



تاثیر روش‌های مختلف فعال‌سازی مکانیکی سطح فولاد ساده کربنی بر ساختار پوشش فسفات‌ه روی و کیفیت چسبندگی رنگ

لیلا فتح یونس^۱، مازیار آزادبه^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۶۶۳۸۳-۵۵۱۸۹

۲- دانشیار، مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۶۶۳۸۳-۵۵۱۸۹

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲۰ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۳/۲۰

چکیده

در تحقیق کنونی به بررسی تاثیر روش‌های مختلف فعال‌سازی مکانیکی سطح فولاد ساده کربنی، بر ویژگی‌های پوشش فسفات‌ه حاصله نظیر ساختار و قدرت بهبود چسبندگی رنگ پرداخته شد. تصاویر SEM نشان داد که فعال‌سازی سطح توسط عملیات ماسه پاشی، به دلیل افزایش مراکز فعال جوانه‌زنی، سبب تشکیل پوشش ریزدانه و متراکم‌تر شامل بلورهای فسفات‌ه با متوسط ابعاد طولی $57.65 \mu m$ شد که در مقایسه با بلورهای تشکیل شده بر روی سطوح فعال‌سازی شده توسط ساچمه پاشی و سنباده‌زنی به ترتیب با متوسط ابعاد طولی $169.72 \mu m$ و $118.14 \mu m$ ، کاهش چشمگیری را داشت. همچنین، بیشترین و چشمگیرترین کاهش در متوسط ابعاد طولی بلورهای فسفات‌ه به حدود $24.99 \mu m$ ، در پوشش اعمالی به روش ابداعی معرفی شده در این تحقیق تحت عنوان فسفات‌ه کاری مجدد مشاهده شد. مقایسه نتایج آنالیز عنصری EDX و SEM از سطح فلز پایه پس از سنباده زنی اولیه و نیز پس از پوشش‌زدایی سطح توسط سنباده‌زنی مجدد نشان داد که ذراتی از بلورهای فسفات‌ه اولیه در طول پوشش‌زدایی در نواحی انحلال یافته سطح فلز پایه و شیارهای حاصل از سنباده‌زنی مجدد به دام افتاده‌اند که این ذرات در طول فسفات‌ه کاری مجدد به عنوان مراکز جوانه‌زنی عمل می‌کنند. نتایج آزمون چسبندگی نیز نشان داد که فسفات‌ه کاری، قدرت اتصال لایه رنگ به سطح فلز پایه را افزایش می‌دهد و هر چه ساختار پوشش اعمالی ریزدانه و یکنواخت‌تر باشد، بهبود بیشتری در کیفیت چسبندگی رنگ حاصل می‌شود. از طرفی نتایج نشان داد که با اعمال لایه عایق فسفات‌ه بر روی سطح و افزایش خواص حفاظتی آن در نتیجه کاهش اندازه بلورهای فسفات‌ه و تراکم بالای پوشش، کیفیت چسبندگی‌تر به دلیل ممانعت بیشتر از خوردگی زیر لایه رنگ، ترفیع یافت.

واژه‌های کلیدی: فعال‌سازی مکانیکی سطح، فسفات‌ه کاری مجدد، ساختار ریزدانه و متراکم، کیفیت چسبندگی رنگ.

Mechanical Activation Effect of Plain Carbon Steel on Morphology and Paint Adhesion Quality of Zinc Phosphate Coating

L. Fathyunes, M. Azadbeh*

Materials and Metallurgical Engineering Department, Sahand University of Technology, P. O. Box: 55189-66383, Tabriz, Iran

Received: 11-12-2012

Accepted: 11-09-2013

Available online: 10-06-2014

Abstract

In this study, the effect of different surface activation methods on characteristics of phosphate coating, such as morphology and paint adhesion quality, was investigated. The SEM micrographs showed that, surface activation by sandblasting, leads to formation of fine-grained and more compact coating including phosphate crystallites with the average length of $57.65 \mu m$ due to increasing the active centers for nucleation. While, the phosphate crystallites size of formed coating on the shot blasted or grinded surface were with the average length of $169.72 \mu m$ and $118.14 \mu m$, respectively. Also, the SEM investigations showed that by using rephosphating as an innovative method, further reduction in the phosphate crystallites size to about $24.99 \mu m$ was obtained. EDX analysis and further SEM investigation confirmed that the formation of such coating could be in consequence of dissolution of base metal during first stage coverage and entrapping the small debris of initial phosphate layer in these regions, which can be act as nucleation sites during rephosphating. However, paint adhesion increases using phosphate coating, significant improving in adhesion was obtained with applying dense phosphate layer. On the other hand, by formation of denser coating with improved protective properties, the quality of wet adhesion of paint increases. *J. Color Sci. Tech.* 8(2014), 13-25 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Mechanical activation, Rephosphating, Fine grain and compact structure, Quality of paint adhesion.

۱- مقدمه

لازم به ذکر است که باقی ماندن محصولات خوردگی و روغن بر سطح فلز پایه قبل از عملیات فسفاتکاری، در کیفیت پوشش حاصله و چسبندگی رنگ تاثیر مستقیم می‌گذارد. وجود هرگونه آلودگی و اکسید سطحی، باعث تشکیل پوششی غیریکنواخت بر روی سطح فلز و عدم چسبندگی خوب رنگ شده، در نتیجه مقاومت به خوردگی کاهش می‌یابد. همچنین لمس کردن سطوح فسفاتکار با دست سبب می‌شود که نمک‌ها و چربی‌های موجود روی دست و بدن انسان، آن را آلوده می‌کنند و مناطق آلوده شده منجر به بروز نقص در لایه رنگ می‌شوند [۹-۶].

از عوامل دیگری که بر چسبندگی رنگ موثر است، زبری^۵ سطح فلز پایه و پوشش است. بدیهی است که هر چه پوشش فسفاتکار ایجاد شده بر روی زیرلایه یکنواخت‌تر و اندازه بلورهای آن ریزتر باشد، میزان زبری سطح کمتر شده و در نتیجه به دلیل کاهش تعداد بلورهای درشت فسفاتکار با لبه‌های تیز، باعث مهیا شدن سطحی مناسب برای اعمال رنگ می‌شود. از طرفی با کاهش اندازه بلورهای فسفاتکار، کمترین صدمه به فیلم رنگ در حین اعمال تغییر شکل‌های مکانیکی وارد می‌شود [۱۰].

بنابراین دسترسی به پوشش ریزدانه و یکنواخت جهت بهبود چسبندگی رنگ و مقاومت به خوردگی مفید است. بنابراین در راستای بهبود کیفیت لایه فسفاتکار، مطالعات بسیاری در مورد تاثیر فاکتورهای مختلفی نظیر دما و زمان عملیات فسفاتکاری، ساختار و ترکیب شیمیایی فلز پایه، ترکیب شیمیایی محلول فسفاتکار، پیش عملیات محلول با میدان‌های مغناطیسی، پرتوافکنی فراصوت و انواع روش‌های مختلف آماده‌سازی سطح بر روی ویژگی‌های پوشش حاصله انجام گرفته است [۱۷-۱۱، ۲].

هدف از تحقیق حاضر بررسی روش‌های مختلف آماده‌سازی سطح نظیر سنباده‌زنی، ماسه پاشی و ساچمه‌پاشی بر روی ساختار پوشش فسفاتکار حاصله به روش مرسوم تک مرحله‌ای و کیفیت چسبندگی رنگ است. تا در ادامه، به معرفی یک روش ابداعی تحت عنوان فسفاتکاری مجدد، در جهت ارائه راه حلی برای افزایش کیفیت پوشش فسفاتکار و بهبود قدرت چسبندگی رنگ پرداخته شده و در نهایت نیز با توجه به نتایج حاصل از کیفیت پوشش حاصله پس از فعال‌سازی سطح توسط روش‌های ماسه‌پاشی و ساچمه‌پاشی، راه‌کاری عملی‌تر در صنعت در راستای اجرای پوشش‌زدایی و انجام فسفاتکاری مجدد انتخاب شود. در این حالت، مراحل اجرایی فسفاتکاری مجدد از < فسفاتکاری، پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی، فسفاتکاری مجدد > به < فسفاتکاری، پوشش‌زدایی توسط ماسه‌پاشی، فسفاتکاری مجدد > تغییر یافت. روش ابداعی معرفی شده در این مقاله، تاکنون در مقالات مرتبط با این نوع پوشش‌ها مشاهده نشده و در این حوزه کمبود اطلاعات وجود دارد.

