Archive of SID

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح
پژوهشگاه مواد و انرژی
۲۹ و ۳۰ مهرماه ۱۳۹۳

انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران

ارزیابی تاثیر آماده سازی سطح بر رفتار خوردگی پوشش فلز روی پاشش قوسی شده بر چدن داکتیل

سالار فتوره بنابی[۱]، سید مهران نحوی[۲]، فخرالدین اشرفی‌زاده[۳]

[۱].دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
[۲]. استادیار و عضو هیات علمی پژوهشکده فولاد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
[۳]. استاد و عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان .

چکیده

یکی از کاربردهای مهم پاشش حرارتی پوشش‌دادن لوله‌های چدنی انتقال آب با فلز روی است که جایگزین روش‌های دیگر حفاظت لوله‌ها شده است. در این پژوهش تاثیر روش آماده سازی سطح لوله‌های چدنی قبل از اعمال پوشش فداشونده فلز روی با فرایند پاشش قوس الکتریکی ارزیابی شده است. بدین منظور پوشش‌هایی از جنس فلز روی خالص (Zn) با استفاده از روش پاشش قوسی بر نمونه‌های تهیه شده از این لوله‌ها اعمال شد. لوله‌های مذکور به روش ریخته‌گری گریز از مرکز از جنس چدن نشکن تولید شده و به منظور اصلاح ریزساختار، تحت عملیات حرارتی همگن‌سازی قرار می‌گیرند. پوشش Zn روی دو گروه نمونه، با آماده سازی سطحی و بدون آماده سازی سطحی، اعمال گردید. به منظور ارزیابی اثر پوشش Zn بر مقاومت به خوردگی زیرلایه چدنی، نمونه‌ها تحت سه شرایط بدون پوشش، با پوشش خراش‌دار و پوشش بدون خراش تحت آزمون پاشش نمک به مدت ۳۰۰ ساعت قرار گرفتند. برای ارزیابی ریزساختاری پوشش از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به سیستم آنالیز طیف سنج انرژی استفاده گردید. یافته‌های آزمایشگاهی نشان داد وجود پوشش پاشش قوسی Zn بر چدن بطورکلی باعث بهبود مقاومت به خوردگی آن شده است. همچنین نتایج بیانگر این موضوع بودند که نمونه‌های خراش دار آماده سازی سطحی شده، نسبت به نمونه‌های خراش دار بدون آماده سازی سطحی، مقاومت به خوردگی بسیار بهتری از خود نشان دادند که این امر نشان می‌دهد پوشش Zn به خوبی اثر فداشوندگی خود را ایفا کرده است. در نمونه‌های بدون خراش، پوشش اعمال شده بر زیرلایه بدون آماده سازی سطحی عملکرد بهتری از خود نشان داد. جمع‌بندی نتایج نشان داد که پوسته اکسیدی بر سطح چدن در حین عملیات حرارتی همگن‌سازی، نقش یک لایه حائل را ایفا می‌کند که باعث بهبود مقاومت به خوردگی چدن در شرایط بدون خراش شده است، اما وجود همین لایه عایق اکسیدی مانع از ایفای نقش فداشوندگی پوشش Zn می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پاشش حرارتی، خوردگی چدن، فلز روی، پوسته اکسیدی.

[۱]. s.fatoureh@ma.iut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پوشش‌دهی لوله‌های بزرگ فولادی و چدنی، جهت محافظت آن‌ها از چند دهه قبل با فرایند گالوانیزه انجام می گرفته که از جنبه‌های فنی و اقتصادی شناخته شده است. اما به‌تدریج، فرایند جدیدتری از خانواده‌ی پاشش حرارتی که از نظر عملیاتی انعطاف‌پذیری بیشتری دارد، رشد نموده و کاربرد گسترده‌ای یافته است. فلزپاشی روی (zinc) با فرایند پاشش قوسی، که یکی از روش‌های پاشش حرارتی است، برای قطعات بزرگ از جمله لوله‌های چدنی اکنون به‌عنوان روشی سریع و مطمئن، بکار گرفته می‌شود. هدف اصلی از اعمال این پوشش‌ها، محافظت در برابر خوردگی است که اغلب در محیط خاک و اتمسفر عادی صورت می‌پذیرد[۱ و ۲].

