



## پژوهش‌نامه ریخته‌گری

### مقاله پژوهشی:

## ایجاد پوشش روی - آلومینیم ورقه‌ای روی دیسک ترمز چدنی ریختگی و بررسی اثر ضخامت پوشش بر رفتار خوردگی آن

رضا اندرزگو<sup>۱</sup>، محمدباقر لیمویی<sup>۲\*</sup>، پیمان عمرانیان محمدی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله املی آمل

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله املی آمل

۳- دکترای مهندسی مواد، گروه مهندسی مواد و متالورژی، مرکز علمی کاربردی فولادین ذوب آمل

\* نویسنده مکاتبه کننده: : تلفن: ۰۱۱-۴۴۲۹۶۳۶۰، E-mail: m.b.limooei@iauamol.ac.ir

### چکیده:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۳۰

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶

توجه به توسعه‌ی پوشش‌های حفاظت خوردگی برای کاربردهای محیط خورنده به واسطه مقاومت آنها در مقابل نفوذ عوامل مخرب خوردگی افزایش یافته است. در تحقیق حاضر، فرآیند غیرالکترولیتی برای ایجاد پوشش‌های روی - آلومینیم ورقه‌ای به روش پاشش کردن روی سطح چدن استفاده شد. سطوح نمونه‌های چدنی با استفاده از مقادیر چسب ۳۰ تا ۵۰ درصد وزنی و مقدار حلال به ترتیب ۴۰ تا ۲۰ درصد وزنی و مقدار پودر آلیاژ روی - آلومینیم ورقه‌ای ۳۰ درصد وزنی، تحت فرآیند پوشش‌دهی قرار گرفت. سطح و مقطع عرضی پوشش ایجاد شده با استفاده از آزمایش چسبندگی و میکروسکوپ الکترونی روبشی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد مقدار چسب بر کیفیت پوشش اعمال شده بسیار موثر بود. در مقدار ۴۰ درصد وزنی چسب و ۳۰ درصد وزنی حلال شرایط بهینه ایجاد شد. به طوری که باعث چسبندگی مناسب پوشش بر سطح زمینه شد. درحالی که در مقادیر کمتر چسب، کیفیت چسبندگی پوشش بر سطح زمینه کاهش یافت و در مقادیر بیشتر، باعث تخریب پوشش سطحی حین فرآیند پخت شد. نمونه‌های چدن با مقادیر ۴۰ درصد وزنی چسب و ۳۰ درصد وزنی حلال طی یک بار، دوبار و سه بار اعمال پاشش قرار گرفتند و تحت خوردگی در محیط پاشش نمک قرار گرفتند. دمای محیط خوردگی ۳۵ درجه سانتیگراد و مدت زمان قرارگیری نمونه ۶۰ تا ۲۴۰ ساعت بود. سطح نمونه‌های تحت آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خوردگی در محیط پاشش نمک نشان داد که نمونه پوشش‌دهی شده طی سه بار، دارای مقاومت خوردگی بهتر از سایر نمونه‌ها بود.

### واژه‌های کلیدی:

پوشش‌دهی با پاشش، چدن خاکستری، پوشش روی آلومینیم ورقه‌ای، خوردگی.

### ارجاع به این مقاله:

رضا اندرزگو، محمدباقر لیمویی، پیمان عمرانیان محمدی، ایجاد پوشش روی - آلومینیم ورقه‌ای روی دیسک ترمز چدنی ریختگی و بررسی اثر ضخامت پوشش بر رفتار خوردگی آن، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، بهار ۱۳۹۹، جلد ۴، شماره ۱، صفحات ۲۱-۲۹.  
شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2020.212744.1113

### ۱- مقدمه

کرد [۳]. پوشش غیرالکترولیتی روی - آلومینیم ورقه‌ای یکی از بهترین انتخاب‌ها به عنوان ماده پوششی مقاوم در برابر خوردگی است [۴-۶]. مزایای اصلی این ماده، در مقایسه با پوشش‌های مرسوم دیگر مانند رسوب الکترولیتی و پوشش کادمیم، قیمت پایین، افزایش مقاومت به خوردگی، کنترل روانکاری، حذف عامل مخرب هیدروژنی، نداشتن پساب و فاضلاب، عدم دورریز و هدر رفت در پایان سیکل کاری، همچنین عدم واکنش‌های شیمیایی مخرب در طول مرحله‌ی پخت است [۷-۱۱]. به دلیل ساختار ورقه‌ای دانه‌های روی - آلومینیم موجود، پوشش متراکم و فشرده

در کاربردهای صنعتی شامل تولید قطعات خودرو و ماشین‌آلات کشاورزی و صنایع نفت و گاز و حتی لوازم خانگی حفاظت از اجزای مورد استفاده در برابر عوامل خوردگی از اهمیت چشمگیری برخوردار است [۲، ۱]. اما از آنجایی که توسعه آلیاژهایی که بتواند این نیاز را برآورده سازد مشکل است، در چنین صنایعی همواره درخواست وسیعی برای مواد جدید که به صورت پوشش استفاده شود وجود دارد تا با به کارگیری آن بتوان قابلیت حفاظت از خوردگی در برابر عوامل خورنده را ایجاد

روش‌های مختلفی اعمال می‌گردد. به طور کلی دو رویکرد اصلی برای اعمال پوشش‌های روی-آلومینیم وجود دارد: روش غوطه-وری و روش پاشش. شکل، وزن و فرم طولی قطعات در انتخاب روش اعمال پوشش موثر است فرآیند پاشش برای حفاظت از قطعاتی مورد استفاده می‌گیرد که اشکال آن‌ها به گونه‌ای است که حذف مایع پوشش اضافه از طریق چرخش یا تخلیه ساده نباشد، برای بعضی از قطعات، این روش تنها روش موثر برای اعمال پوشش است. از جمله قطعاتی که می‌توانند با این روش مورد پوشش قرار گیرند شامل متعلقات ترمز از جمله دیسک ترمز است.

در فرآیند پاشش به دلیل نفوذ عالی مایع پوشش و پوشش‌دهی مناسب قطعات با اشکال پیچیده، به طور موثر موجب حفاظت خوب قطعات در برابر خوردگی می‌شود [۲۰-۲۱]. هدف از تحقیق حاضر ایجاد و بررسی پوشش پودر آلیاژ روی-آلومینیم ورقه‌ای بر روی دیسک چرخ خودرو از جنس چدن با استفاده از روش پاشش است.