روش‌های پیشگیری از خوردگی بسیار متنوع هستند. ولی رایج‌ترین روش حفاظت در برابر محیط‌های خوردنده، اصلاح سطح فلز به وسیله تشکیل یک سد فیزیکی بر روی آن است و بسته به نوع روش به کار رفته، درجه حفاظت فرق دارد. روش‌های مورد استفاده برای حفاظت در دو گروه روش‌های مدرن نظیر رسوب فیزیکی بخار (PVD)^۱، رسوب شیمیایی بخار (CVD)^۲، نیتروژن‌دهی، کربن‌دهی، کاشت یونی^۳ و روش‌های مرسوم‌تر شامل اعمال رنگ، آندایز کردن و پوشش‌های تبدیلی طبقه‌بندی می‌شوند.

روش‌های مرسوم در مقایسه با روش‌های مدرن، مقرون به صرفه‌تر هستند. از طرفی در این روش‌ها جهت بهبود عملکرد حفاظت، معمولاً از ترکیب دو روش پوشش‌دهی تبدیلی و اعمال رنگ استفاده می‌شود. بنابراین پوشش‌های تبدیلی نقش مهمی را در صنایع مختلف به خصوص خودروسازی بازی می‌کنند [۱].

در اوایل، پوشش‌های تبدیلی بر پایه یون‌های کرومات بودند. ولی استفاده از محلول‌های شامل کرومات به دلیل سمیت بالا و سرطان‌زا بودن کروم شش ظرفیتی موجود در حمام محدود شد و از این رو مطالعات برای حذف کرومات و جایگزینی پوشش‌های تبدیلی دیگر سازگارتر با محیط زیست توسعه پیدا کرد [۳، ۲]. یک جایگزین مناسب، پوشش‌های فسفاتکار بودند. اولین ثبت اختراع در ارتباط با این پوشش‌ها، برای جلوگیری از زنگ زدن آهن و فولاد در سال ۱۸۶۹ به شخصی به نام راس^۴ از بریتانیا تعلق گرفت. در روش مورد استفاده توسط او، قطعات داغ فولادی برای جلوگیری از زنگ زدن در اسید فسفریک غوطه‌ور می‌شدند و پس از آن پیشرفت‌های زیادی در زمینه فسفاتکاری به وقوع پیوست [۱].

بررسی‌ها نشان داده که عمر مفید قطعات فلزی رنگ شده اساساً به دوام پوشش آلی و چسبندگی آن به سطح فلز پایه بستگی دارد. در این راستا، پوشش‌های فسفاتکار به دلیل داشتن ساختاری متخلخل و زیگزاگی، در مقایسه با پوشش‌های کرومات با ساختار آمورف، چسبندگی رنگ بهتری را ارائه می‌دهند [۲]. لایه غیر آلی تشکیل شده در طول عملیات فسفاتکاری، دارای پیوند قوی به سطح فلز پایه بوده و قدرت جذب بالاتری نسبت به آن دارد. در نتیجه به عنوان یک حامل روان‌ساز و یک پایه چسبنده مناسب برای فیلم‌های پلیمری عمل می‌کند [۵، ۴]. همچنین، خاصیت عایق بودن این پوشش‌ها، سبب افزایش مقاومت قطعه در مقابل رطوبت و بخار آب شده، از خوردگی فلز پایه در فصل مشترک رنگ-فلز و یا پخش زنگ از منطقه خسارت دیده و در نتیجه تاول زدن رنگ جلوگیری می‌کند.

- 1- Physical Vapor Deposition
- 2- Chemical Vapor Deposition
- 3- Ion implantation
- 4- Ross

5- Roughness

۲- بخش تجربی

۱-۲- مواد

۱-۱-۲- زیرلایه

در این مطالعه زیرلایه‌هایی از جنس فولاد ساده کربنی St ۳۷، با ابعاد $50 \times 40 \times 2 \text{ mm}^3$ استفاده شدند. ترکیب شیمیایی این فولاد در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی فولاد St ۳۷.

عنصر	N	S	P	C	Fe
مقدار (wt.%)	۰,۰۰۹	۰,۰۴	۰,۰۴	≤۰,۱۷	پایه

۲-۱-۲- مشخصات مواد شیمیایی

تمام مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق، جهت آماده‌سازی و اعمال پوشش فسفات روی، از شرکت مرک^۱ تهیه شده بودند که در جدول ۲ معرفی شده‌اند.

جدول ۲: مشخصات مواد شیمیایی مورد استفاده.

ماده مورد استفاده	جرم مولی (g/mol)	درصد خلوص	هدف از استفاده
NaOH	۴۰	۹۵	چربی‌زدایی
HF و HCl	۳۶,۴۶	۳۰	اسیدشویی
ZnO	۸۱,۴	۹۹	تامین‌کننده یون روی
NaNO ₃	۸۵	۹۹	تسریع‌کننده
HNO ₃	۶۳	۶۵	تسریع‌کننده
H ₃ PO ₄	۹۸	۸۵	تامین‌کننده یون فسفات

۲-۱-۳- مشخصات رنگ اعمالی

رنگ دومرحله‌ای (آستری: اپوکسی پلی‌آمید؛ رنگ رویه: پلی‌یورتان)

این رنگ که از نوع ترموست بوده و با واکنش‌های شیمیایی سخت می‌شوند، در دو مرحله آستری و رنگ رویه بر روی نمونه‌ها اعمال شد. آستر مورد استفاده از نوع اپوکسی پلی‌آمید بود که پایه حلال و بر پایه رزین‌های اپوکسی شامل بیسفنل A و سخت‌کننده پلی‌امینو آمید

است. رنگ رویه دو جزئی انتخاب شده نیز بر پایه سیستم پلی‌یورتان بود که شامل پلی‌ال‌های اکریلیک هیدروکسی اکریلیک و پلی‌ایزوسیانات‌های آلیفاتیک است.

در این تحقیق، از رنگ پلی‌یورتان و اپوکسی پلی‌آمید ساخت شرکت پارس سیمین با مشخصات فنی زیر استفاده شد:

رنگ پلی‌یورتان دوجزئی و رزین اکریلیک هیدروکسیل‌دار با رنگدانه اصلی دی‌اکسید تیتان روتیل و درصد جامد وزنی ۶۷٪-۶۰ و جامد حجمی ۵۰ و ضخامت فیلم خشک پیشنهادی ۵۰ میکرون و پوشش تئوری $10 \text{ m}^2/l$ ، گرانروی جزء اول ۸۲-۸۰ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، زمان خشک‌شدن سطحی حدود ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، زمان خشک‌شدن عمقی حدود ۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. سخت‌شدن کامل ۷ روز، طبقه اعمال پاشش معمولی، پاشش بدون هوا، برس (قلم مو) و غلطک. شرایط کاربردی در رطوبت نسبی محیط حداکثر ۸۵ درصد و دمای محیطی ۵ الی 30°C ، دمای سطح حداقل ۳ درجه بالاتر از نقطه شبنم.

رزین اپوکسی پلی‌آمید دو جزئی و نوع رزین اپوکسی-پلی‌آمید و رنگدانه اصلی دی‌اکسید تیتان روتیل-زینک فسفات، وزن مخصوص مخلوط دو جزء: $1,2 \text{ m}^2/l$ در دمای 25°C ، گرانروی جزء اول ۸۵-۸۰ ثانیه با فوردکاپ ۴ در دمای 25°C ، گرانروی جزء دوم: ۴۵-۴۰ ثانیه با فوردکاپ ۴ در دمای 25°C ، درصد جامد وزنی ۷۰-۵۶، درصد جامد حجمی ۵۰-۴۸، ضخامت فیلم خشک پیشنهادی ۵۰-۳۰ میکرون، پوشش تئوری $10-9,5 \text{ m}^2/l$ ، ضخامت فیلم خشک ۵۰ میکرون، زمان خشک‌شدن سطحی ۳-۲ ساعت در دمای 25°C ، زمان خشک‌شدن عمقی ۱۸-۱۶ ساعت در دمای 25°C ، طبقه اعمال پاشش معمولی، پاشش بدون هوا، برس (قلم مو) و غلطک آمادگی جهت پذیرش لایه بعدی حداقل ۱۸ ساعت در دمای 25°C و حداکثر ۳ روز، سخت شدن کامل ۷ روز و نوع رقیق‌کننده مصرفی حلال اپوکسی پارس سیمین

۲-۲- روش کار

۲-۲-۱- آماده‌سازی سطح و اعمال پوشش فسفات

جهت دستیابی به کیفیت مطلوب پوشش‌دهی و رنگ‌آمیزی، آماده‌سازی مناسب سطح ضروری است. بدین معنا که باید هر گونه آلودگی روغنی [۱۸]، زنگ‌زدگی و مواد خارجی در سه مرحله آماده‌سازی مکانیکی، چربی‌زدایی و اسیدشویی از روی سطح زدوده شود. در این تحقیق، آماده‌سازی مکانیکی سطح به سه روش مختلف سنباده‌زنی با ورق سنباده شماره ۱۸۰، ماسه‌پاشی^۲ توسط ماسه‌های سیلیس با محدوده اندازه ذرات ۱۰ الی $180 \mu\text{m}$ و ساچمه‌پاشی^۳

2- Sand blast

3- Shot blast

1- Merck

پس از هر مرحله، نمونه‌ها دو مرتبه آب‌کشی شده و در انتها تحت هوای گرم خشک شدند تا سطحی تمیز و عاری از هر گونه آلودگی و ذرات اکسیدی حاصل شود. سپس تعدادی از نمونه‌ها در یک محلول فسفات با ترکیب شیمیایی و شرایط ذکر شده در جدول ۵، غوطه‌ور شدند. اندازه‌گیری عدد اسیدیته کل و آزاد به روش تیتراسیون که در مراجع [۲۱-۲۰، ۹] به آن اشاره شده، انجام گرفت.