پوشش‌های فلزی روی با نقش فداشوندگی که درحین خوردگی ایفا می‌کنند از خوردگی زیرلایه جلوگیری می‌کنند. با توجه به این‌که روش پاشش حرارتی در حال تبدیل به روشی پرکاربرد برای اعمال پوشش‌های محافظ در برابر خوردگی در صنعت است، بررسی خوردگی پوشش‌های فلز روی، امری مهم به‌نظر می‌رسد [۳ و ۴]. یکی از پارامترهای مهم در فرایند پاشش حرارتی آماده سازی سطحی زیرلایه است. وجود آماده سازی سطحی مناسب باعث پیوند بهتر بین زیرلایه و پوشش می‌شود که همین امر کیفیت این پوشش‌ها را بهبود می‌بخشد. عوامل دیگری نظیر ریزساختار و ترکیب شیمیایی نیز بر عملکرد خوردگی بسیار تاثیرگذار است [۵-۶].

خوردگی لوله‌های چدن داکتیل، پروسه‌ای چند جانبه بوده که در اصل مربوط به واکنش الکتروشیمیایی در سطح فلز است. این واکنش خود به عواملی نظیر نحوه‌ی تشکیل پوشش، هندسه و آنالیز شیمیایی پوشش اعمال شده و نوع اکسید و مکانیزم تشکیل آن وابسته است. با توجه به ارزشمند بودن این قطعات، حفاظت آنها جهت حفظ کارایی و عمر سرویس‌دهی بیشتر، امری اجتناب ناپذیر است. قطعات ساخته شده از جنس این نوع چدنها، اغلب در شرایط خاص آب‌وهوایی و خوردگی کاربرد دارند. محیط عمده کاربری این چدنها، اکثرا خاک یا اتمسفر هوا بوده، لذا برای تحلیل روند خوردگی این چدنها، باید از محیط‌های شبیه‌سازی شده خاک یا هوا با توجه به استانداردهای مربوطه استفاده نمود. در بررسی دقیق‌تر، محیطی که در آن رطوبت و فلز با هم واکنش می‌دهند تحت کنترل دینامیک حرکتی رطوبت، اکسیژن و انتقال این عوامل روی سطح فلز است. اگر در سطح فلز لایه‌ای موجود باشد که سبب کاهش یا توقف روند خوردگی شود، قطعات ساخته شده از جنس این چدنها، می‌توانند به کارایی صحیح خود، ادامه دهند. برای جلوگیری از خوردگی این چدنها، اکثرا از پوشش فلز روی بر آنها استفاده می‌شود. این لایه با جلوگیری از تماس چدن با عوامل مخرب خورنده و برقراری مدار الکتریکی مناسب جهت ایجاد خاصیت فدا شوندگی، به طور چشمگیری می‌تواند روند خوردگی در زیرلایه چدنی را کاهش دهد و سبب افزایش طول عمر سرویس‌دهی و کارایی بهتر قطعات از این جنس شود.[۷-۹].

اگر این پوشش، به درستی اعمال نشود یا توانایی برقراری تماس مناسب با زیرلایه چدنی را نداشته باشد، نمی-تواند از زیرلایه خود حفاظت نموده و سبب کاهش طول عمر پیش‌بینی شده قطعات از این جنش می‌شود.به همین منظور، برای ارزیابی اعمال شدن صحیح این پوشش و کارایی آن در شرایط واقعی کاربری، باید نمونه-

www.SID.ir

Archive of SID

های تهیه شده در شرایط مختلف آماده‌سازی را در محیط‌های شبیه‌سازی شده، مورد بررسی قرارداد تا عملکرد هریک از آنها، در شرایط یکسان، مشخص گردد.

