پلی‌آکرلیک اسید استحکام چسبندگی خشک افزایش پیدا می‌کند که به دلیل پیوندهای یونی احتمالی بین فلز و پلیمر است. استحکام چسبندگی بهتر و مقاومت بیشتر در برابر خوردگی توأمآ با استفاده از پوشش تبدیلی کرومات-فسفات بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: خوردگی، آلومینیم، استحکام چسبندگی، پوشش پودری، آماده‌سازی

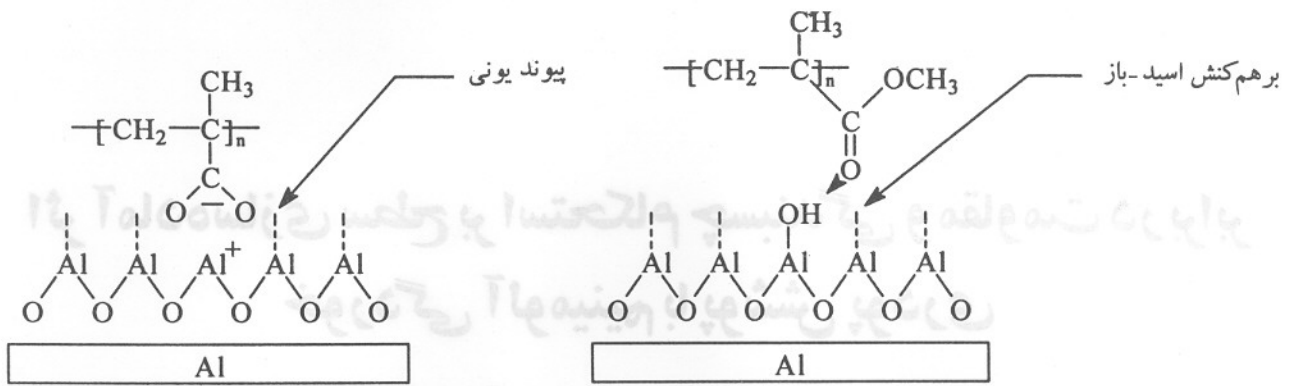
Key Words: corrosion, aluminium, adhesion strength, powder coating, pretreatment

مقدمه

کرد. معمولاً، دو عامل اصلی نوع و ساختار سطح فلز و همچنین، نوع و مقدار محیط خورنده بر رفتار خوردگی آلومینیم اثر می‌گذارند.

پوششهای سطح، علاوه بر ایجاد ظاهری خوشایند، به عنوان یک لایه مقاوم و کمتر نفوذپذیر در برابر عوامل خورنده بکار برده می‌شوند. ضعف در چسبندگی یکی از عواملی است که موجب می‌شود یک لایه پوشش سطح به تنهایی برای حفاظت سطح آلومینیم در برابر عوامل خورنده کافی نباشد [۲]. برای بهبود خواص ضدخوردگی و همچنین، افزایش چسبندگی، سطح آلومینیم با مواد آلی یا معدنی عمل‌آوری می‌شود.

هرگاه، سطح تازه آلومینیم در معرض جو قرار گیرد، به علت تمایل شدید آلومینیم به واکنش با اکسیژن، این سطح سرعت با یک لایه از آلومینیم اکسید پوشیده می‌شود. تقریباً در بسیاری از موارد سطح آلومینیم احتیاج به حفاظت ندارد، زیرا فلز و اکسید آن در شرایط معمولی (۹-۴ pH) تقریباً مقاومند. به علاوه، لایه اکسید تخریب شده سرعت ترمیم می‌شود [۱]. اما، وقتی سطح آلومینیم در معرض یک محیط خورنده قرار گیرد، به علت خوردگی، مسئله کاملاً فرق خواهد



شکل ۱- اثر برهم کنش PMMA و اکسید آلومینیم.

بررسی کرده است [۸]. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که لایه نازک پلی آکرلیک اسید جذب شده روی سطح، نوارهای جذبی در نواحی 1740 و 1620 cm^{-1} دارد که به ترتیب مشخص کننده گروههای COOH - و COO^- است. در مقابل، طیف جذبی پلی آکرلیک اسید تنها نوار جذبی مربوط به گروه عاملی COOH - را نشان می‌دهد. لایه تک مولکولی پلیمر روی سطح موجب افزایش برهم کنش قطبی و پیوندهای هیدروژنی با یونهای موجود روی سطح آلومینیم می‌شود و در نتیجه چسبندگی را افزایش می‌دهد.