## ۲- مواد و روش تحقیق

برای تهیه نمونه‌های اولیه دیسک چدنی، ذوبی با ترکیب شیمیایی جدول (۱) در کوره القایی تهیه و با دمای  $1400^{\circ}\text{C}$  در قالب ماسه تر ریخته‌گری شد. نمونه‌های حاصل به وسیله دستگاه کوانتومتری (اسپکترو لب) جهت تعیین ترکیب شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس قطعات، جهت ایجاد نمونه‌هایی برای اعمال پوشش و انجام آزمایش‌های بعدی برش داده شد. برای ساخت ۱۰۰ گرم ماده پوشش روی-آلومینیم ورقه‌ای ابتدا، اتیل سیلیکات و بوتیل تیتانات به صورت محلول با نسبت وزنی ۱۵ به ۲۵ به مدت ۱۰ دقیقه در هم‌زن مغناطیسی با هم مخلوط شدند تا چسب مورد استفاده در ساخت پوشش آماده شود. در طول فرآیند از مقادیر ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درصد وزنی چسب و به ترتیب ۴۰، ۳۵، ۳۰، ۲۵ و ۲۰ درصد وزنی حلال استفاده شد. در این فرآیند از پودر آلیاژ روی-آلومینیم (۳۰ درصد وزنی) ورقه‌ای با اندازه دانه ۸ تا ۱۵ میکرومتر و ترکیب شیمیایی روی ۸۳/۳ درصد وزنی، آلومینیم ۱۳ درصد وزنی، مس ۱/۷ درصد وزنی و اکسیژن ۲ درصد وزنی به عنوان ممانعت کننده خوردگی با مقدار ثابت در ترکیبات مختلف استفاده شد. در حالی که مقادیر چسب و حلال متغیر در نظر گرفته شد. نسبت‌های چسب و حلال بکار رفته در آزمایش‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است.

شده، فضای خالی بین دانه‌ها را کاهش داده و منجر به افزایش مقاومت به خوردگی می‌شود [۱۲-۱۴]. همچنین به علت اکسیداسیون آلومینیم پس از تماس ذرات آلومینیم با اکسیژن موجود در اتمسفر هوا، مقاومت به خوردگی این پوشش‌ها بهبود می‌یابد [۱۵]. پوشش‌های روی-آلومینیم ورقه‌ای، مواد بسیار جذابی برای صنعت خودرو محسوب می‌شوند که در معرض محیط اکسیدی هستند. از این‌رو، مطالعات بسیاری در زمینه حفاظت خوردگی قطعات خودرو صورت گرفته است [۱۶]. در مطالعه‌ی استوتی آمرین و همکارانش [۱۷] عملکرد خوردگی سه ترکیب مختلف پوشش بررسی شد، ترکیب شامل پوشش روی-نیکل با روش پوشش‌دهی الکترولیز و پوشش روی-آلومینیم ورقه‌ای با روش غیرالکترولیتی و پوشش کروماتیک سیاه بود. هر کدام از نمونه‌ها ۷۲ ساعت در معرض آزمایش پاشش نمک قرار گرفتند، آنها نشان دادند که پوشش روی-آلومینیم ورقه‌ای و پوشش روی-نیکل از پوشش کروماتیک عملکرد بهتری دارند. در مطالعه‌ی دیگر، لوجی [۱۸] سطح ظاهری پودر روی کرووی و پودر روی-آلومینیم ورقه‌ای را با هم مقایسه نمود، نتایج نشان داد که شکاف‌های چشم‌گیر و آشکار بین ذرات در پوشش روی کرووی وجود دارد در مقابل، ذرات در پوشش روی-آلومینیم ورقه‌ای متراکم و فشرده شده و فضای خالی کوچکی بین ذرات وجود دارد. پس از تماس با هوا، به علت اکسیداسیون آلومینیم فیلم محافظ خوردگی گسترش می‌یابد. آزمایش پاشش نمک برای بررسی مقاومت به خوردگی پوشش روی و پوشش روی-آلومینیم ورقه‌ای نشان داد که پودر روی-آلومینیم ورقه‌ای در ترکیب پوشش با ضخامت ۳۸ میکرومتر پس از ۴۳۹ ساعت دچار زنگ قرمز شده ولی پودر روی کرووی با ضخامت ۴۳ میکرومتر پس از ۲۶۳ ساعت علائم زنگ قرمز را نشان داد. با این توصیف پوشش با ذرات روی-آلومینیم ورقه‌ای در مقایسه با پودر کرووی اثر حفاظتی بهتر و مقاومت بیشتری در برابر نفوذ مواد خورنده دارد. رینولدز و همکارانش [۱۹] نوعی از ترکیب پوشش روی-آلومینیم ورقه‌ای برای اعمال آن بر روتور ترمز را بررسی نمودند. هدف از این پروژه، افزایش مقاومت در برابر خوردگی بدون اختلال در عملکرد ترمز بود. پوشش یک ترکیب دو جزئی شامل یک اتصال دهنده محلول در آب و یک بازدارنده خوردگی بود. اتصال دهنده شامل سیلیکات پتاسیم و بازدارنده پودر فلز روی بود. مراحل پوشش دهی شامل تمیزکاری و اعمال پوشش و پخت در کوره بود. روتور پوشش داده شده بر روی وسیله نقلیه قرار گرفته، پس از اعمال ۷۵ بار ترمز، هیچ‌گونه عارضه و یا خوردگی مشاهده نشد. پوشش‌های روی آلومینیم ورقه‌ای به

جدول ۱- ترکیب شیمیایی چدن مورد استفاده (درصد وزنی)

عنصر	C	Si	Mn	S	Cr	Cu	Sn	Ti
درصد وزنی	۳/۲۷	۱/۷۵	۰/۵۷	۰/۰۶۸	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۰۳۹	۰/۰۱۳

جدول ۲- مقادیر چسب و حلال مورد استفاده برای ساخت پوشش

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵
درصد چسب	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
درصد حلال	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰

دو و سه مرحله روی نمونه‌ها اعمال و از لحاظ چسبندگی مورد بررسی قرار گرفت.