مواد و روش تحقیق

نمونه‌های مورد نظر از لوله‌های چدنی از خط تولید کارخانه تولید لوله چدن داکتیل انتخاب شده‌اند. لوله سازی به روش ریخته‌گری گریز از مرکز انجام می‌شود و پس از آن لوله‌ها تحت عملیات حرارتی همگن‌سازی، در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۵ دقیقه، قرار می‌گیرند. نمونه‌ها در دو حالت بدون آماده سازی سطحی و با آماده سازی سطحی تحت فرایند صنعتی پاشش حرارتی قوسی قرار گرفتند و با روی خالص (Zn) پوشش‌دهی شدند. برای مطالعه رفتار خوردگی پوشش، دو نوع زیرلایه در نظر گرفته‌شد؛ نوع اول چدن داکتیل پس از انجام عملیات حرارتی است که روی آن پوسته اکسیدی ضخیمی وجود داشت و نوع دوم زیرلایه مورد بررسی، سطح چدنی است که پس از عملیات حرارتی توسط ماسه‌پاشی اکسیدزدایی شده و سطح فلزی عاری از اکسید برای پوشش آماده شده بود. در جدول ۱ پارامترهای پوشش‌دهی آورده شده است.

نمونه‌های عملیات حرارتی شده و پوشش‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل SEM Philips XL۳۰ مجهز به سیستم آنالیز طیف‌سنج انرژی (EDS) متالوگرافی شدند. با استفاده از تصاویر میکروسکوپی، توسط نرم‌افزار TsView، ضخامت پوشش نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

برای بررسی مقاومت به خوردگی پوشش‌ها از آزمون پاشش نمک استفاده شد. محلول پاشش شامل ۵ قسمت کلرور سدیم (نمک) و ۹۵ قسمت آب مطابق با استاندارد D۱۱۹۳ (تقطیر شده و سختی‌گیری شده) بود. نمک مورد استفاده از کلرور سدیم با مقدار ناخالصی کمتر از ۰/۳ ٪ تهیه شد تا ترکیب شیمیایی دقیقی داشته باشد. pH محلول نمک در دمای ۳۵°C که اتمیزه محلول صورت گرفت بین ۶/۵ تا ۷/۲ کنترل شد. قبل از پاشش محلول، ذرات جامد معلق از آن حذف شد. برای آزمون مه نمک، نمونه‌هایی با ابعاد ۱۰x۱۰cm روی دو گروه زیرلایه‌ها (بدون آماده سازی سطحی و با آماده سازی سطحی) که در دو حالت بدون خراش و دارای خراش سطحی آماده سازی شده بودند طبق استاندارد B۱۱۷-۰۳ تحت پاشش قرار گرفتند. سطوحی از نمونه‌ها که دارای پوشش نبودند برای جلوگیری از قرار گرفتن در معرض محلول خورنده با چسب اپوکسی پوشانده شدند.

نتایج و بحث

در شکل ۱ تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های لوله چدنی در دو حالت همگن‌سازی شده و بدون عملیات حرارتی نشان داده شده است. عملیات حرارتی اصلاح ساختار در لوله‌های ریختگی چدنی به منظور تبدیل ساختار پرلیتی به ساختار فریتی-پرلیتی انجام می‌شود تا لوله‌ها دارای انعطاف پذیری بهتری باشند. همانطور که مشاهده می‌شود. نمونه همگن شده برخلاف نمونه عملیات حرارتی نشده دارای ساختار فریتی-پرلیتی با کره‌های

www.SID.ir

Archive of SID

گرافیت منظم است. همانطور که مشخص است بر سطح نمونه عملیات حرارتی شده لایه‌ای ضخیم از اکسید تشکیل شده است که نتیجه فرایند اکسیداسیون سطحی در حین عملیات همگن‌سازی است.