در مرحله بعد، لایه فسفات موجود بر روی تعدادی از نمونه‌ها توسط سنباده‌زنی با کاغذ سنباده شماره ۱۸۰ یا ماسه‌پاشی کوتاه مدت به مدت زمان یک دقیقه، حذف شد. نمونه‌های پوشش‌زدایی شده، بعد از چربی‌زدایی تحت شرایط مشابه ذکر شده و در همان حمام فسفات‌کاری مورد استفاده در مرحله اول، پوشش‌دهی شدند (فسفات‌کاری مجدد).

جدول ۵: ترکیب شیمیایی حمام فسفات‌کاری و شرایط اعمال پوشش.

مقدار		نوع ماده مصرفی
(ml/l)	(g/l)	
-	۱۰	ZnO
-	۲	NaNO ₃ (٪۶۵)
۱۵	-	H ₃ PO ₄ (٪۸۵)
۴,۲	-	HNO ₃

دمای °C ۶۵-۶۰ و pH=۲,۴ مدت زمان پوشش‌دهی ۱۵ دقیقه
اسیدیته کل حمام: ۲۱ و اسیدیته آزاد ۸,۴

۲-۲-۲- مطالعه ساختار پوشش و ضخامت رنگ و پوشش اعمالی

مقایسه بین حالت سطحی نمونه‌ها پس از فعال‌سازی توسط روش‌های مختلف مکانیکی و نیز بررسی ساختار پوشش‌های فسفات‌کاری اعمالی بر روی آن‌ها، به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به EDX مدل Cam Scan MV2300 انجام شد.

اندازه‌گیری زبری سطح نمونه‌ها نیز قبل از فسفات‌کاری نهایی، توسط دستگاه زبری‌سنج Talor & Hobson surtronic 25، به روش سوزنکی انجام شد.

در ادامه ضخامت لایه فسفات تشکیل شده بر روی سطح توسط ضخامت‌سنج رنگ و پوشش مدل surfix @pro، ساخت کمپانی Phynix آلمان اندازه‌گیری شد. محدوده اندازه‌گیری ضخامت توسط این دستگاه، ۰-۱۰۰ mm و دقت آن ۰,۱ μm ± است. در این مطالعه، ضخامت در دوازده نقطه متفاوت سطح نمونه اندازه‌گیری شد و میانگین آنها به عنوان ضخامت نهایی گزارش شد.

توسط ساچمه‌های فولادی با سختی ۴۰ الی ۴۵ راکول C و محدوده دانه‌بندی گزارش شده در جدول ۳ به مدت زمان ۱۰ دقیقه انجام گرفت.

جدول ۳: دانه‌بندی ساچمه‌های فولادی برای انجام عملیات ساچمه‌پاشی.

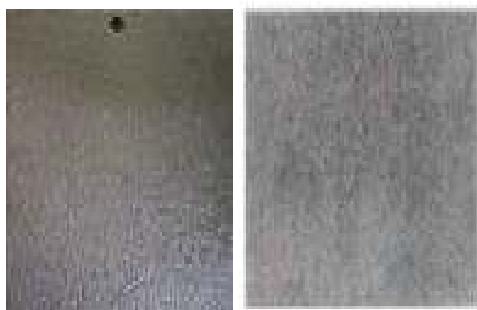
کد	S 330	S 280	S 230	S 170	S 110
ساچمه فولادی					
اندازه (mm)	۰,۸۵-۱,۲	۰,۷۱-۱,۰	۰,۶-۰,۸۵	۰,۴۲-۰,۷۱	۰,۳-۰,۵
کد	S 780	S 550	S 460	S 390	
ساچمه فولادی					
اندازه (mm)	۲,۰-۲,۸	۱,۴-۲,۰	۱,۲-۱,۷	۱,۰-۱,۴	

لازم به ذکر است که سطح نمونه‌ها پس از ماسه‌پاشی، به کمک هوای فشرده و برس سیمی از گرد و غبار و ذرات سیلیس باقی‌مانده تمیز شدند، زیرا بقایای سیلیس و گرد و غبار بر روی سطح، چسبندگی پوشش و رنگ اعمالی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. سپس برای ارزیابی درجه آماده‌سازی سطح، از استاندارد ISO S501-1 استفاده شد که در میان سایر استانداردها برای سطوح فلزی از جامعیت بیشتری برخوردار است. در این استاندارد درجات زنگ‌زدگی به ترتیب افزایش شدت زنگ‌زدگی، با علائم A، B، C و D نام‌گذاری شده‌اند. درجات تمیزکاری پاششی نیز با علائم Sa1 (تمیزکاری سبک)، Sa2 (تمیزکاری متوسط)، Sa2 1/2 (تمیزکاری کامل) و Sa3 (تمیزکاری به رنگ اصلی فولاد) طبقه‌بندی شده‌اند.

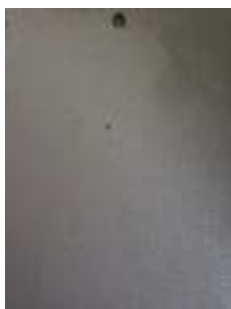
در مرحله بعدی عملیات آماده‌سازی سطح، چربی‌زدایی نمونه‌ها در محلول NaOH ۱۰٪ با دمای °C ۷۰، به مدت زمان ۱۰ دقیقه انجام شد. برای اسیدشویی نمونه‌ها نیز از ترکیب ذکر شده در جدول ۴، جهت پوسته‌زدایی استفاده شد [۱۹].

جدول ۴: ترکیب شیمیایی حمام اسیدشویی و شرایط اسیدشویی.

شرایط کاری	پوسته‌زدایی
درصد حجمی اسید سولفوریک	٪۷
درصد حجمی اسید هیدروفلوریک	٪۳
درصد حجمی آب	٪۹۰
دما (°C)	۲۵
زمان غوطه‌وری (min)	۳



الف ب



ج

شکل ۲: تصویر درجه تمیزکاری ASA2 1/2، الف) نمونه استاندارد،
ب) فلز پایه، ساچمه‌پاشی شده، ج) فلز پایه، ماسه‌پاشی شده.

۲-۲- بررسی ساختار پوشش‌های فسفات‌های عملی بر روی

سطوح با بافت سطحی مختلف

شکل ۳، تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پوشش فسفات‌های عملی بر روی سطوح آماده‌سازی شده به روش‌های مختلف مکانیکی را نشان می‌دهد. در این مطالعه، متوسط ابعاد بلورهای فسفات‌ها برای هر گروه از نمونه‌ها توسط نرم‌افزار Clemex، با میانگین‌گیری اندازه طولی حداقل ده عدد بلور در سه بزرگنمایی مختلف از تصاویر SEM محاسبه شد که در جدول ۶ ارائه شده است.