کلیه نمونه‌ها از مقطع عرضی برش داده شد و پس از مانت و پولیش از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM, TE-SCAN) (MIRA3)، مجهز به سیستم آنالیز (EDS, Oxford Inca, Oxford Instruments) جهت بررسی پوشش استفاده شد. آزمایش میکروسختی سنجی (Hysitron Inc., TriboScope®) ویکرز تحت استاندارد ASTM E 384-17 با اعمال نیروی ۱۰ گرم به مدت ۲۰ ثانیه مورد بررسی قرار گرفت.

نمونه بهینه با اعمال پاشش یک، دو و سه مرحله‌ای در دستگاه پاشش نمک (Salt Spray, S85-V400) تحت استاندارد ASTM B117-16 مورد آزمایش قرار گرفتند. نمونه‌ها به مدت ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد در معرض جریان آب نمک با غلظت ۶-۴ در صد وزنی نمک و ۹۶-۹۴ درصد وزنی آب مقطر قرار گرفتند. فشار پاشش آب نمک ۱/۲۴-۰/۸۳ بار و PH محلول نمک ۷/۲-۶/۵ بود. نمونه‌ها به صورت آویزان و تحت زاویه ۳۰-۱۵ درجه نسبت به راستای قائم در محفظه آزمایش قرار گرفتند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی پوشش

شکل (۱) اثر ترکیب مورد استفاده در فرآیند پوشش‌دهی را روی چسبندگی پوشش به زیرلایه نشان می‌دهد. در این شکل چسبندگی پوشش برای مقادیر مختلف چسب ۳۰ الی ۵۰ درصد وزنی و ۲۰ الی ۴۰ درصد وزنی حلال مشخص شده است. با افزایش مقدار چسب ابتدا چسبندگی پوشش افزایش یافت. این افزایش چسبندگی زمانی که مقدار چسب از ۳۰ درصد وزنی به ۳۵ درصد وزنی افزایش یافت، چشمگیر نبود به طوری که میزان چسبندگی پوشش سطحی، از ۳۵ درصد به ۴۵ درصد اتفاق افتاد. اما با افزایش مقدار چسب از ۳۵ درصد وزنی به ۴۰ درصد وزنی، چسبندگی بهبود یافت و چسبندگی پوشش سطحی از ۴۵ درصد به ۶۵ درصد افزایش یافت. در ادامه با افزایش مقدار چسب

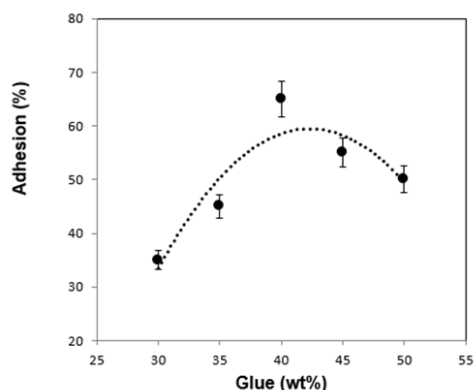
پس از آماده‌سازی چسب، برای ساخت نمونه شماره ۱، مقدار ۳۰ درصد وزنی چسب پس از توزین درون مخزن همزن پره‌ای ریخته شد، در مرحله دوم، ۱۰ درصد وزنی از حلال (وایت اسپریت)، به مخزن حاوی چسب اضافه شد. این ترکیب به مدت ۵ دقیقه و با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه مخلوط شد. در مرحله سوم پودر آلیاژ روی-آلومینیم ورقه‌ای به مقدار ۳۰ درصد وزنی و به تدریج به مخزن مخلوط کن اضافه شد. زمان اختلاط پودر به مدت ۵ دقیقه و سرعت هم‌زن ۳۰۰ دور در دقیقه بود. در مرحله چهارم، باقی‌مانده حلال به تدریج به مخزن اضافه شد. این مرحله طی ۵ دقیقه و با همان سرعت انجام شد. در مرحله پنجم، تمام مواد موجود در مخزن همزن پره‌ای به مدت ۵ دقیقه و با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. در مرحله ششم، پوشش‌دهی بوسیله پیستوله روی سطح زیر لایه‌ای از جنس چدن خاکستری با ابعاد ۱۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر و ترکیب شیمیایی ۹۲/۸ درصد وزنی آهن، ۴/۵ درصد وزنی کربن، ۱/۶۴ درصد وزنی سیلیسیم، ۰/۳۲۸ درصد وزنی منگنز، ۰/۳۸۶ درصد وزنی فسفر، ۰/۰۸۹۸ درصد وزنی گوگرد، ۰/۰۸۴ درصد وزنی کروم، انجام شد. زیرلایه تحت زاویه ۱۵ درجه در راستای افق بر میز کار ثابت بود، فرآیند پاشش در طی یک مرحله انجام شد، سپس نمونه پوشش داده شده به مدت ۱۰ دقیقه در دمای محیط (حدود ۳۸ درجه سانتیگراد) نگهداری شد تا کمی از حلال موجود در پوشش در این دما تبخیر شود، سپس نمونه در کوره‌ای با دمای ۲۰۰°C به مدت ۱۰ دقیقه تحت حرارت قرار گرفت. پس از اتمام عمل پخت نمونه از کوره خارج و در دمای محیط به مدت ۱۰ دقیقه نگهداری شد. نمونه‌های شماره ۲ تا ۵ نیز بر اساس ترکیب‌های جدول (۱) و مطابق مراحل انجام شده برای نمونه شماره ۱، آماده‌سازی شدند. در طول فرآیند دمای محیط آزمایشگاه ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت محیط ۸۰ درصد بود.

میزان چسبندگی پوشش برای کلیه نمونه‌ها با استفاده از آزمایش ارزیابی کیفیت چسبندگی سطح (Cross Cut) تحت استاندارد ASTM D3359 مورد بررسی قرار گرفت و سپس نمونه با بهترین شرایط چسبندگی تعیین شد. سپس پوشش با ترکیب بهینه در

حداقل میزان چسب، بهترین کیفیت سطحی و نمونه با حداکثر میزان چسب، نامطلوب‌ترین کیفیت سطحی را دارد. از آن جایی که چسب دارای مقداری رطوبت است، پس از حرارت دادن پوشش ایجاد شده، مقدار قابل توجهی از رطوبت تبخیر شده و در هنگام خروج گاز از میان ذرات پوشش، سطح پوشش را تخریب نموده و ظاهری متخلخل ایجاد شد.