شکل ۲ تصویر سطح مقطع نمونه‌های پوشش داده شده را در دو حالت آماده سازی سطحی شده و بدون آماده سازی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در نمونه آماده سازی سطحی شده که لایه اکسیدی قبل از عملیات پوشش‌دهی توسط فرایند ماسه پاشی حذف شده است، پوشش روی دارای ضخامتی یکنواخت‌تر است. بر اساس اندازه‌گیری‌ها، ضخامت پوشش در نمونه‌های ماسه پاشی شده بیشتر است. اطلاعات مربوط به ضخامت‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آمده است. وجود لایه اکسیدی در حین پاشش باعث کاهش جذب پوشش به زیرلایه شده و اثر نامطلوبی بر رفتار خوردگی پوشش دارد اگرچه در هر دو حالت پوشش ایجادشده بر سطح، فلز روی خالص است. آنالیزهای انجام شده توسط پراش اشعه ایکس (XRD) نیز، طبق شکل ۳، صحت این موضوع را تایید می‌نماید.

برای بررسی مقاومت به خوردگی، دو گروه نمونه‌های تهیه شده به همراه یک نمونه بدون پوشش در محفظه آزمون پاشش نمک به مدت ۳۰۰ ساعت قرار گرفتند. مشاهده نمونه‌ها ابتدا هر ۲ ساعت (تا ساعت ۲۴ ام آزمایش) انجام گرفت. سپس نمونه ها هر ۶ ساعت مورد مشاهده قرار گرفتند (تا ساعت۴۲ ام) و نهایتا تا انتهای آزمون هر ۱۲ ساعت مورد بررسی واقع شدند. از ساعت ۲۴ ام بر هر نمونه دو خراش یکی با عمق زیاد و طول کم و دیگری با عمق کم و طول زیاد ایجاد شد تا بتوان علاوه بر عملکرد پوشش، عملکرد حفاظتی آن در مواجه با خراش نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

به طور کلی مراحل خوردگی روی به دو دسته کلی تقسیم می‌شود؛ تشکیل زنگ سفید (محصولات خوردگی Zn) و زنگ قرمز (محصولات خوردگی Fe). مبنای پذیرش یا رد شدن قطعه و پایان این آزمایش، تشکیل ۵ ٪ مساحت سطح پوشش از زنگ قرمز است. در این هنگام آزمون متوقف شده و مدت زمانی که برای رسیدن به این مقدار زنگ قرمز لازم بوده، ثبت می‌شود. نمونه‌ای از تصاویر به دست آمده از این نمونه‌ها در شکل ۴ آورده شده است.

شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب مقدار تشکیل زنگ سفید بر نمونه‌های بدون شیار و شیاردار را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که روند تشکیل زنگ سفید در نمونه‌های ماسه‌پاشی شده سریع‌تر از نمونه‌های ماسه‌پاشی نشده است، اما مقدار تشکیل محصولات خوردگی آهن در نمونه‌های ماسه‌پاشی نشده بسیار بیشتر است. در ساعات اولیه انجام آزمایش، روند خوردگی در هر دو نمونه تقریبا یکسان بود، اما به مرور زمان در ساعت ۱۰۰ آزمون، مقدار زنگ سفید در نمونه ماسه پاشی شده ۱۵٪ بیشتر از نمونه ماسه‌پاشی نشده است اگرچه مقدار محصولات خوردگی در نمونه ماسه‌پاشی شده ۳۰٪ کمتر از نمونه ماسه‌پاشی نشده است. این تفاوت‌ها در ساعات بعدی انجام آزمایش افزایش یافت. به عنوان مثال در ساعت ۲۰۰ام آزمون، مقدار زنگ سفید در نمونه ماسه‌پاشی شده، ۲۵٪ بیشتر از نمونه ماسه پاشی نشده است. اما مقدار تشکیل محصولات خوردگی در نمونه ماسه پاشی شده ۳۰٪ کمتر از نمونه ماسه‌پاشی نشده است. به طور کلی و با توجه به مبنای انجام آزمون، که همان مشاهده ۵٪ زنگ قرمز است، نمونه

www.SID.ir

Archive of SID

های ماسه‌پاشی شده تا ساعت ۲۸۵ ام دارای این مقدار زنگ قرمز شدند، در حالی‌که در نمونه‌های ماسه پاشی نشده در ساعت ۳۰۰ ام این مقدار زنگ قرمز بر سطح نمونه‌ها مشاهده گردید. در همین زمان از شروع آزمون، مقدار محصولات خوردگی در شیارهای نمونه‌های ماسه‌پاشی شده ۲۰٪ کمتر از نمونه‌های ماسه پاشی نشده اندازه‌گیری شد.

یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که در نمونه‌های بدون شیار، نمونه‌های آماده سازی سطحی نشده مقاومت به خوردگی بهتری نسبت به نمونه‌های ماسه پاشی شده داشته‌اند. از طرف دیگر در نمونه‌هایی که دارای شیار هستند، نمونه‌های ماسه‌پاشی شده مقاومت به خوردگی بهتری از خود نشان دادند. بررسی این شرایط دلالت بر این دارد که وجود لایه عایق اکسیدی در زیر پوشش مانع از ارتباط الکترولیتی بین پوشش و زیرلایه می‌شود. این لایه در هنگامی که پوشش بدون خراش است خود مانند یک لایه مقاوم به خوردگی عمل می‌کند و این امر باعث بهبود مقاومت به خوردگی نمونه چدنی شده است. در نمونه‌های شیاردار به دلیل از بین رفتن لایه اکسیدی و پوشش روی، سطح زیرلایه با محیط خورنده در ارتباط است. به دلیل وجود لایه عایق اکسیدی بین پوشش Zn و زیر لایه، در نمونه بدون آماده سازی سطحی، پوشش Zn نمی‌تواند نقش فداشوندگی خود را ایفا کند. اما در نمونه ماسه پاشی شده به دلیل وجود ارتباط الکتروشیمیایی بین پوشش و سطح چدن، پوشش Zn نقش فداشوندگی خود را ایفا کرده و مانع از خوردگی زیرلایه شده است.

فلز روی وقتی به صورت پوشش اعمالمی‌شود، علاوه بر نقش فداشوندگی، نقش حایل بودن را نیز بر عهده دارد. حضور پوشش سبب می‌شود که عوامل خورنده به سطح زیرلایه نفوذ نکنند و باعث تخریب زیرلایه نشوند. این پوشش در تماس خود با زیرلایه، با تبادل الکترونی باعث می‌شود که روند خوردگی در چدن به شدت کاهش یابد و به افزایش طول عمر و عملکرد مناسب قطعه چدنی کمک شایانی می‌نماید. بدلیل حضور لایه اکسیدی، این تماس و برقراری مدار الکتریکی، مختل شده و پوشش نمی‌تواند عملکرد مناسبی در مواجه با خراش از خود بروز دهد. از طرفی حضور لایه اکسیدی ضخیم باعث می‌شود که نقش حایل بودن لایه پوشش تقویت شود، بدین معنی که با وجود اینکه لایه اکسیدی، نقشی منفی در عملکرد فداشوندگی پوشش روی دارد، اما بدلیل چسبنده و ضخیم بودن این لایه، نقش حایلی آن باعث می‌شود که روند تشکیل زنگ قرمز بر سطح نمونه‌ها به تعویق بیافتد. با حضور خراش بر سطح نمونه‌ها، نقش منفی این لایه کاملا نمایان شده و در محل شیار میزان محصولات خوردگی بیشتری مشاهده می‌شود. لذا مقاومت به خوردگی پوشش درنمونه‌های ماسه‌پاشی شده، در مقایسه با نمونه‌های ماسه‌پاشی نشده، بهتر ارزیابی می‌شود.

نتیجه‌گیری

۱) وجود لایه اکسیدی بر سطح زیرلایه قبل از پاشش حرارتی مانع از ایجاد یک پوشش یکنواخت و با ضخامت مناسب بر سطح زیرلایه می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۲) وجود لایه اکسیدی در زیر پوشش فلزی به عنوان حایل عمل کرده و ارتباط الکتروشیمیایی پوشش و زیرلایه را قطع می‌کند. در نتیجه فلز روی نقش فداشوندگی خود را نمی‌تواند ایفا کند.

۳) در نمونه‌های شیاردار، پوشش‌هایی که بر زیرلایه‌های ماسه پاشی شده اعمال شده‌اند مقاومت به خوردگی بهتری از خود نشان داده‌اند.