همان‌طور که از مقایسه تصاویر SEM و نتایج جدول ۶ مشاهده می‌شود، ابعاد بلورهای فسفات‌ها برای پوشش عملی روی سطح آماده‌سازی شده به روش ساچمه‌پاشی بیشترین مقدار را دارد. اما در مورد نمونه‌های ماسه‌پاشی شده نسبت به نمونه‌های سنباده‌زنی یا ساچمه‌پاشی شده، بلورهایی ظریف‌تر و ریزدانه‌تر با تراکم بالا و یکنواختی بیشتری بر روی سطح تشکیل شده‌اند. در حقیقت، دلیل اختلاف در ساختار پوشش‌های حاصله، تفاوت ایجاد شده در حالت سطح است. زیرا وابسته به پیش‌عملیات مکانیکی انجام شده، حالت سطح، زبری، فعالیت شیمیایی و الکتروشیمیایی آن تغییر می‌کند. از آنجایی که واکنش‌های تشکیل پوشش فسفات‌ها بر روی سطح انجام می‌شوند و مناطق اولیه جوانه‌زنی بلورها همان سطح فلزی است، در نتیجه، روش‌های مختلف فعال‌سازی سطح بر روی خواص و ساختار پوشش حاصله تأثیر می‌گذارند [۲۳، ۲۴]. بنابراین، جهت بررسی علت تشکیل پوشش‌های فسفات‌ها با ساختاری متفاوت بر روی سطوح

۲-۳- مطالعات مربوط به چسبندگی رنگ

اعمال رنگ دو مرحله‌ای (اپوکسی پلی‌آمید؛ پلی‌یورتان)

قبل از اعمال رنگ، نمونه‌ها به مدت زمان ۴۵ دقیقه در دمای 120°C برای آب‌زدایی و افزایش قدرت جذب پوشش فسفات‌ها، حرارت داده شدند. سپس آستر اپوکسی پلی‌آمید با ضخامت خشک (DFT) $1\ \mu\text{m}$ 45 ± 5 ، بر روی سطح اعمال شد. رنگ رویه انتخاب شده بر پایه سیستم پلی‌یورتان نیز با ضخامت خشک $35 \pm 5\ \mu\text{m}$ ، بر روی نمونه‌ها اعمال شد.

آزمون چسبندگی رنگ

در این مطالعه، از آزمون چسبندگی رنگ کراس‌کات^۲ استفاده شد که عموماً برای رنگ‌هایی با ضخامت خشک $125\ \mu\text{m}$ یا کمتر استفاده می‌شود. این آزمون، چسبندگی رنگ را به صورت کیفی براساس استاندارد ASTM D 3359 از مقیاس ۰B تا ۵B مورد ارزیابی قرار می‌دهد [۲۲].

قبل از انجام آزمون چسبندگی تر نیز، نمونه‌ها پس از گذشت ۷ روز از اعمال رنگ نهایی، به مدت زمان ۲۴۰ ساعت داخل آب مقطر با دمای 45°C غوطه‌ور شده و سپس میزان چسبندگی رنگ به روش ذکر شده برای بررسی کیفیت چسبندگی خشک، تعیین شد [۱].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- درجه‌بندی تمیزی سطح پرداخت شده مطابق استاندارد

ISO S501-1

نمونه اولیه قبل و پس از پرداخت سطحی به روش‌های مکانیکی ساچمه‌پاشی و ماسه‌پاشی، با نمونه‌های ارائه شده در این استاندارد مقایسه شدند (شکل ۱ و ۲) و درجه تمیزی سطح ASA2 1/2 تعیین شد.



الف ب

شکل ۱: تصویر رنگ‌زدگی درجه A، الف) نمونه استاندارد، ب) نمونه مورد استفاده قبل از انجام پرداخت سطحی.

- 1- Dry Film Thickness
- 2- Cross-cut

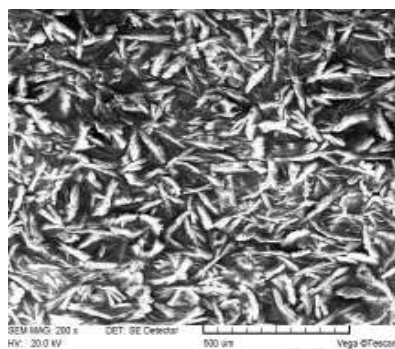
می‌دهد که متوسط زبری حاصله بر روی سطح در اثر آماده‌سازی به روش ساچمه‌پاشی بیشترین مقدار را دارد. قالی^۱ و همکارانش گزارش کردند که زبری سطح همیشه برای فرآیند فسفات‌کاری مناسب نیست و چنانچه زبری سطح خیلی بالا باشد، سبب جوانه‌زنی غیریکنواخت بلورهای فسفات و کاهش میزان اسیدشویی می‌شود [۲۵] و از آنجایی که اسیدشویی اولین مرحله برای تشکیل پوشش فسفات بر روی سطح است، بنابراین با کاهش میزان اسیدشویی و به دنبال آن کاهش تعداد جوانه‌های اولیه بلورهای فسفات، کیفیت پوشش حاصله افت می‌کند. بنابراین علت تشکیل پوشش درشت دانه با قدرت پوشش‌دهی پایین بر روی سطح ساچمه‌پاشی شده، افزایش بیش از حد زبری بود.

1- Ghali

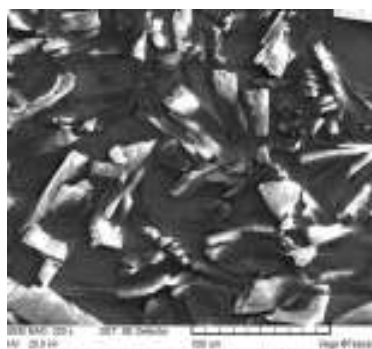
آماده‌سازی شده به روش‌های مکانیکی مختلف، به بررسی حالت سطحی فلز پایه توسط SEM (شکل ۴) و تعیین زبری سطوح با توجه به پروفیل زبری تشکیل شده بر روی آنها، به صورت اندازه‌گیری ارتفاع بین عمیق‌ترین دره تا مرتفع‌ترین قله (Rz) و همچنین پهنای فرورفتگی‌ها (Ra) با دو مرحله تکرار، پرداخته شد. متوسط مقادیر زبری اندازه‌گیری شده در جدول ۷ گزارش شده است. تصاویر SEM شکل ۴، نشان می‌دهد که سطح فلز پایه پس از ماسه‌پاشی دارای تعداد نقاط ریز فرورفتگی و برجستگی در واحد سطح بیشتری در مقایسه با سطوح ساچمه‌پاشی و یا سنباده‌زنی شده است که مکان‌های مناسبی را برای جوانه‌زنی فراهم می‌کنند. مقایسه مقادیر زبری نیز نشان می‌دهد که تشکیل سطحی فعال و زبر در نتیجه عملیات ماسه‌پاشی، سبب افزایش تعداد جوانه‌های فسفات در مراحل اولیه فسفات‌کاری و در نتیجه کاهش ابعاد بلورهای فسفات می‌شود. از طرفی نتایج نشان

جدول ۶: میانگین ابعاد طولی بلورهای فسفات پوشش اعمالی بر روی فلز پایه با بافت سطحی مختلف.

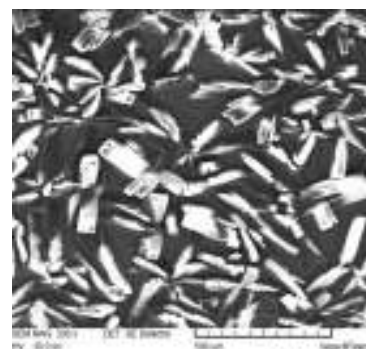
نمونه	سنباده‌زنی و فسفات‌کاری	ساچمه‌پاشی و فسفات‌کاری	ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری	پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی و فسفات‌کاری مجدد	پوشش‌زدایی توسط ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری مجدد
متوسط اندازه بلورهای فسفات (μm)	۱۱۸،۱۴	۱۶۹،۷۲	۵۷،۶۵	۲۴،۹۹	۱۵،۸