جهت بررسی ترکیبات پوشش (ترکیب پوشش با ۴۰ درصد وزنی چسب)، از EDS خطی و نقطه‌ای استفاده شد. شکل (۳) آنالیز خطی برای ۱۰ نقطه مشخص شده از نمونه پوشش داده را نشان می‌دهد. بررسی نقاط تعیین شده نشان می‌دهد که بیشترین عنصر تشکیل دهنده پوشش، فلز روی است و پس از آن آلومینیم، تیتانیوم و سیلیسیم عناصر اصلی تشکیل دهنده پوشش هستند. دلیل این پروفیل غلظتی در ترکیب اولیه پودر آلیاژی مربوط می‌شود به این که پودر مورد استفاده به ترتیب میزان غلظت دارای روی، آلومینیم و تیتانیوم بود.

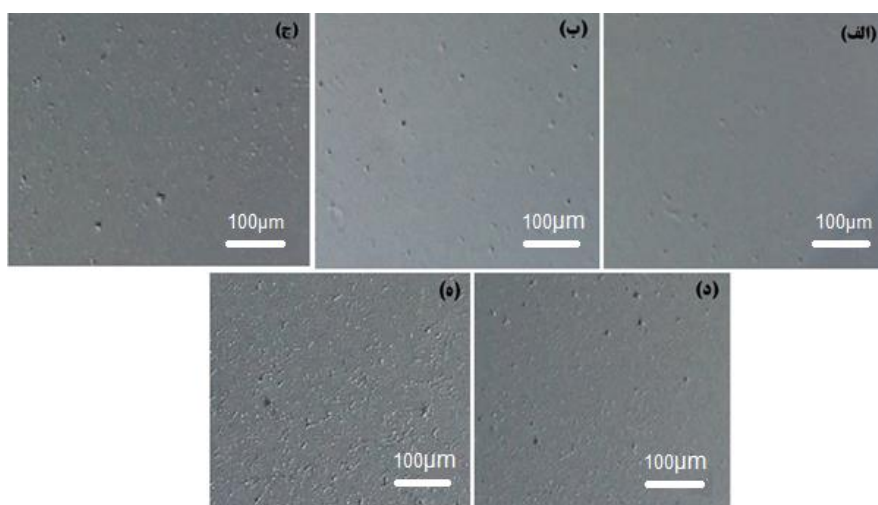
در شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) نتایج EDS نقطه‌ای برای نقاط A, B, C, D و E بیان شده است. مطابق شکل (۴-الف)، نقاط مشخص شده A و B که بیانگر نقاط نواحی سفید در ساختار پوشش هستند، دارای بیش از ۵۰ درصد روی و نزدیک به ۱۰ درصد آلومینیم هستند. مطابق شکل (۴-ب) و جدول (۳) نقطه C که به رنگ تیره است دارای بیشترین تیتانیوم در ترکیب است که مربوط به ترکیب چسب است. نقطه D، بیشترین مقدار عنصر تشکیل دهنده آن آهن است که می‌توان گفت مربوط به ترکیب زمینه است. نقطه E که مربوط به ناحیه تیره رنگ است به دلیل نزدیک بودن به زمینه، علاوه بر ترکیبات پوشش دارای حدود ۳۶ درصد عنصر آهن است.



شکل ۱- اثر مقدار چسب بر میزان چسبندگی پوشش

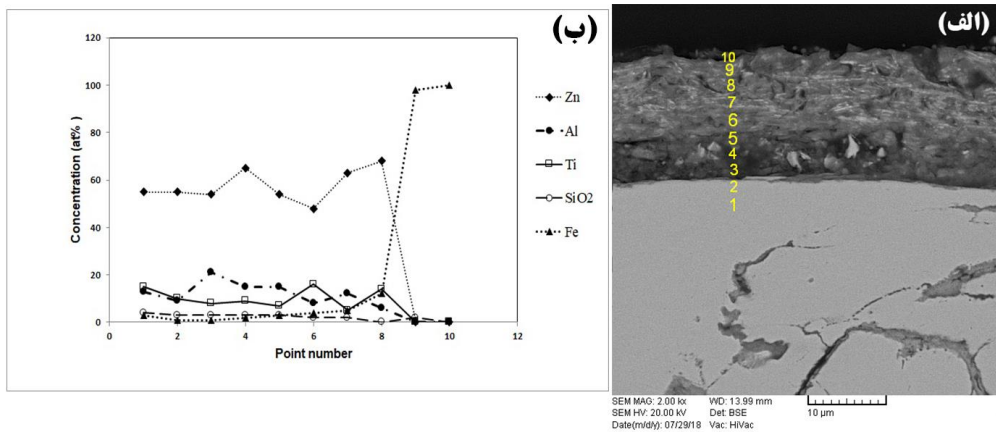
از ۴۰ به ۴۵ و ۵۰ درصد وزنی کاهش چسبندگی اتفاق افتاد. برای مقادیر کمتر از ۴۰ درصد وزنی، چسب کافی برای پوشش کامل سطحی ذرات و پر کردن فضای خالی بین ذرات وجود ندارد. در نتیجه، کل ذرات تحت پیوند با چسب و با یکدیگر قرار نگرفته و منجر به کاهش چسبندگی بین ذرات پوشش و زیرلایه شد. از طرف دیگر برای مقادیر بیش از ۴۰ درصد وزنی، مقدار چسب بیش از مقدار کافی برای پوشش دادن کل ذرات بوده و باعث افزایش زمینه متخلخل شده است. بنابراین ذرات به یکدیگر پیوند نخورده و چسبندگی میان پوشش و زیرلایه کاهش یافت. شارما [۲۲] و همکاران مشابه این پدیده را گزارش نمودند.