گروه‌ها و شولتر آثار گروه عاملی COOH موجود در ترکیب پلیمیل متاکریلات (PMMA) را بر واکنشهای یونی و برهم کنش اسید-باز بررسی کرده‌اند [۹]. برهم کنشهای اسید-باز که در اثر تماس بین PMMA و آلومینیم اکسید انجام می‌گیرد، شامل مکانهای جذبی اسیدی (الکترون گیرنده) و همچنین گروههای عاملی کربوکسیل به عنوان مکانهای بازی (الکترون دهنده) می‌شود (شکل ۱). در پژوهش دیگری وو و دیگر همکاران اثر برهم کنش پلی آکرلیک اسید و اکسیدهای فلزات مختلف را به کمک فن FTIR بررسی کرده‌اند [۱۰]. عواملی مانند مقدار و نوع اکسید فلز، زمان واکنش، حلال و همچنین دمای واکنش در این پژوهش بررسی شده است.

برای پوششهای آلی بطور معمول و حفاظت سطح در برابر خوردگی در حالت خاص، چسبندگی در شرایط تر از جمله مهمترین خواص پوشش سطح است [۱۱]. چسبندگی با حفاظت از سطح فلز در برابر خوردگی ارتباط نزدیک دارد. اگر در یک محیط خورنده پوشش سطح از روی سطح فلز جدا گردد، بلافاصله خواص حفاظتی سطح افت می‌کند و خوردگی ایجاد می‌شود. از آنجاکه خوردگی یک فرایند الکتروشیمیایی است، وجود مولکولهای آب برای هدایت و انتقال یونها بین الکترودها (آند و کاتد) ضروری است. بنابراین، چسبندگی پوششهای سطح تحت شرایط خورنده و خشک، با شرایط مرطوب یا تر

اعمال پوشش تبدیلی معدنی (inorganic conversion coating) از جمله مهمترین عملیاتی است که روی سطح آلومینیم انجام می‌گیرد. این لایه ترکیبی است از اکسید فلز که از چند نانومتر تا چند میکرون ضخامت دارد و در اثر انجام واکنش شیمیایی روی سطح فلز تشکیل می‌شود. مکانیسم ایجاد سد مقاوم، عامل حفاظت از سطح آلومینیم در برابر خوردگی است [۳]. پوششهای تبدیلی بر پایه کرومات، کرومات-فسفات و روی فسفات از جمله پوششهای تبدیلی شناخته شده برای حفاظت آلومینیم‌اند. امروزه سعی می‌شود که ترکیبات کروم، به علت انحلال پذیری زیاد و خاصیت اکسیدکنندگی شدید یون کروم (VI) و حتی مهمتر به دلیل اینکه این مواد از جمله ترکیبات آلوده کننده محیط زیست‌اند، با مواد دیگری جایگزین شوند [۴]. پوششهای تبدیلی بر پایه فلز زیرکونیم به عنوان یک جایگزین مطرح شده‌اند، ولی هنوز جانشین مناسبی برای کروم به شمار نمی‌روند [۵]. آندی کردن سطح آلومینیم نیز یکی از روشهای جلوگیری از خوردگی و افزایش چسبندگی پوشش به سطح آلومینیم است. این روش به علت نیاز به استفاده از نیروی برق، تجهیزات جانبی و مسائل اقتصادی در سالهای اخیر محدودیت کاربرد پیدا کرده است [۶].

استفاده از پیونددهنده‌های پلیمری به صورت یک تک لایه مولکولی روی سطح فلز خاصیت چسبندگی در محیط مرطوب را افزایش می‌دهد، ولی به علت ضخامت کم لایه تک مولکولی روی سطح، که قابلیت پوشاندن و پرکردن برآمدگیها و خلل و فرج سطح فلز را ندارد و همچنین به علت دشواری اعمال یک تک لایه یکنواخت، هنوز استفاده از لایه‌های نازک مورد توجه چندانی قرار نگرفته است [۷].

در زمینه بکارگیری ترکیبات پلیمری بویژه پلی آکرلیک اسید روی سطح اکسید فلزات تحقیقات وسیعی صورت گرفته است [۸-۱۰]. آلازا با استفاده از فن زیرقرمز تبدیل فوریه (FTIR) اثر برهم کنش گروههای کربوکسیل پلی آکرلیک اسید را با سطح آلومینیم

قابل مقایسه نیست [۱۲].

در این پژوهش سعی شده است، علاوه بر بررسی خواص ضد خوردگی پوشش تبدیلی کرومات - فسفات، خواص پلی آکرلیک اسید به عنوان ترکیب کاملاً پلیمری (آلی) و بهبود دهنده چسبندگی بررسی گردد. از پوشش پودری نیز به عنوان جایگزینی مناسب برای پوششهای بر پایه حلال استفاده شده است.

تجربی

مواد

آلومینیم به صورت آلیاژ سری ۱۰۵۰ تجاری تولید شده به وسیله شرکت آلومینیم اراک و با ضخامت ورق ۵/۰ mm، پلی آکرلیک اسید از شرکت شیمیایی فیشر، با وزن مولکولی ۱۰۴,۰۰۰ و غلظت ۲۵ درصد در آب، پوشش پودری از نوع پوشش هیبرید اپوکسی - پلی استر از شرکت مگا و سایر مواد شیمیایی از نوع آزمایشگاهی و با خلوص بالا بوده اند.