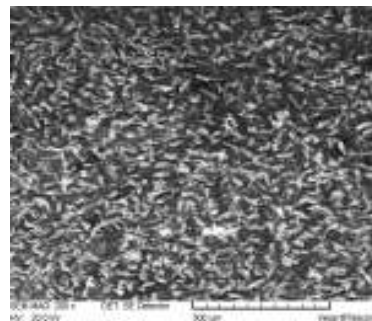
ج



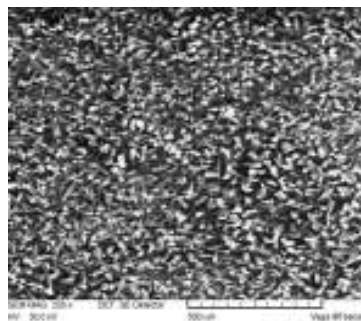
ب



الف

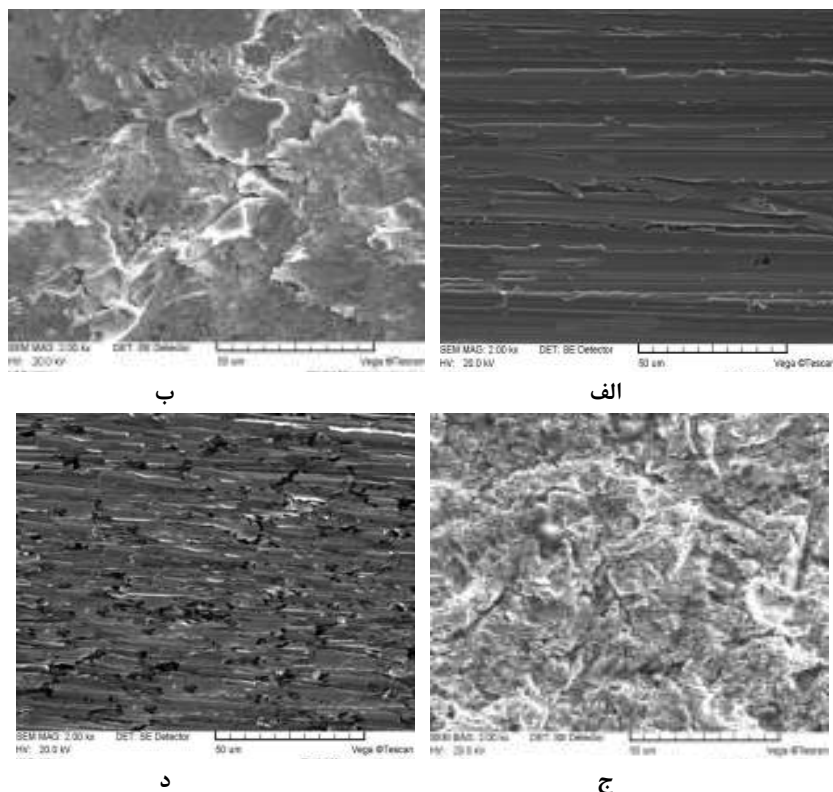


د



ز

شکل ۳: تصاویری از پوشش فسفات اعمالی بر روی سطوح با بافت سطحی مختلف پس از آماده‌سازی مکانیکی، (الف) سنباده‌زنی و فسفات‌کاری، (ب) ساچمه‌پاشی و فسفات‌کاری، (ج) ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری، (د) پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی و فسفات‌کاری مجدد، (ز) پوشش‌زدایی توسط ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری مجدد.



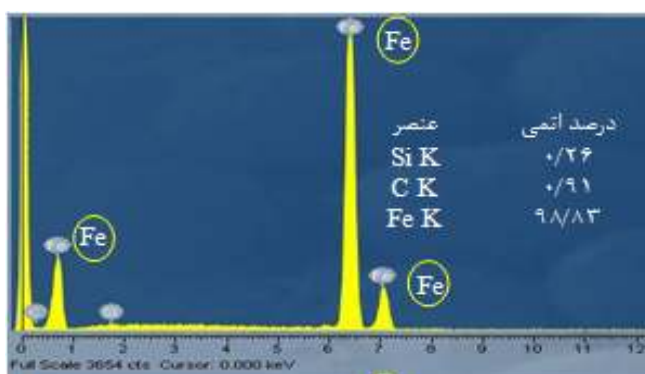
شکل ۴: تصاویر SEM از سطح فلزپایه پس از پرداخت سطحی به روش‌های مکانیکی مختلف، الف) فلزپایه، سنباده‌زنی شده، ب) فلزپایه، ساچمه‌پاشی شده، ج) فلزپایه، ماسه‌پاشی شده، د) فلزپایه، پس از پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی.

جدول ۷: مقادیر زبری سطح اندازه‌گیری شده برای سطوح فعال‌سازی مکانیکی شده.

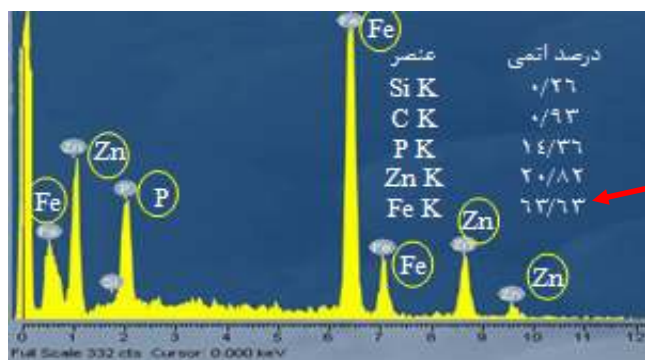
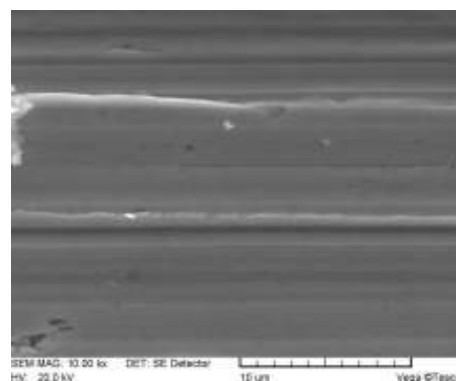
نمونه	Rz (μm)	Ra (μm)
فلزپایه، سنباده‌زنی شده	$3,5 \pm 0,014$	$0,53 \pm 0,141$
فلزپایه، ساچمه‌پاشی شده	$68,95 \pm 6,011$	$24,75 \pm 3,323$
فلزپایه، ماسه‌پاشی شده	$26,65 \pm 0,787$	$4,665 \pm 0,162$
فلزپایه، پوشش‌زدایی شده توسط سنباده‌زنی	$40,5 \pm 0,494$	$0,6 \pm 0,028$
فلزپایه، پوشش‌زدایی شده توسط ماسه‌پاشی	$29,4 \pm 0,482$	$5,515 \pm 0,403$

فسفاته‌کاری مجدد، به بررسی میکروسکوپی سطح و آنالیز عنصری از آن، قبل از فسفاته‌کاری اولیه و پس از پوشش‌زدایی، پرداخته شد (شکل ۵). نتایج نشان داد که انحلال فلز پایه در طول فسفاته‌کاری اولیه، که بخشی از سازوکار تشکیل پوشش‌های تبدیلی است، و به دام افتادن بقایای پوشش اولیه شامل عناصر Zn و P در این نواحی، می‌تواند دلیل تشکیل چنین پوشش ریزدانه و متراکمی در فسفاته‌کاری مجدد باشد. زیرا این ذرات که از جنس خود پوشش هستند، به عنوان مکان‌های جوانه‌زنی عمل می‌کنند.

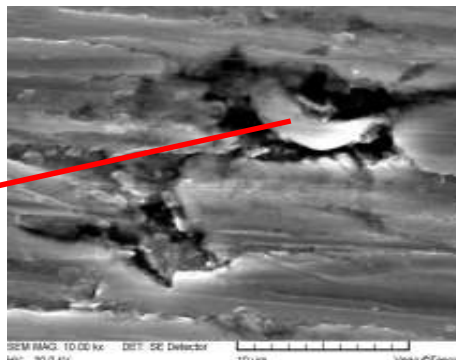
همچنین از تصاویر SEM مشاهده می‌شود که پوشش فسفاته روی، حاصله در روش معمول فسفاته‌کاری دارای بلورهای درشتی است که به صورت غیریکنواخت پراکنده شده‌اند. تعداد بلورها در واحد سطح نیز کم بوده و پوشش‌دهی کامل نیست. اما با افزایش تعداد دفعات فسفاته‌کاری و انجام فسفاته‌کاری مجدد پس از پوشش‌زدایی اولیه توسط سنباده شماره ۱۸۰، پوششی متراکم‌تر با اندازه بلورهای بسیار کوچک‌تر به دست آمد و تعداد بلورها در واحد سطح پوشش به طور چشمگیری افزایش یافت که به صورت یکنواخت کل سطح را پوشش دادند. برای بررسی دلیل تشکیل چنین پوشش ریزدانه‌ای در روش



الف



ب



شکل ۵: تصاویر فلزپایه، به همراه آنالیز عنصری EDX از سطح قبل و پس از پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی (الف) فلزپایه، قبل از فسفات‌کاری اولیه، (ب) فلزپایه، پس از پوشش‌زدایی سطح توسط سنباده‌زنی.