شکل (۲)، تصاویری از سطح نمونه پوشش داده شده با مقادیر مختلف چسب را نشان می‌دهد. تخریب پوشش سطحی نمونه با مقادیر ۴۵ و ۵۰ درصد به خوبی نمایان است. همان‌طور که مشخص است، مقدار حفرات سطحی روی پوشش با افزایش مقدار چسب، افزایش یافته و از لحاظ کیفیت سطحی نمونه با

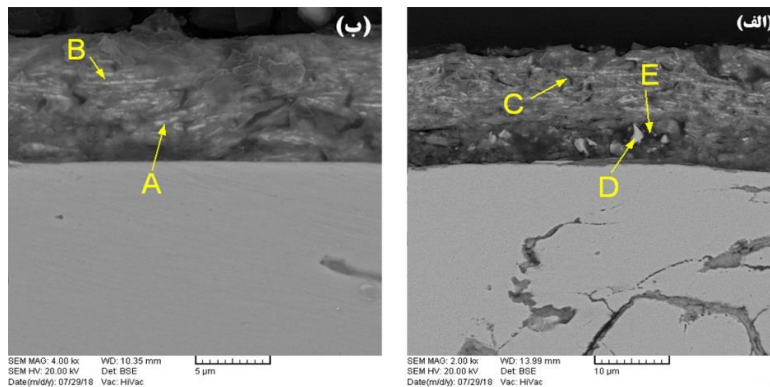


شکل ۲- تصاویر از سطح نمونه پوشش داده شده با مقادیر مختلف چسب برای:

الف) ۳۰ درصد چسب (ب) ۳۵ درصد چسب (ج) ۴۰ درصد چسب (د) ۴۵ درصد چسب (ه) ۵۰ درصد چسب



شکل ۳- الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع عرضی قطعه چدنی پوشش داده شده با ۴۰ درصد وزنی چسب، ب) غلظت‌های Zn، Al، Ti، SiO<sub>2</sub> و Fe حاصل از EDS در نقاط ۱ تا ۱۰



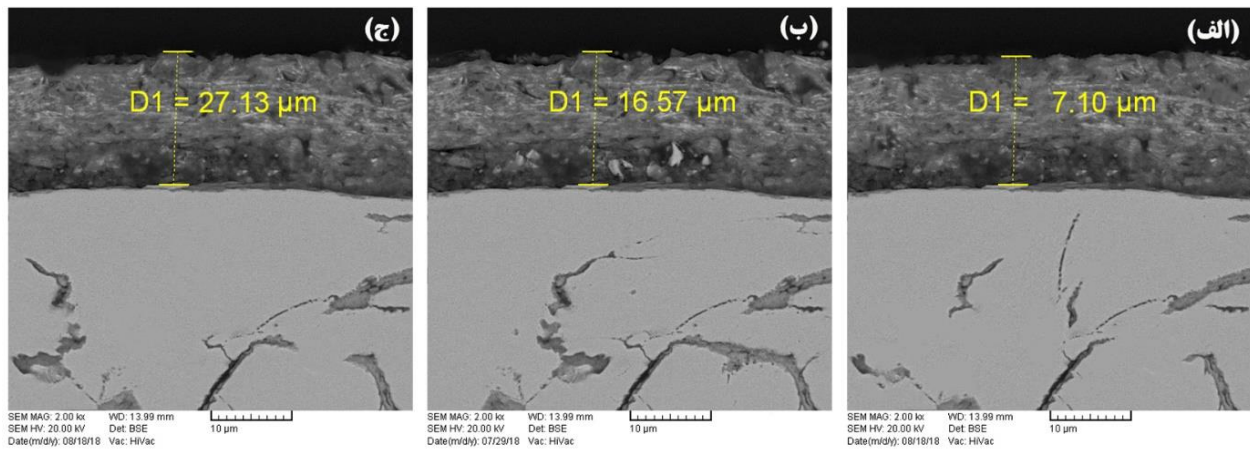
عناصر نقاط	درصد وزنی آهن	درصد وزنی روی	درصد وزنی آلومینیوم	درصد وزنی تیتانیوم	درصد وزنی سیلیکون	درصد وزنی اکسیژن
نقطه A	۲/۰۶	۶۶/۵۶	۱۲/۱۲	۶/۷۹	۲/۲۸	۱۰/۲۱
نقطه B	۲/۴۷	۵۰/۸۱	۹/۱۷	۱۵/۰۷	۱/۸۰	۲۰/۶۹
نقطه C	-	۶۰/۴۵	۶/۰۵	۱۷/۴۲	۱/۲۲	۱۴/۸۷
نقطه D	۷۶/۰۷	۱۰/۴۳	۱/۸۲	۴/۳۵	۱/۵۱	۵/۱۱
نقطه E	۳۵/۹۲	۳۸/۲۷	۸/۱۵	۱۳/۵۱	۲/۳۴	۱/۸۱

شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع عرضی قطعه چدنی پوشش داده شده با ۴۰ درصد وزنی چسب، و تغییر ترکیب شیمیایی نقطه‌ای برای الف) نقاط A و B (ب) نقاط C، D و E

اندازه‌گیری شد. با افزایش ضخامت پوشش و متعاقب آن افزایش فاصله از فصل مشترک پوشش و زیرلایه، اثر منفی فصل مشترک بر سختی پوشش کاهش یافته و مقادیر نسبتاً کمی به اعداد سختی اضافه خواهد شد.

بررسی ساختار پوشش نشان داد (شکل ۷) که ساختار حاصل، ساختاری لایه‌ای بوده و این اتفاق نتیجه‌ی استفاده از پودرهای آلیاژی لایه‌ای است. چنین ساختاری باعث می‌شود که پوشش همانند ساختاری چند لایه عمل کرده و هر یک به عنوان مانعی در مقابل خوردگی عمل کنند. لذا باعث افزایش مقاومت در مقابل خوردگی می‌شود [۱۰].