دستگاهها

از سیستم اسپری الکتروستاتیک با نام تجاری STAJET ۴۰۵ برای پوشش دادن قطعات استفاده شد. همچنین، برای بررسی خواص پودر و شرایط مناسب پخت پودر از دستگاههای گرماسنج پوششی تفاضلی استانتون رد کرافت مدل STA ۶۲۵ و دستگاه تجزیه گرمایی مکانیکی دینامیکی DMTA ساخت پلیمر لاب برای بدست آوردن T_g پوشش پخت شده و تغییرات T_g در محیطهای خشک و تر استفاده شد.

از دستگاه میکروسکوپ الکترون پوششی (SEM) مدل Hitachi Army متصل به دستگاه تجزیه انرژی تفکیکی پرتو ایکس (EDXA) برای بررسی شکل شناسی سطح و ساختار لایه پوشش تبدیلی استفاده شد و نیز دستگاه FTIR - ATR برای شناسایی و مشخص کردن واکنشهای پلیمر و سطح فلز بکار گرفته شد.

روشها

الف - آماده سازی نمونه ها

ابتدا، نمونه های فلز با ابعاد ۷/۵ cm x ۱۵ cm (Q-Panel) تهیه و با استون و به روش غوطه وری چربی گیری شد. آن گاه، با استفاده از محلول قلیایی سود سوزآور ۵ درصد وزنی در آب مقطر در دمای $50 \pm 5^\circ\text{C}$ و به مدت ۳ دقیقه عمل حکاکی قلیایی انجام گرفت. سپس، در محلول ۵۰ درصد وزنی نیتریک اسید و در دمای محیط ($20 \pm 5^\circ\text{C}$) به مدت ۳ دقیقه عمل رسوب زدایی سطحی (desmutting) صورت گرفت. در مرحله بعد، عمل کرومات دار شدن

اثر آماده سازی سطح بر استحکام چسبندگی و مقاومت در برابر ...

در حمام کرومات - فسفات که ترکیبی از کروم اکسید (۹ g/L) سدیم فلوئورید (۳ g/L) و فسفریک اسید (۶۴ g/L) بود در دمای محیط 20°C و به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت و بلافاصله نمونه ها در کوره گرم در دمای 50°C به مدت ۱۵ دقیقه خشک شد. در بین همه مراحل یاد شده شستشوی نمونه ها با آب مقطر صورت پذیرفت.

ب - ایجاد لایه پلیمری

پس از تهیه نمونه ها، و چربی گیری آنها به روش غوطه وری عمل ایجاد لایه پلیمری در محلول ۲ درصد وزنی پلی آکرلیک اسید در آب مقطر در دمای محیط و به مدت ۳۰ دقیقه انجام گرفت. سپس، نمونه ها در کوره در دمای 120°C به مدت ۱۵ دقیقه خشک شدند.

اعمال پودر

پودر هیبرید اپوکسی - پلی استر با استفاده از افشانه الکتروستاتیک و با ضخامت یکنواخت $50 \mu\text{m}$ تا $60 \mu\text{m}$ روی سطح نمونه ها افشانه شد و سپس، پخت نمونه ها در کوره در دمای 180°C و به مدت ۱۵ دقیقه انجام گرفت.

آزمونهای خوردگی

آزمون مه نمک برای نمونه های آماده سازی شده با پوشش پودری و بدون آن مطابق با استاندارد ASTM B ۱۱۷ و به مدت ۱۰۰۰ ساعت انجام گرفت. همچنین، آزمون محفظه رطوبت طبق استاندارد ASTM D ۲۲۴۷ و نیز آزمون غوطه وری بر طبق استاندارد ASTM D ۸۷۰ برای نمونه های با پوشش پودری و بدون آن انجام گرفت.