۳-۳- آزمون چسبندگی رنگ

ضخامت پوشش‌های حاصله و لایه رنگ دو مرحله‌ای اعمالی (آستر و رنگ رویه) بر روی سطوح فعال‌سازی شده به روش‌های مختلف مکانیکی، توسط ضخامت‌سنج مغناطیسی از حداقل ده نقطه مختلف سطح اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد. با مقایسه نتایج ارائه شده در جدول ۸، می‌توان فهمید که ضخامت لایه رنگ اعمالی بر روی تمامی نمونه‌ها تقریباً یکسان است. از آنجایی که ضخامت لایه رنگ و پوشش فسفات‌کاری اعمالی می‌تواند بر قدرت چسبندگی رنگ تاثیر گذارد، بنابراین در این مطالعه بررسی کیفیت چسبندگی رنگ مستقل از ضخامت لایه رنگ اعمالی است و تنها به ساختار و ویژگی‌های پوشش فسفات‌کاری بستگی دارد که هدف عمده این مقاله است. شکل ۶، مقطع عرضی یک نمونه را پس از اعمال پوشش، لایه آستر اپوکسی و لایه رنگ نهایی بر روی آن نشان می‌دهد. لایه‌های پوشش، آستر و رنگ نهایی در این شکل کاملاً مشخص است.

با مقایسه نتایج حاصل از ضخامت پوشش‌های فسفات‌کاری و با توجه به تصاویر SEM پوشش‌های اعمالی پس از فعال‌سازی سطح به روش‌های مختلف مکانیکی، می‌توان فهمید که با افزایش تعداد جوانه‌های فسفات‌کاری در طول زمان‌های اول پوشش‌دهی، بر روی سطح فعال شده توسط

همچنین از آنجایی که به دلیل محدودیت زمانی و هزینه نیروی انسانی، امکان عملی استفاده از روش فسفات‌کاری مجدد با پوشش‌زدایی سطح توسط سنباده‌زنی، در صنعت وجود ندارد، در این مطالعه برای پوشش‌زدایی اولیه سطح از روش ماسه‌پاشی و ساچمه‌پاشی نیز استفاده شد. مشاهده شد که عملیات ساچمه‌پاشی به خوبی نتوانست عمل پوشش‌زدایی را انجام دهد و نیز زبری سطح به میزان نامناسبی افزایش یافت. در نتیجه، اندازه بلورهای پوشش حاصله در این روش همچنان درشت و با تراکم پایین بود. اما عملیات ماسه‌پاشی کوتاه مدت به مدت زمان زیر یک دقیقه سبب شد تا پوشش‌زدایی سطح تا حدی انجام بگیرد. سپس عملیات ماسه‌زدایی توسط یک برس نرم بر روی سطح انجام گرفت و در انتها نمونه مجدداً پوشش‌دهی شد. بررسی ساختار پوشش حاصله حاکی از کاهش اندازه دانه و تراکم بالای لایه فسفات‌کاری حاصله است که می‌تواند ناشی از تاثیر هم‌زمان به دام افتادن بقایایی از پوشش اولیه در گودی و زبری‌های ایجاد شده در طول پاشش ماسه به سمت سطح، عدم پوشش‌زدایی کامل در طول ماسه‌پاشی کوتاه مدت و نیز افزایش مناسب زبری سطح در نتیجه این روش فعال‌سازی مکانیکی باشد.

طرفی بلورهای اولیه نیز ظریف هستند. در نتیجه ضخامت لایه فسفات‌ها کاهش می‌یابد. تصاویر پوشش تشکیل شده در مدت زمان یک دقیقه، به روش مرسوم فسفات‌کاری و روش ابداعی فسفات‌کاری مجدد، در شکل ۷ مقایسه شده‌اند و بیانگر این واقعیت است که تعداد بلورهای فسفات‌ها تشکیل شده در مراحل اول پوشش‌دهی بر روی سطح پوشش‌زدایی شده به طور چشمگیری افزایش یافته است.

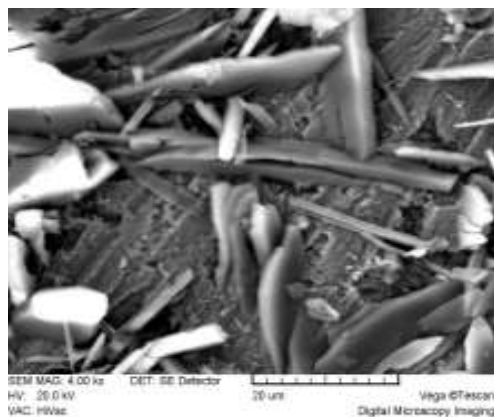
عملیات ماسه‌پاشی شده، در مدت زمان کمتری بخش اعظمی از سطح توسط لایه عایق فسفات‌ها پوشیده شده و از محلول فسفات‌کاری جدا شود. در نتیجه، ادامه واکنش‌های فسفات‌کاری که شامل انحلال فلز پایه و تشکیل بلورهای فسفات‌ها بر روی سطح است به کندی انجام می‌شود و چون کل فرآیند پوشش‌دهی در این حالت در زمان‌های کوتاه‌تری خاتمه می‌یابد، بلورها فرصت ضخیم‌تر شدن را ندارند. از

جدول ۸: مقادیر ضخامت پوشش فسفات‌ها و لایه رنگ اعمالی بر روی نمونه‌های مختلف.

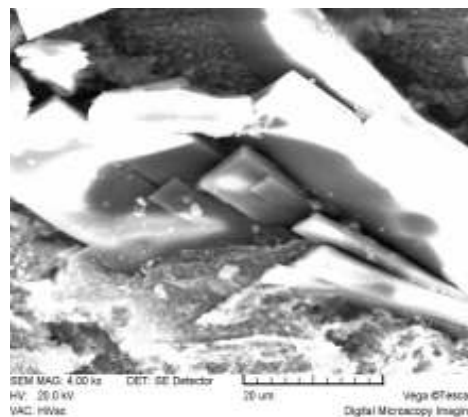
ضخامت لایه فسفات‌ها (μm)	ضخامت لایه رنگ (μm)	نمونه
-	91.7 ± 8.1	فلز پایه، سنباده‌زنی شده
-	105.2 ± 9.6	فلز پایه، ساچمه‌پاشی شده
-	92.4 ± 7.4	فلز پایه، ماسه‌پاشی شده
21.3 ± 2.4	89.6 ± 6.7	سنباده‌زنی و فسفات‌کاری
25.6 ± 4.7	88.4 ± 7.1	ساچمه‌پاشی و فسفات‌کاری
11.1 ± 1.7	85.3 ± 6.2	ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری
6.3 ± 1.6	92.1 ± 7.8	پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی و فسفات‌کاری مجدد
5.4 ± 1.4	81.5 ± 5.4	پوشش‌زدایی توسط ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری مجدد



شکل ۶: نمایش لایه‌های پوشش فسفات‌ها و رنگ اعمالی بر روی زیرلایه فولاد ساده کربنی.



ب



الف

شکل ۷: تصاویر لایه فسفات‌ها اعمالی در مدت زمان یک دقیقه به روش (الف) سنباده‌زنی و فسفات‌کاری و (ب) پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی و فسفات‌کاری مجدد.

۳-۳-۱- چسبندگی خشک رنگ

لازم به ذکر است که برای ارزیابی کیفیت چسبندگی رنگ، از هر گروه از نمونه‌ها حداقل سه عدد نمونه انتخاب شده و آزمون چسبندگی کراس-کات مطابق با استاندارد مربوطه بر روی آن‌ها انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۹ ذکر شده است. با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که در مورد سطوح آماده‌سازی شده توسط عملیات سنباده‌زنی، به دلیل حضور یک سطح صاف و دارای پستی و بلندی کم، چسبندگی رنگ بر روی آن مناسب نیست. البته باید به این نکته توجه کرد که نوع رنگ اعمالی، ضخامت رنگ و تمیزی سطح اولیه نیز بر روی چسبندگی تاثیر می‌گذارند.