۴) برای حذف لایه اکسیدی، ماسه پاشی موثر سطح چدن قبل از اعمال پوشش ضرورت دارد تا فلز روی بتواند هم نقش پوششی و حایلی داشته باشد و هم نقش فداشوندگی را ایفا نماید.

تشکر و قدردانی

در این تحقیق از همکاری صمیمانه مدیران و کارشناسان محترم شرکت هامون‌نایزه بهره‌مند بوده‌ایم که از همه آنها تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

[۱] Bach F.W., Laarmann A., Wenz T., Modern Surface Technology, First Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany, ۲۰۰۶.

[۲] Planche. M.P., Liao. H., Coddet. C., "Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure with a twin wire arc spray process and different working conditions", *Surface and Coatings Technology*, Vol.۱۸۲, ۲۰۰۴, pp.۲۱۵-۲۲۶.

[۳] Chivers. A.R.L., Portere. C., Corrosion, Third Edition, Butterworth-Heinemann, Germany, ۱۹۹٤.

[٤] Goodwin F. E., Corrosion of Zinc and its Alloys, International Lead Zinc Research Organization, Durham, NC, USA, ۲۰۱۰.

[۵] Jandin G., Liao H., Feng Z.Q., Coddet C., "Correlations between operating conditions, microstructure and mechanical properties of twin wire arc sprayed steel coatings", *Materials Science and Engineering*, Vol.۳۴۹, ۲۰۰۳, pp. ۲۹۸-۳۰.

[۶] Fang J.C., Xu W.J., Zhao Z.Y., "Arc spray forming", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.۱۶۴–۱۶۵, ۲۰۰۵, pp. ۱۰۳۲–۱۰۳۷.

[۷] Tomas. L., Bejinariu C., Baci U., Radu S., "The effect of frontal nozzle geometry and gas pressure on the steel coating properties obtained by wire arc spraying", *Surface & Coatings Technology*, Vol.۲۲۰, ۲۰۱۳, pp. ۲۶۶–۲۷۰.

[۸] Schmidt D.P., Shaw B.A., Sikora E., Shaw W.W., Laliberte L.H., "Corrosion protection assessment of sacrificial coating systems as a function of exposure time in a marine environment", *Progress in Organic Coatings*, Vol.۵۷, ۲۰۰۶, pp.۳۵۲–۳۶۴.

[۹] Parkansky N., Boxman R.L., Goldsmith S., Rosenberg Y., "Corrosion resistance of Zn coatings produced by air arc deposition", *Surface and Coatings Technology*, Vol.۷۶-۷۷, ۱۹۹۵, pp.۳۵۲-۳۵۷.