شکل (۵) تصاویر SEM از مقطع عرضی پوشش اعمال شده بر سطح نمونه چدن را نشان می‌دهد، نمونه‌ای که یک بار پوشش بر سطح آن اعمال شد، دارای کمترین مقدار ضخامت از سایر نمونه‌ها بود (شکل ۵-الف). افزایش دفعات پوشش‌دهی، سبب افزایش ضخامت پوشش‌دهی شد، به طوری که اعمال یک بار، دو بار و سه بار پوشش روی-آلومینیم ورقه‌ای بر سطح نمونه به ترتیب باعث ایجاد پوششی به ضخامت تقریبی ۷/۱ و ۱۶/۷ و ۲۳ میکرومتر شد. همان‌طور که در شکل (۶) مشخص است، افزایش دفعات پوشش سبب افزایش سختی هم شد. مقادیر سختی برای ۱، ۲ و ۳ بار پوشش‌دهی به ترتیب ۴۵، ۴۸ و ۵۵ ویکرز

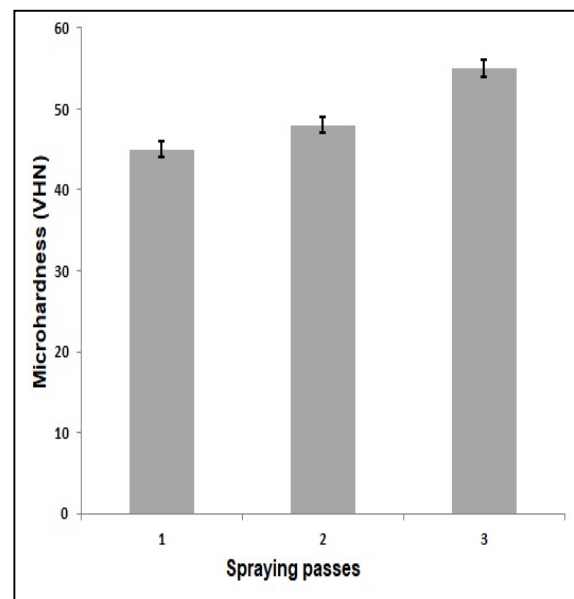


شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع عرضی نمونه های پوشش داده شده برای (الف) یکبار پوشش (ب) دوبار پوشش (ج) سه بار پوشش

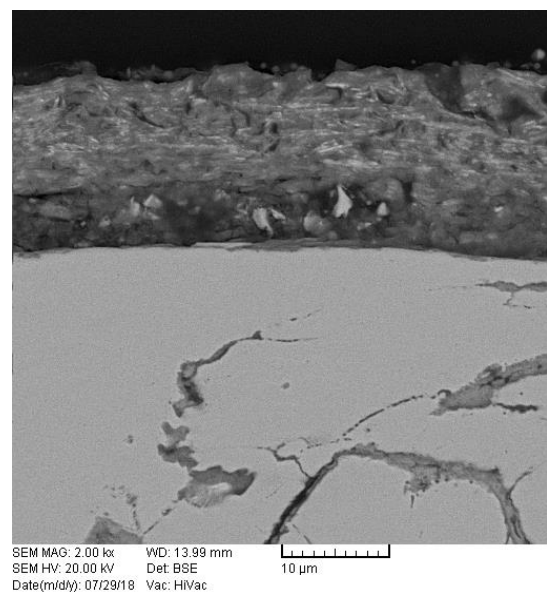
### ۳-۲- بررسی رفتار خوردگی پوشش

نتایج آزمایش خوردگی مربوط به نمونه فاقد پوشش در شکل (الف-۸) و (ب-۸) نشان داده شده است، همان‌طور که مشخص است، نمونه چدنی در شرایط بدون پوشش و تحت آزمایش پاشش نمک، طی مدت ۸ ساعت دچار زنگ‌زدگی شد، این نشان می‌دهد که زمان شروع زنگ‌زدگی در نمونه بدون پوشش بسیار کوتاه است. عدم وجود پوشش مقاوم به خوردگی، سبب نفوذ عوامل خوردنده شامل اکسیژن و یون‌های کلراید موجود تحت شرایط آزمایش، به سطح نمونه شده و موجب انجام واکنش الکتروشیمیایی در نمونه شده است از آنجا که سطح قطعه چدن، دارای خواص حفاظتی کمتری است، سرعت واکنش‌های آندی و کاتدی در حفره‌ها و ترک‌ها بیشتر است و با قرارگیری آن در محیط حاوی یون‌های کلراید، با جذب و نفوذ و تجمع یون‌های مخرب بر روی نواقص لایه‌ی سطحی، سرعت خوردگی بسیار تسریع می‌شود، تا جایی که نتایج انجام واکنش به صورت زنگ‌زدگی در سطح نمایان می‌شود [۱۲].

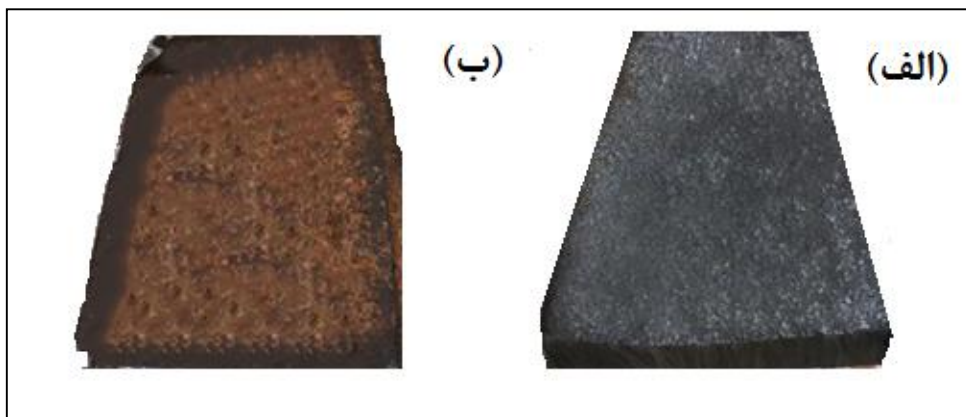
شکل (الف-۹) و (ب-۹)، تصاویری از سطح نمونه چدن یکبار پوشش داده شده را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که نمونه یکبار پوشش داده شده در ۶۰ ساعت نگهداری تحت آزمایش پاشش نمک، دچار زنگ‌زدگی شد. همان‌طور که از تصاویر مشخص است، وجود یک لایه حفاظت خوردگی سبب کاهش سرعت نفوذ عوامل خوردگی در نمونه شده و میزان خوردگی در سطح نمونه در مقایسه با نمونه قبل کاهش یافته است. این میزان مقاومت در برابر هجوم عوامل خوردگی، به دلیل وجود ذرات پودر آلومینیم موجود در ترکیب پوشش است که باعث مقاومت در برابر خوردگی در ترکیب پوشش خواهد شد [۸].