همچنین نتایج نشان داد پرداخت سطح توسط عملیات ساچمه‌پاشی، به دلیل افزایش بیش از حد زبری سطح، سبب آسیب رساندن به لایه‌های رنگ شده و کیفیت چسبندگی تنزل پیدا کرد. در این حالت به دلیل زبری زیاد سطح، عیب پوست پرتقالی شدن^۱ بر روی سطح رنگ مشاهده شد. اما در مقابل عملیاتی نظیر ماسه‌پاشی، به دلیل افزایش مناسب پستی، بلندی و زبری سطح، سبب ایجاد اتصال مکانیکی بیشتری بین فلز پایه و رنگ شده، چسبندگی بهبود یافت. از طرفی پوشش فسفات‌ها به عنوان پایه‌ای برای رنگ عمل می‌کند. در واقع، نفوذ فیلم رنگ در ساختار زیگزاگی شکل پوشش فسفات‌ها که

پیوند شیمیایی محکمی با سطح فلز پایه برقرار کرده، سبب بهبود چسبندگی می‌شود. در این حالت، روش آماده‌سازی سطح تاثیر زیادی روی خواص پوشش فسفات‌ها مانند اندازه بلورها و در نتیجه جذب رنگ دارد. به طوریکه، نتایج نشان داد که در مورد سطوح ساچمه‌پاشی شده، به علت زبری بالای سطح، حتی پس از اعمال پوشش فسفات‌ها با ضخامت تقریباً زیاد نیز، هنوز یک سطح صاف و یکدست برای رنگ حاصل نشد. همچنین در این مورد، بلورهای خیلی بزرگ و لبه تیز پوشش فسفات‌ها، سبب آسیب رساندن به لایه رنگ می‌شوند. بنابراین بعد از اعمال پوشش فسفات‌ها بر روی سطوح ساچمه‌پاشی شده، هنوز عیب پوست پرتقالی بر روی رنگ مشاهده شد و همچنان به ضخامت بیشتری از رنگ نیاز است تا یک سطح صاف و یک دست حاصل شود. اما با افزایش ضخامت رنگ، مجدداً چسبندگی رنگ تنزل پیدا خواهد کرد. از طرفی ضخامت بالای لایه فسفات‌ها تشکیل شده بر روی این سطح نیز، سبب کاهش اتصال و پیوند پوشش با سطح فلز پایه شد که بر تنزل کیفیت چسبندگی رنگ تاثیر می‌گذارد.

۱- حالتی مشابه بافت پوست پرتقال که به شکل ناهموار و غیریکنواخت بر روی سطح رنگ تشکیل می‌شود.

جدول ۹: نتایج آزمون چسبندگی خشک.

نمونه	عکس قطعه	طبقه‌بندی سه نمونه	میانگین طبقه‌بندی	نمونه	عکس قطعه	طبقه‌بندی سه نمونه	میانگین طبقه‌بندی
فلز پایه، سنباده‌زنی شده		۱ و ۲ و ۱	۱B	ساچمه‌پاشی و فسفات‌کاری		۲ و ۲ و ۲	۲B
فلز پایه، ساچمه‌پاشی شده		۱ و ۱ و ۰	۱B	ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری		۵ و ۵ و ۴	۴B
فلز پایه، ماسه‌پاشی شده		۴ و ۳ و ۴	۴B	پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی و فسفات‌کاری		۵ و ۵ و ۵	۵B
سنباده‌زنی و فسفات‌کاری		۲ و ۲ و ۲	۲B	پوشش‌زدایی توسط ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری		۵ و ۵ و ۵	۵B

تبع آن بهبود کیفیت چسبندگی رنگ به سطح، پیش آماده‌سازی توسط عملیات مکانیکی ماسه‌پاشی مفید است.

در مورد نمونه‌های فسفات‌کاری مجدد شده نیز به دلیل افزایش یکنواختی سطح، کاهش چشمگیر در اندازه بلورهای فسفات، ضخامت پوشش حاصله و همچنین تراکم بالای بلورها بر روی سطح، چسبندگی عالی رنگ به زیرلایه حاصل شد. در این حالت یکنواختی پوشش رنگ نیز افزایش یافت.

۳-۳-۲- چسبندگی تر رنگ دو مرحله‌ای

نتایج حاصل از آزمون چسبندگی تر رنگ دو مرحله‌ای اعمالی بر روی نمونه‌های مختلف مورد بررسی، در جدول ۱۰ آمده است.

در مورد نمونه سنباده‌زنی و پوشش‌دهی شده نیز، به دلیل حضور بلورهای فسفات با نوک تیز و ترد با ابعاد بزرگ که به صورت غیریکنواخت توزیع شده‌اند و نیز ضخامت بالای پوشش اعمالی، سطح مطلوبی برای رنگ فراهم نشد. در مراجع نیز گزارش شده، پوشش‌های فسفات‌کاری که برای زیر رنگ استفاده می‌شوند، باید نازک و یکنواخت باشند تا از بیرون زدن بلورهای درشت از لایه رنگ، جلوگیری شود [۱۰] و به طور کلی می‌توان گفت که پوشش با ساختار کاملاً همگن (از لحاظ اندازه دانه)، ریزدانه و با ضخامت و تخلخل پایین، جهت افزایش چسبندگی رنگ و بهبود مقاومت به خوردگی مناسب است [۲۶، ۲۷] که نتایج حاصله این مطلب را تایید کردند.

همچنین نتایج نشان داد که به منظور تشکیل یک پوشش یکنواخت با بلورهای فسفات ریز و تعداد زیاد بلور در واحد سطح و به

جدول ۱۰: نتایج آزمون چسبندگی تر.

نمونه	عکس قطعه	طبقه‌بندی سه نمونه	میانگین طبقه‌بندی	نمونه	عکس قطعه	طبقه‌بندی سه نمونه	میانگین طبقه‌بندی
فلز پایه، سنباده‌زنی شده		۰ و ۰ و ۱	۰B	ساجمه‌پاشی و فسفات‌کاری		۱ و ۱ و ۱	۱B
فلز پایه، ساجمه‌پاشی		۰ و ۰ و ۰	۰B	ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری		۳ و ۲ و ۳	۳B
فلز پایه، ماسه‌پاشی شده		۰ و ۰ و ۰	۰B	پوشش‌زدایی توسط سنباده‌زنی و فسفات‌کاری		۴ و ۴ و ۵	۴B
سنباده‌زنی و فسفات‌کاری		۱ و ۱ و ۱	۱B	پوشش‌زدایی توسط ماسه‌پاشی و فسفات‌کاری		۵ و ۵ و ۵	۵B

نمود پذیرنی نسبتا بالای رنگ انتخابی بود. میزان تاول‌زدگی و ابعاد تاول‌ها در مورد نمونه‌های ماسه‌پاشی شده نیز بیشترین بود. زیرا عملیات ماسه‌پاشی، فعالیت شیمیایی سطح فلز را افزایش داده و سبب تسریع واکنش‌های خوردگی در فصل مشترک رنگ-فلز می‌شوند. بنابراین با افزایش خوردگی زیرفیلم، چسبندگی رنگ تنزل پیدا کرد. به‌طوریکه در مورد تمام نمونه‌های بدون پوشش، کندی بدتر از درجه‌ی رنگ از زیرلایه مشاهده شد. از طرفی، معمولا برای کاهش فعالیت سطح، از پوشش فسفات

معمولا چسبندگی رنگ در حالت خشک بالا است. زیرا در این شرایط، چسبندگی به شکست لایه رنگ بستگی دارد. ولی در حالت تر، کیفیت چسبندگی علاوه بر این مورد، به خوردگی زیر فیلم رنگ نیز بستگی دارد و در نتیجه در محیط‌های خورنده و یا مرطوب افت می‌کند [۱] که با نتایج حاصله در تطابق است.

بنابراین با بررسی نمونه‌ها پس از ده شبانه روز قرارگیری درون آب با دمای °C ۴۵، تاول‌زدگی رنگ بر روی نمونه‌های بدون پوشش مشاهده شد که نشان‌دهنده خوردگی زیر فیلم رنگ به دلیل

در مورد سطوح سنباذه‌زنی شده نیز به دلیل زبری پایین سطح و در نتیجه کاهش مراکز فعال برای جوانه‌زنی بلورهای فسفات، پوششی درشت‌دانه با تراکم پایین تشکیل شد. همچنین زبری پایین سطح فلز پایه، سبب افت کیفیت چسبندگی رنگ و اتصال ضعیف مکانیکی بین سطح و لایه رنگ شد.

اما در مقابل مشاهده شد که آماده‌سازی سطح توسط عملیات ماسه‌پاشی به دلیل تحمیل زبری مناسب و افزایش مراکز فعال جوانه‌زنی بر روی سطح، جهت تشکیل پوششی ریزدانه با قدرت پوشش‌دهی و تراکم بالا مفید است. همچنین پستی و بلندی‌های ایجاد شده بر روی سطح در طی عملیات ماسه‌پاشی، سبب بهبود قدرت اتصال بین فلز پایه و رنگ اعمالی شد.

روش ابداعی معرفی شده در این تحقیق نیز منجر به بهبود چشمگیر ساختار پوشش فسفات در مقایسه با سایر روش‌های فعال‌سازی سطح شد که در نتیجه انحلال فلز پایه در طول مراحل آغازین فسفات‌کاری اولیه و به دام افتادن ذراتی از پوشش در این نواحی و شیارهای حاصل از سنباذه‌زنی مجدد و یا ماسه‌پاشی جهت پوشش‌زدایی بود. در واقع به دلیل اینکه این ذرات از جنس خود پوشش هستند، منجر به افزایش مراکز جوانه‌زنی بلورهای فسفات می‌شوند.