www.SID.ir

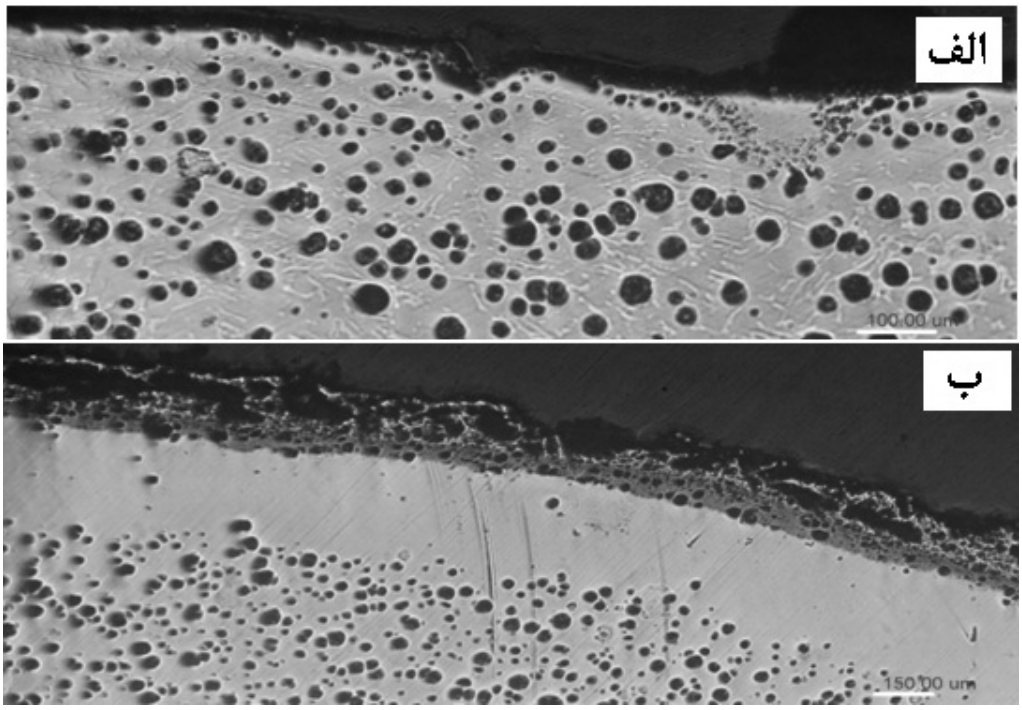
Archive of SID

جدول ۱: پارامترهای پوشش‌دهی نمونه‌ها

گاز دمشی	ولتاژ قوس	شدت جریان قوس	جنس مفتول پاششی
هوای فشرده با شدت **bar**. ۴/۷ دمای **C** ۳۵-۴۰	۴۰۰ ولت	۱۲۰-۱۵۰ آمپر	۹۹/۹٪ روی

جدول ۲: مقادیر ضخامت پوشش‌ها در حالت ماسه‌پاشی شده و نشده

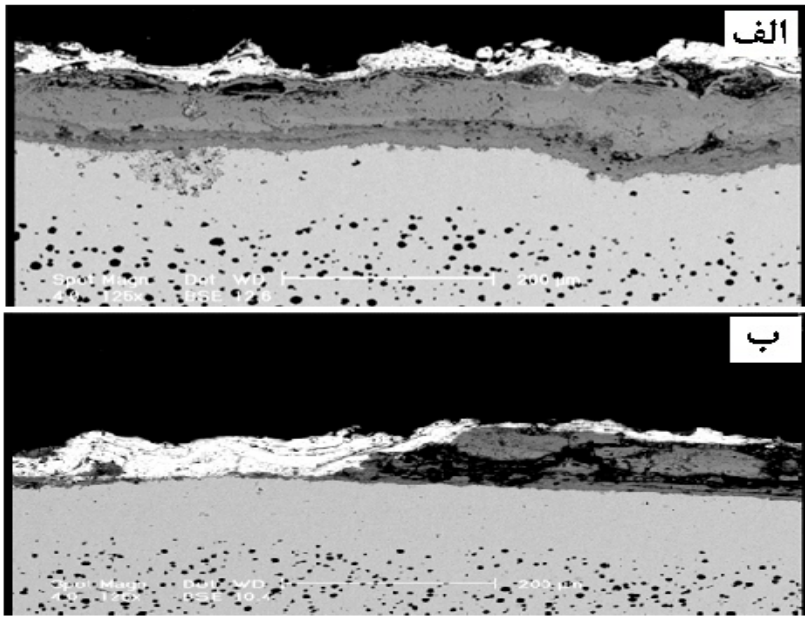
نوع آماده‌سازی سطحی نمونه	ضخامت پوشش(میکرون)
نمونه ماسه پاشی‌شده	**۷۰**
نمونه ماسه پاشی‌نشده	**۵۰**