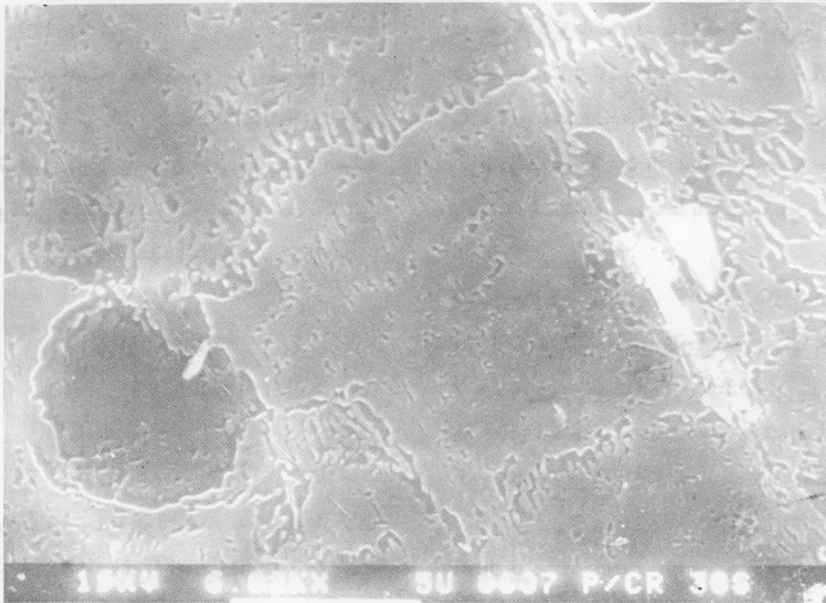
آزمونهای چسبندگی

چسبندگی در حالت خشک و با استفاده از دستگاه اینسترون و بر طبق استاندارد ASTM D ۴۵۴۱-۹۳ برای نمونه های مختلف معین شد. چسبندگی در حالت تر (بلافاصله پس از آزمونهای خوردگی) برای نمونه های مختلف بر طبق استاندارد ASTM D ۳۳۵۹ و به روش آزمون پوست کندن انجام گرفت.

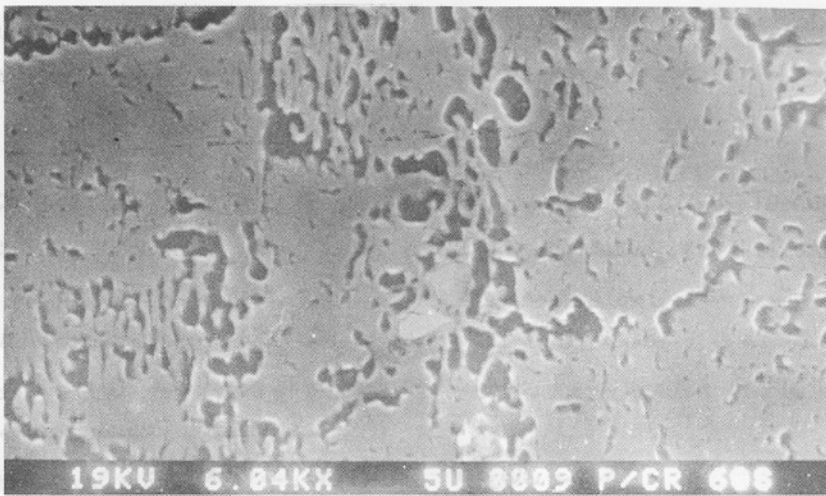
نتایج

شکل شناسی سطح پوشش تبدیلی کرومات - فسفات

تصاویر SEM در شکل ۲ مراحل تشکیل پوشش در زمانهای مختلف و حالت دانه مانند پوشش تبدیلی را نشان می دهد. شکافهای با قطر 100 nm تا $2 \mu\text{m}$ روی سطح نمونه ها در اثر تغییرات جزئی در ضخامت به صورت نواحی تیره و روشن دیده می شود (شکل ۳). حالت



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- مراحل تشکیل لایه تبدیلی معدنی کرومات - فسفات در زمانهای: (الف) ۳۰، (ب) ۶۰ و (ج) ۳۰۰ s.

(۲۱) شبیه خرد شده رابره
رجه رسته و روزه
ولبت رسته و روزه
ناوته در لایه تشکیل آریل
رجه رسته و روزه
در روزه و روزه و روزه

رجه رسته
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه

رجه رسته
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه

رجه رسته
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه
رجه رسته و روزه



شکل ۳- نواحی تیره و روشن و حالت ترک گل خشک در پوشش تبدیلی کرومات - فسفات.

عرضی از نمونه‌ها و بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی ضخامت تقریبی نمونه کرومات‌دار شده به مدت ۱۰ دقیقه، حدود $1/8 - 1/6 \mu\text{m}$ بدست آمد (شکل ۴).