شکل ۶- اثر دفعات پاشش روی سختی سطحی پوشش



شکل ۷- میکروساختار پوشش در شرایط یک بار اعمال پوشش

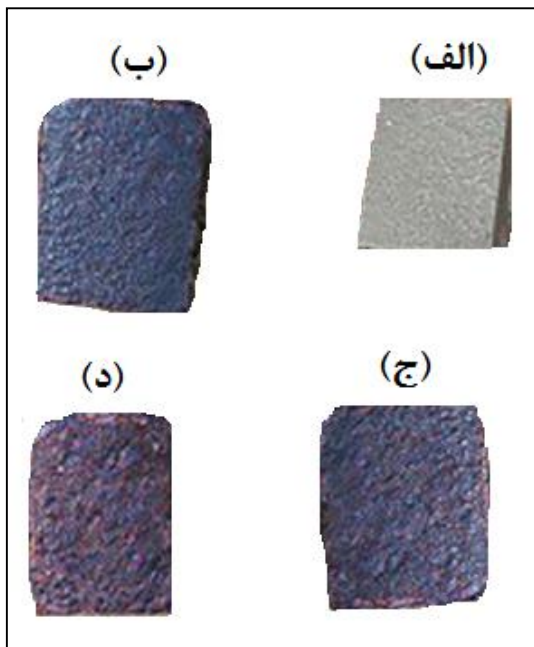


شکل ۸- نمونه چدن بدون پوشش: (الف) پیش از آزمایش (ب) پس از آزمایش، ۸ ساعت نگهداری

شکل (۱۱-ب) در لبه‌ها و در سطح دچار زنگ‌زدگی محدود شد که در مقایسه با شکل (۱۰-ب) این موضوع به خوبی قابل مشاهده است، این موضوع به دلیل افزایش ضخامت لایه محافظ و مقاومت بیشتر آن در برابر هجوم عوامل خورنده است. در ۱۲۰ ساعت شکل (۱۱-پ) اثرات خوردگی به صورت زنگ‌زدگی در لبه‌ها و در سطح شدت بیشتری داشت اما در مقایسه با شکل (۱۰-پ) از شدت و پیشرفت کمتری برخوردار بود، در ۱۸۰ ساعت پیشرفت و نفوذ عوامل خوردگی در لبه‌ها و سطح بیشتر شد و شدت زنگ‌زدگی افزایش یافت، که در این حالت بازهم در مقایسه با شکل (۱۰-ت) اثرات خوردگی به مراتب کمتر است.

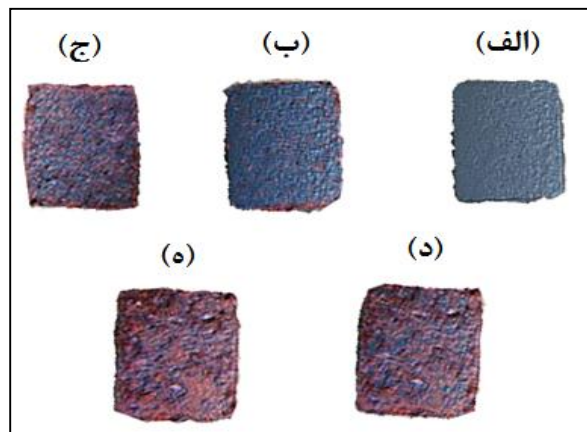


شکل ۹- نمونه یک‌بار پوشش داده شده: (الف) پیش از آزمایش، (ب) پس از آزمایش ۶۰ ساعت نگهداری



شکل ۱۱- نمونه سه بار پوشش داده شده برای (الف) پیش از آزمایش، (ب) پس از آزمایش ۶۰ ساعت نگهداری، (ج) پس از آزمایش ۱۲۰ نگهداری، (د) پس از آزمایش ۱۸۰ نگهداری

در این نمونه به دلیل افزایش دفعات پوشش‌دهی و ایجاد لایه ضخیم حفاظتی که قبلاً بررسی شد، به‌عزت پایداری بهتر پوشش،



شکل ۱۰- نمونه دوبار پوشش داده شده برای (الف) پیش از آزمایش، (ب) پس از آزمایش ۶۰ ساعت نگهداری (ج) پس از آزمایش ۱۲۰ نگهداری، (د) پس از آزمایش ۱۸۰ نگهداری، (ه) پس از آزمایش ۲۴۰ ساعت نگهداری

شکل (۱۰) سطح مربوط به نمونه چدن دو بار پوشش داده شده را نشان می‌دهد، تصاویر نشان می‌دهند که در نمونه دو بار پوشش داده شده، پس از ۶۰ ساعت نگهداری، زنگ‌زدگی ظاهری در لبه‌ها و برخی از نقاط سطح نمونه نمایان شد.

شکل (۱۱) سطح نمونه چدن سه بار پوشش داده شده را نشان می‌دهد. بررسی تصاویر نشان می‌دهد که نمونه در ۶۰ ساعت

- [10] Marchebois H., Keddou M., Savall C., Bernard J., Touzain S., Zinc-rich powder coatings characterization in artificial sea water: EIS analysis of the galvanic action, *Electrochim Acta*, 2004, 49, 1719-1729.
- [11] Marchebois H., Touzain S., Joiret S., Bernard J., Savall C., Zinc-rich powder coatings corrosion in sea water: Influence of conductive pigments, *Progress in Organic Coatings*, 2002, 45, 415-421.
- [12] Cao Z.M., Li G.X., Peng Y.L., Hu D.W., Anti-corrosion performance of four zinc-rich coatings, *Advanced Materials Research*, 2012, 598, 561-564.
- [13] Cai X.F., et al., Production process and technology development of hot-dip galvanizing, *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 488-489, 61-65.
- [14] Azimi A., et al., The influence of major defects on the properties of continuous galvanized steel sheet, *Advanced Materials Research*, 2012, 445, 661-666.
- [15] Amuda M.O. H., et al., Study of optimum conditions for zinc plating on mild steel, *International Journal of Engineering Research in Africa*, 2010, 2, 31-39.
- [16] Guan H.W., Liu S.C., Yanagida Y., Hatsuzawa T., Nanowire fabrication by DNA metallization and positioning, *Key Engineering Materials*, 2012, 523-524, 604-609.
- [17] Ding J.C., et al., Appearance of mechanical zinc coatings and superficial pore sealing treatment, *Key Engineering Materials*, 2008, 373-374, 750-753.
- [18] Zhu P., et al., Electroplating of Zn coating on AZ31 magnesium alloy in  $ZnF_2$  solution, *Advanced Materials Research*, 2011, 146-147, 1390-1397.
- [19] Reynolds L.M., Evaluation of new surface coatings for springs, *Springs*, 1985, 24, 123-136
- [20] Atkins V.P.W., Beran J.A., Chemistry - Everything, VCH Publishing Company, Weinheim, 1996, 993S (in German).
- [21] Koe. S.W., Goe. D.T, System Eisen-Aluminum-Zinc, *Z Metallkunde*, 1970, 61 642-650 (in German).
- [22] Sharma A., Sakimoto N., Takanohashi T., Effect of Binder Amount on the Development of Coal-Binder Interface and its Relationship with the Strength of the Carbonized Coal-Binder Composite, *Carbon Resources Conversion*, 2018, 1(2), 139-146.