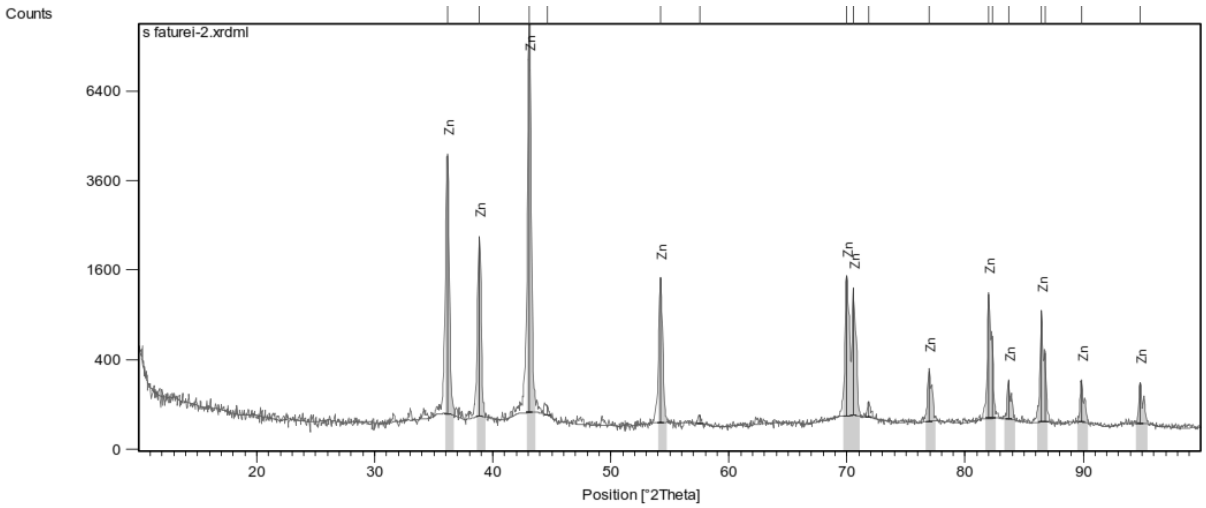
شکل ۱: پوسته اکسیدی روی چدن؛ (الف) نمونه قبل از عملیات حرارتی، (ب) نمونه بعد از عملیات همگن سازی.

www.SID.ir

Archive of SID



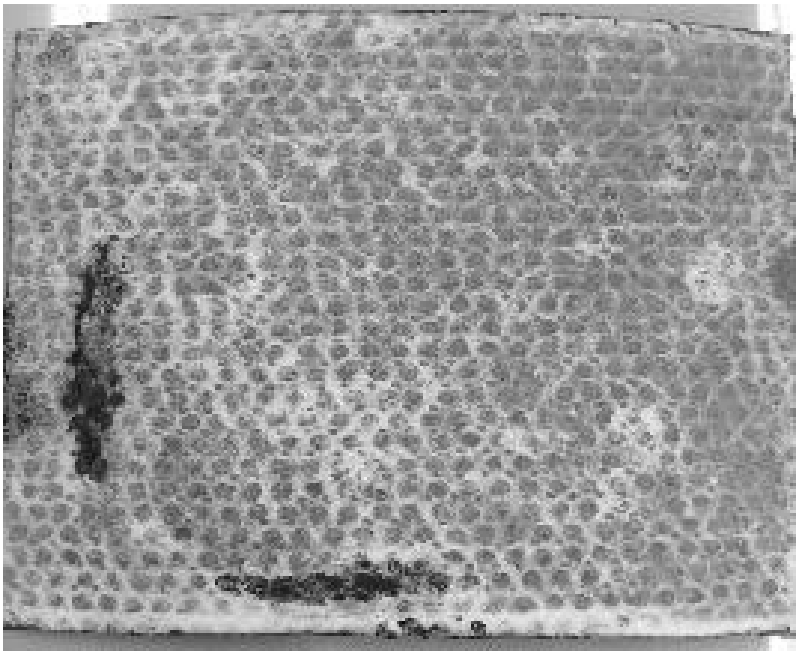
شکل ۲: پوشش روی خالص بر سطح چدن؛ (الف) نمونه بدون ماسه پاشی، (ب) نمونه ماسه پاشی شده.



شکل۳: الگوی پراش پرتو ایکس نمونه پوشش روی.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴: شوره سفید و زنگ قرمز بر سطح نمونه نمک پاشی شده.

شکل ۵: میزان شوره سفید بر سطح نمونه‌های بدون شیار بر حسب زمان در آزمون مه نمک.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۶: میزان شوره سفید بر سطح نمونه‌های شیاردار بر حسب زمان در آزمون مه نمک.

www.SID.ir