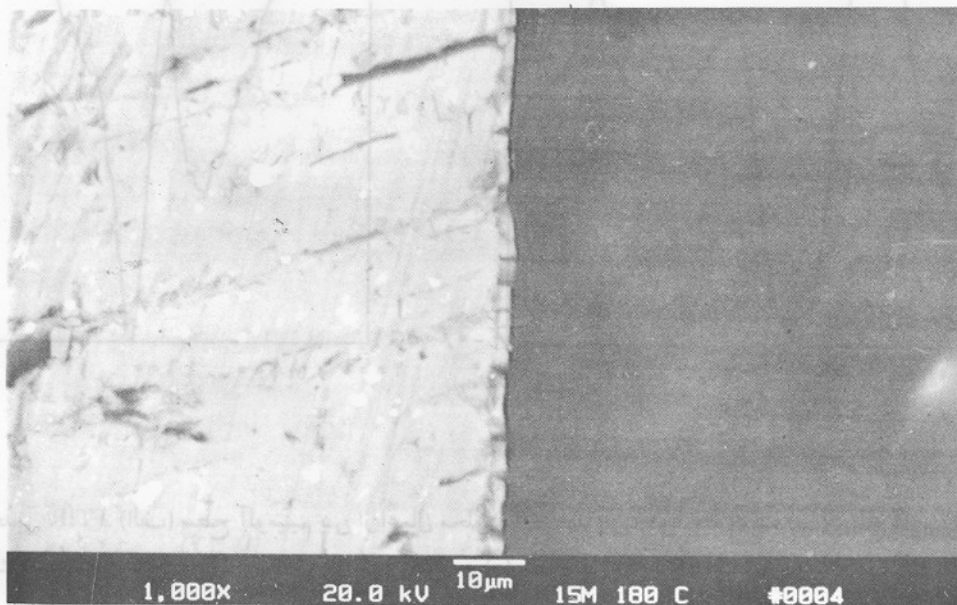
ظاهری نمونه‌ها طی فرایند ایجاد لایه تبدیلی، از حالت نیمه مات به حالت مات سبز رنگ (سدی) تغییر می‌کند.

در فرایندهای ایجاد لایه، که زمانی بیش از ۲۰ دقیقه دارند، حالت ترکهای گل خشک (mud crack) نمونه‌ها، یکنواخت ترمی شود (شکل ۳).

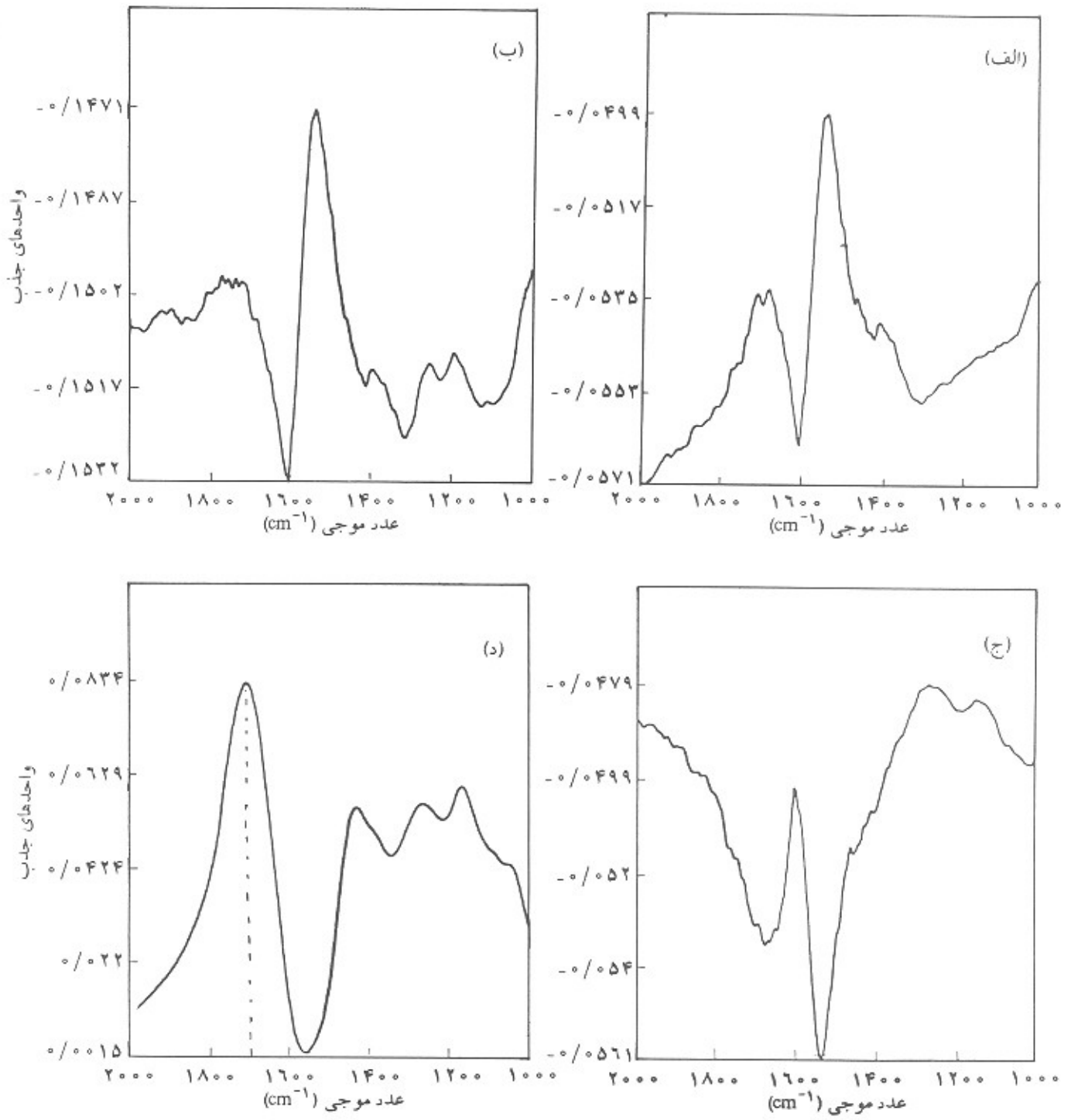
تجزیه عنصری EDXA در مکانهای مختلف وجود عناصر کروم، فسفر و آلومینیم را در ترکیب مشخص می‌کند و در نواحی نزدیک به سطح درصد آلومینیم موجود در ترکیب بیشتر می‌شود. با تهیه مقطع