مسیر نفوذ اکسیژن و یون‌های کلراید موجود در محلول نمک که عامل اصلی انجام واکنش خوردگی است، تا حد بسیار زیادی مسدود شد و مسیر نفوذی که عامل واکنش خوردگی باید طی کند، طولانی شد، به همین دلیل این نمونه در مقایسه با نمونه قبلی در زمان طولانی‌تری دچار زنگ‌زدگی شد. به‌طور کلی مقایسه نمونه‌های پوشش داده شده و بدون اعمال پوشش نشان داد که پوشش به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای مانع از خوردگی فلز در محلول نمک شده است. افزون بر این، نمونه‌هایی که دفعات پوشش‌دهی آن‌ها بیش از یک‌بار است نسبت به نمونه یک‌بار پوشش داده شده کمتر دچار خوردگی شده‌اند، به‌طوری‌که نمونه سه بار پوشش داده شده کمترین مقدار خوردگی و نمونه یک‌بار پوشش داده شده دچار بیشترین مقدار خوردگی شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

- ۱- بهترین نتایج چسبندگی پوشش به زیرلایه مربوط به ترکیبی با ۴۰ درصد وزنی چسب و ۳۰ درصد وزنی حلال و ۳۰ درصد وزنی پودر آلیاژ روی-آلومینیم بود.
- ۲- ترکیباتی با کمتر از ۴۰ درصد وزنی چسب، کیفیت چسبندگی پوشش به سطح مناسب نبود. مقادیر بیشتر از ۴۰ درصد وزنی چسب، تخریب سطحی شدید دیده شد.
- ۳- افزایش تعداد دفعات پوشش‌دهی موجب افزایش سختی و مقاومت به خوردگی شد.

#### مراجع

- [1] Pearce C.D., Corrosion Protection of under bonnet and under body automotive components, *Brit Corrosion Journal*, 1992, 27(2) 97-101.
- [۲] ثقفیان لاریجانی ح، نوایی س، شریفی ع، مقایسه رفتار سایشی چدن نشکن در دو حالت آستمپر شده و سریع سرد شده و برگشت داده شده، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، ۱۳۹۸، ۲(۳) ۱۴۱-۱۵۰.
- [3] Simon H., Alternatives to cadmium plating, *Industrial and Production Engineering*, 1985, 39, 1.
- [4] Ding J. C., Zhao Z. D., Lu J., Sun Q. Y., Appearance of Mechanical Zinc Coatings and Superficial Pore Sealing Treatment, *Key Engineering Materials*, 2008, 373-374, 750
- [5] Krause-Heringer H., Dacromet a new corrosion protection for fasteners, *Product Finishing*, 1977.
- [6] Kennedy A.W., A new zinc flake/ chromium coating for corrosion protection, *Technical Paper*, Society of Manufacturing Engineers USA, 1978.
- [7] White P.E., Improved surface protection treatments for small components, *Fastening*, July 1983.
- [8] Kania H., The impact of Al addition to a Zn-Al bath upon growth kinetics and structure of coatings, *Solid State Phenomena*, 2016, 246, 131-134.
- [9] Lonca M.L., Dacrotizing-an Effective Protection Against Corrosion, *Journal of Finishing*, 1990, 14(9) 35-38.





IRANIAN FOUNDRYMEN'S  
SOCIETY

## Founding Research Journal

### Research Paper

### Formation of Zinc-Aluminum Flake Coating on Cast Iron Disc and Consideration of Corrosion Behavior

Reza Andarzgoo<sup>1</sup>, Mohammad Bagher Limooei<sup>2\*</sup>, Peiman Omranian Mohammadi<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Materials Engineering, Amol Branch, Islamic Azad University Ayatollah Amoli, Amol, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Amol Branch, Islamic Azad University Ayatollah Amoli, Amol, Iran

3. PhD, Department of Materials Engineering, Applied Science and Technology-FZA Center.

**Corresponding Author:** Amol-Babol old road, Amol, Iran. Tel: +98 11 44296360, E-mail: m.b.limooei@iauamol.ac.ir

Received 21 December 2019  
Accepted 15 February 2020

#### Abstract:

Developing of corrosion resistant coatings for corrosive atmospheres increased during their resistance against diffusion of destructive factors. In this paper, non-electrolytic process was used for formation of aluminium-zinc flake coating on cast iron. The surfaces of samples were coated with different weight percentage of glue, solvent and alloying powder. The samples were evaluated by adhesion test and scanning electron microscopy (SEM). Results represented that 40 wt.% of glue was the optimum condition and formed a proper adhesion between coat and substrate. The cast iron samples were sprayed during one, two and three times under optimum condition. Then samples were tested in salt spray bath at 35°C and 60 to 240 hours. The results showed three times spraying was best condition in corrosion test.

#### Keywords:

Coating by spraying,  
Grey cast iron,  
Aluminum-Zinc flake,  
Corrosion.

#### [Please cite this article using:](#)

Reza Andarzgoo, Mohammad Bagher Limooei, Peiman Omranian Mohammadi, Formation of Zinc-Aluminum Flake Coating on Cast Iron Disc and Consideration of Corrosion Behavior, in Persian, Founding Research Journal, 2020, 4(1) 21-29.  
DOI: 10.22034/FRJ.2020.212744.1113

Journal homepage: [www.foundingjournal.ir](http://www.foundingjournal.ir)