به علاوه، نتایج آزمون کراس‌کات نشان داد که با اعمال پوشش فسفات بر روی سطح به دلیل نفوذ رنگ در ساختار زیگزاگی شکل این پوشش، کیفیت چسبندگی رنگ بهبود یافت. در این راستا، با کاهش اندازه بلورهای فسفات و افزایش تراکم و یکنواختی پوشش، قدرت چسبندگی افزایش بیشتری یافت. همچنین نتایج آزمون چسبندگی تر نشان داد که با اعمال پوشش عایق فسفات بر روی سطح، به دلیل ممانعت بیشتر از خوردگی زیر فیلم رنگ، میزان تاول‌زدگی رنگ کاهش یافته و چسبندگی افزایش یافت. از طرفی، مشاهده شد که پوشش‌های ریزدانه و تراکم به دلیل مسدود کردن مسیرهای برقراری ارتباط بین محیط خورنده و سطح فلز پایه، و در نتیجه دارا بودن خواص حفاظتی بهتر، سبب بهبود قابل توجه‌تری در کیفیت چسبندگی تر شدند.

استفاده می‌شود. این پوشش به صورت یک مانع فیزیکی در مقابل رطوبت عمل کرده، مانع از خرابی و تنزل پیوند به وسیله خوردگی زیر فیلم می‌شود [۴].

بنابراین در مورد نمونه‌های فسفات‌کاری شده که در معرض آب با دمای 45°C بودند، خوردگی زیر فیلم رنگ و در نتیجه تاول‌زدگی رنگ کاهش پیدا کرد که به خاصیت عایق بودن پوشش فسفات مربوط است. با کاهش اندازه بلورهای پوشش فسفات و افزایش یکنواختی پوشش نیز، خوردگی زیر فیلم کاهش بیشتری پیدا کرد. به طوری که در مورد نمونه‌های فسفات‌کاری مجدد شده، تقریباً هیچ گونه تاول زدگی بر روی رنگ بعد از ده شبانه‌روز مشاهده نشد و هنوز چسبندگی رنگ بر روی سطح خیلی خوب بود که به عنوان نکته قوت این روش تلقی می‌شود. اما نمونه‌هایی که شامل پوشش درشت‌دانه‌تری بودند، نسبت به حالت بدون حضور پوشش فسفات، کیفیت چسبندگی رنگ را به میزان کمتری بهبود دادند. زیرا گزارش شده که درجه حفاظتی که پوشش‌های فسفات در برابر خوردگی ایجاد می‌کنند، به عواملی نظیر یکنواختی پوشش، ضخامت، چگالی و اندازه بلورهای پوشش و همچنین نوع آب‌بندی نهایی بستگی دارد [۲۰]. بنابراین پوشش‌های درشت‌دانه و غیر متراکم به دلیل داشتن خواص حفاظتی پایین، سبب بهبود کمتری در کیفیت چسبندگی تر، در مقایسه با پوشش‌های ریزدانه‌تر، می‌شوند.

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که روش‌های مختلف فعال‌سازی مکانیکی سطح بر روی ساختار پوشش فسفات اعمالی و کیفیت چسبندگی رنگ تاثیر می‌گذارند.

به طوری که پرداخت سطح توسط عملیات ساچمه‌پاشی، به دلیل ایجاد زبری بیش از حد بر روی سطح، کاهش میزان اسیدشویی فلز پایه و در نتیجه کاهش تعداد جوانه‌های فسفات در مراحل اولیه فسفات‌کاری، منجر به تشکیل پوششی درشت‌دانه با قدرت پوشش‌دهی پایین بر روی سطح شد. همچنین زبری بالای سطح ساچمه‌پاشی شده، سبب آسیب رساندن به لایه‌های رنگ اعمالی و در نتیجه افت کیفیت چسبندگی رنگ شد.

۵- مراجع

1. T. S. N. Sankara Narayanan, Surface pretreatment by phosphate conversion coating- A review, National Metallurgy Laboratory(NML), 9(2005), 130-177.
2. L. Y. Niu, Z. H. Jiang, G. Y. Li, C. D. Gu, J. S. Lian, A study and application of zinc phosphate coating on AZ91D magnesium alloy. *Surf. Coat. Technol.* 200(2006), 3021-3026.
3. A. S. Akhtar, K. C. Wong, P. C. Wong, K. A. R. Mitchell, Effect of Mn^{2+} additive on the zinc phosphating of 2024-Al alloy. *Thin Solid Films.* 515(2007), 7899-7905.
4. V. d. Freitas. C. Lins, G. Francisco, Electrochemical impedance spectroscopy and linear polarization applied to evaluation of porosity of phosphate conversion coatings on electrogalvanized steels. *Appl. Surf. Sci.* 253(2006), 2875-2884.
5. N. L. yuan, Cathodic phosphate coating containing nano

- zinc particles on magnesium alloy. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. 18(2008), 365-368.
6. W. Rausch, ASM International, Finishing Publications, the University of Michigan. 1990, 434-365.
 7. K. Woods, S. Spring, Selection of a paint pretreatment system. *Met. Finish*. 76(1978), 17-22.
 8. W. G. Wood, American Society for Metals, the University of Michigan. 1982, 434-456.
 9. W. J. Wittke, Phosphate coating. *Met. Finish*. 52(1980), 576-620.
 10. T. Biestek, J. Weber, Electrolytic and Chemical Coatings, 1st ed. Portcullis Press Ltd, 1976, 128-224.
 11. H. Zhang, G. Yao, Sh. Wang, A chrome-free conversion coating for magnesium-lithium alloy by a phosphate-permanganate solution. *Surf. Coat. Technol.* 202(2008), 1825-1830.
 12. G. Bikulcius, V. Burokas, A. Martusiene, Effects of magnetic fields on the phosphating process. *Surf. Coat. Technol.* 172(2003), 139-143.
 13. D. Susac, X. Sun, R.Y. Li, Microstructural effects on the initiation of zinc phosphate coatings on 2024-T3 aluminum alloy. *Appl. Surf. Sci.* 239(2004), 45-59.
 14. Z. Shenglin, Study on phosphating treatment of aluminum, alloy role of yttrium oxide. *J. rare earths*. 27(2009), 469-480.
 15. L. Kouisnia, M. Azzia, F. Dalardb, Phosphate coatings on magnesium alloy AM60 Part 2: Electrochemical behaviour in borate buffer solution. *Surf. Coat. Technol.* 192(2005), 239-246.
 16. M. Sheng, Ch. Wang, Q. Zhong, Ultrasonic irradiation and its application for improving the corrosion resistance of phosphate coatings on aluminum alloys. *Ultrason. Sonochem.* 17(2010), 21-25.
 17. G.Y. Li, J.S. Lian, L.Y. Niu, Growth of zinc phosphate coatings on AZ91D magnesium alloy. *Surf. Coat. Technol.* 201(2006), 1814-1820.
 18. A. Ghanbari, M. Nayini, H. Fasihi, S. M. Kasirha, A. Burburi, S. H. S. Maraghe'ee, The effect of oil pollution on the properties of phosphate layer and properties of organic automotive coatings. *J. Color Sci. Tech.* 5(2011), 169-173.
 19. Standard test method for cleaning metals prior to electroplating, Annual Book of ASTM Standard, ASTM standard, 02.05, B322-99, 2009.
 20. W. G. Wood, Metals Handbook, 9th Edition, surface Cleaning, Finishing, ND Coating, American Society for Metals, 1982, 379-404.
 21. S. Scislawski, Phosphating, part II-Total acid, free acid and pH. *Met. Finish*. 84(1991), 35-40.
 22. Standard test method for measuring adhesion by tape test Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, 06.01, D3359-09, 2009.
 23. J. K. Yang, J. G. Kim, J. S. Chun, A study of the effect of ultrasonics on manganese phosphating of steel. *Thin Solid Films*. 101(1983), 193-200.
 24. L. A. Isaicheva, N. M. Trepak, and A. L. L'vov, The kinetics of phosphate film formation on the type MA 21 magnesium-Lithium Alloys. *Prot. Met.* 42(2006), 389-393.
 25. E. L. Ghali, R. J. A. Potvin, The mechanism of phosphating of steel. *Corros. Sci.* 12(1972), 583-594.
 26. L. Helmut, Trivalent phosphorus compounds stabilized with amines, US Pat. 5534645, 1996.
 27. J. William, Low temperature microcrystalline zinc phosphate coatings, compositions, and processes for using and preparing the same, US Pat. 4140551, 1977.