برهم‌کنش پلی‌آکرلیک اسید و اکسید سطحی آلومینیوم

طیف FTIR لایه نازکی از پلی‌آکرلیک اسید، پیک جذب را در نواحی 1717 cm^{-1} و 1620 cm^{-1} نشان می‌دهد، که مشخصه



شکل ۴- مقطع عرضی نمونه پوشش تبدیلی کرومات - فسفات.



شکل ۵. طیفهای جذبی FTIR: (الف) سطح آلومینیم پس از اعمال محلول ۲ درصد پلی آکرلیک اسید، (ب) سطح آلومینیم پس از اعمال محلول ۱ درصد پلی آکرلیک اسید، (ج) سطح فلز آلومینیم پس از چربی گیری و (د) سطح پلی آکرلیک اسید به صورت فیلم آزاد.

پیک جذبی به ناحیه 1550 cm^{-1} تغییر مکان می دهد که نشان دهنده پیوند احتمالی یونهای کربوکسیل با سطح اکسید آلومینیم است (شکل ۵).

گروه COO^- موجود در پلی آکرلیک اسید است. ولی، وقتی لایه نازک پلی آکرلیک اسید روی اکسید آلومینیم اعمال می گردد، این

جدول ۱- میزان جذب آب برای پوششهای پودری پخت شده در شرایط مختلف (اعداد داده شده متوسط میزان جذب آب به صورت $g/g \times 100$ برای هفت آزمایش جداگانه است).

دمای پخت (°C)	زمان پخت (دقیقه)	فیلم آزاد		فیلم محافظت‌شده	
		در محفظه رطوبت	غوطه‌ور در آب	در محفظه رطوبت	غوطه‌ور در آب
۱۵۰	۳۰	۸/۶۹	۹/۴۲	۷/۲۵	۷/۹۱
۱۸۰	۱۵	۸/۴۷	۸/۶۶	۶/۹۳	۷/۳۳
۲۱۰	۱۰	۷/۰۲	۷/۷۲	۵/۸۷	۶/۱۵

تاولهای بسیار ریزی در اطراف خراشها مشاهده گردید.

آزمون چسبندگی

چسبندگی برای نمونه‌های مختلف به دو روش آزمون پوست کندن و کندن با کتش انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمون کندن با کتش در جدول ۳ و نتایج آزمون پوست کندن در جدول ۴ ارائه شده است.

بحث

حفاظت از سطح فلز در برابر خوردگی و همچنین، چسبندگی رنگهای نقاشی با استفاده از پوششهای تبدیلی معدنی برپایه فلز کروم بخوبی صورت می‌گیرد. برای توجیه خواص پوششهای تبدیلی برپایه فلز کروم می‌توان دلایل زیر را بیان کرد:

- وقتی سطح فلز آلومینیم با محلولهای شیمیایی دارای کروم (VI) اکسید و اسیدهای آلی (مانند فسفریک اسید) و در مجاورت یون فلوئورید آماده‌سازی می‌شود، ترکیبات کروم (III) اکسید با انحلال‌پذیری ضعیف در محیطهای آبی روی سطح ایجاد می‌شود. این ترکیبات نقش یک لایه سدی نفوذناپذیر را در برابر رطوبت و عوامل خوردنده ایفا می‌کنند.

- لایه تبدیلی کرومات علاوه بر ترکیبات کروم (III) حاوی ترکیبات واکنش نداده کروم (VI) است. زمانی که این لایه در معرض عوامل خوردنده قرار می‌گیرد، عمل خنثی‌سازی از طریق کاهش کروم (VI) به کروم (III) روی سطح صورت می‌گیرد و از سطح فلز در برابر عوامل خوردنده حفاظت می‌شود. یکی از واکنشهایی که

میزان جذب رطوبت پوشش و اثر آن بر T_g پوشش پودری

با استفاده از صفحه پلاستیکی پلی‌تترافلوئورواتیلن (PTFE) فیلم آزاد پوشش پودری تهیه شد و میزان جذب رطوبت فیلم پودری آزاد و پوشش اعمال شده روی فلز در محیطهای مرطوب و غوطه‌ور در آب مقطر بدست آمد. قبل و بعد از آزمونهای رطوبت و غوطه‌وری، T_g پلیمر به کمک فن DMTA بدست آمد. نتایج جذب آب پوشش در حالت‌های مختلف در جدول ۱ و تغییرات T_g قبل و بعد از آزمون در جدول ۲ ارائه شده است.

آزمون خوردگی

آزمونهای مه نمک، محیط مرطوب و غوطه‌وری برای نمونه‌های چربی‌گیری شده، سطح دارای زیر لایه پلی‌اکریلیک اسید و سطح دارای پوشش تبدیلی با پوشش پودری و بدون آن انجام گرفت. نمونه‌های با پوشش تبدیلی در همه آزمونها مقاومت نشان دادند و بجز تغییرات جزئی در رنگ نمونه‌هایی (کمی تیره) که آزمون مه نمک روی آنها انجام شد، در بقیه نمونه‌ها هیچ گونه تغییری مشاهده نشد.

نمونه‌های با زیر لایه پلی‌اکریلیک اسید، مقاومت ضعیفی در برابر آب داشتند، بطوری که در همه آزمونها پس از گذشت ۱۰۰ تا ۱۲۰ ساعت از شروع آزمون، تاولهایی به قطر تقریبی ۱-۱/۵ mm در فاصله ۲ mm از خراشها دیده می‌شد. با پیشرفت زمان آزمون، تعداد تاولها و همچنین، قطر تاولها و فاصله آنها از خراش بیشتر می‌شد.

نمونه‌های چربی‌گیری شده مقاومت بهتری در برابر آزمونهای مختلف نشان دادند، بطوری که پس از گذشت حدود ۲۵۰ ساعت

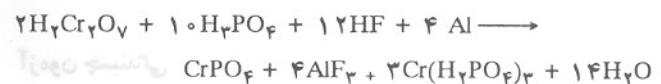
جدول ۲ - تغییرات دمای انتقال شیشه‌ای بعد از انجام آزمون غوطه‌وری.

دمای پخت (°C)	زمان پخت (دقیقه)	T_g قبل از آزمون (°C)	T_g بعد از آزمون (°C)	تغییرات T_g
۱۵۰	۳۰	۷۵/۹۱	۶۹/۲۹	۶/۶۲
۱۸۰	۱۵	۷۷/۲۱	۷۳/۳۹	۳/۸۲
۲۱۰	۳۰	۷۶/۷۵	۷۵/۲۵	۱/۵۰

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون چسبندگی خشک به روش کندن با کشش.

نمونه	استحکام چسبندگی (kgcm ⁻²)
آلومینیم چربی‌گیری شده	۸۴/۲۵۵
زیر لایه پلی‌آکرلیک اسید	۱۱۵/۴۸۱
پوشش تبدیلی کرومات-فسفات	۱۵۵/۶۱۰

برای ایجاد لایه تبدیلی کرومات - فسفات به صورت زیر پیشنهاد شده است [۱۳]:



لایه سبز رنگ ایجاد شده ترکیبی از فسفات آبدار کروم و اکسید آبدار کروم (نزدیک به سطح فلز) است. در فصل مشترک بین فلز و لایه تبدیلی، آلومینیم اکسید و دیگر نمکهای آلومینیم وجود دارد [۱]. لایه تبدیلی ایجاد شده باعث کاهش سرعت واکنشهای کاتدی می‌شود. امروزه در بسیاری از کشورها به دلیل مسائل سرطان‌زایی کروم و خطراتی که در نتیجه استفاده از ترکیبات کروم محیط زیست را تهدید می‌کند، استفاده از آن بسیار محدود شده است [۴].

نتایج حاصل از آزمایشهای DMTA و اندازه‌گیری جذب آب (جدول ۱ و ۲) نشان می‌دهد که حرکت زنجیرهای پلیمری احتمالاً بر دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) پوششهای پودری اثر دارد. T_g پلیمر تحت تاثیر برهم‌کنش گروههای -COOH - قسمت پلی‌استر با حلقه اپوکسی است. هر قدر میزان گروههای -COOH - در ترکیب کاهش یابد (در نتیجه پیشرفت واکنش و افزایش میزان سخت شونده‌گی)، پوشش آب‌گریزتر می‌شود و تمایل کمتری به جذب آب و رطوبت نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، مقادیر T_g پوشش پس از قرارگرفتن در محیط مرطوب کاهش می‌یابد، اما میزان تغییرات چندان محسوس نیست.

بنظر می‌رسد که برنامه‌های پخت گرمایی مختلف اثر چندانی بر خواص پوشش نگذاشته‌اند، اما نتایج حاصل از چسبندگی تر نشان

جدول ۴- کاهش چسبندگی نمونه‌های پوشش پودری شده بر حسب درصد بلافاصله بعد از قرار گرفتن در شرایط مرطوب.

نمونه	پس از ۱۰۰۰ ساعت	پس از ۷ روز غوطه‌وری در آب مقطر
آلومینیم چربی‌گیری شده	۶/۴	۴/۸
آلومینیم با زیر لایه پلی‌آکرلیک اسید	۲۸	۵
آلومینیم با زیر لایه کرومات-فسفات	۱/۶	۱/۶

می‌دهد که بهترین نتیجه برای نمونه‌های پخت شده در دمای ۱۸۰ °C و بمدت ۱۵ دقیقه حاصل می‌گردد.

نتایج حاصل از طیفهای FTIR (شکل ۵) نشان می‌دهند که به دلیل احتمال ایجاد پیوند بین زیر لایه پلی‌آکرلیک اسید و سطح فلز، چسبندگی افزایش پیدا می‌کند (جدول ۳).

اما نتایج آزمون چسبندگی تر (جدول ۴) حاکی از ضعف شدید نمونه‌ها در برابر رطوبت است. برای توجیه ضعف چسبندگی در محیطهای مرطوب دلائل زیر را می‌توان پیشنهاد کرد:

- زیر لایه پلی‌آکرلیک اسید در حد امکان باید تک لایه باشد، تا خواص بهینه ایجاد شود. ایجاد تک لایه پلیمری، به دلیل وجود مسائل کشش سطحی و شکل‌شناسی سطح فلز، کاری بسیار مشکل و سخت است و به علاوه لایه نازک ایجاد شده بخوبی نمی‌تواند خلل و فرجها و برآمدگیها را پوشش دهد.

- آبدوست بودن پلی‌آکرلیک اسید باعث افزایش سرعت نفوذ آب و رطوبت به سطح فلز می‌گردد و با ایجاد شرایط مناسب برای شروع واکنشهای خوردگی (۳/۵ - ۴/۵ pH) چسبندگی شدت افت می‌کند و خوردگی بوجود می‌آید.

- چون لایه اکسید سطحی ضعیف و بسیار نازک است، احتمال برقراری پیوند بین پلی‌آکرلیک اسید و اکسید فلز به حداقل می‌رسد.

نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که چسبندگی مواد نقاشی با زیر لایه پلی‌آکرلیک اسید، که در معرض رطوبت بوده است، پس از خارج شدن از شرایط مرطوب مجدداً افزایش پیدا می‌کند. از جمله دلائلی که برای توجیه این مسئله می‌توان بیان کرد، افزایش ضخامت لایه اکسید سطحی و افزایش احتمال برقراری پیوند پلی‌آکرلیک اسید با اکسید سطحی ایجاد شده است.

نتیجه‌گیری

پوششهای تبدیلی معدنی برپایه فلز کروم از سطح در برابر خوردگی بخوبی حفاظت می‌کنند، ولی به دلیل مسائل زیست محیطی،

- Off set drukkerij, 1991.
- Sander et al.; US. Pat., 4921552, 1988.
 - Iris Maege et al.; Ultrathin Organic Layers for Corrosion Protection; *2th Aluminium Surface Science and Technology*, 126-7, 24, 1997.
 - Brace A.W.; *The Technology of Anodizing Al*; Technology, 1979.
 - Funke W.; *Prog Org. Coatings*; **28**, 8-13, 1996.
 - Allara D.L.; *Adhesion and Adsorption of Polymers*; Lee H. L., Plenum, 751, 1979.
 - Grohens Y. and Schultz; *J. Adhesion and Adhesive*; **17**, Nov. 2, 1997.
 - Sugama T. et al.; *J. Mat. Sci.*; **19**, 4045-56, 1984.
 - Funke; *Oil & Colour Chem. Asso.*; **9**, 229, 1985.
 - Funke W.; *Prog. Org. Coat*; **9**, 29, 1981.
 - Deck P.D. et al.; *Surface coating International*; **10**, 487, 1998.

استفاده از کروم بتدریج در کشورهای صنعتی محدود می‌شود و در کشورهای پیشرفته از ترکیبات جایگزین استفاده می‌گردد. لایه‌های نازک پلیمری هم، به علت مشکلات ناشی از سختی اعمال تک لایه، هنوز راه زیادی تا رسیدن به موقعیت جایگزین ترکیبات کروم در پیش دارند. اخیراً استفاده از مخلوطهای فلوئورواسیدها (مانند فلوئورو زیرکونیم اسید) با پلیمرها (پلی آکرلیک اسید اکریل آمید) به عنوان زیرلایه آلی - معدنی توصیه می‌شود که این ترکیبات هم مقاومت در برابر خوردگی را افزایش می‌دهند و هم چسبندگی لایه پوشش به سطح فلز را توأما بهبود می‌بخشند [۱۳].

مراجع

- Wernick S.; *The Surface Treatment and Finishing of Al and Its alloy*; **1**, Finishing, 1987.
- Funke W.; *Prog. Org. Coatings*; **28**, 3-7, 1996.
- Geeren F.; *Characterization of Organic Coatings*; Pasmans